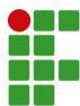


INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS GOIÂNIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA, GESTÃO E SUSTENTABILIDADE

JAQUELLINE DA SILVA CAMPOS

Modelagem dos motivadores para ocorrência de queimadas na mesorregião Norte Goiano

Goiânia, 2025.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☒ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☐ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Jaquelline da Silva Campos

Matrícula: 20222011280134

Título do Trabalho: Modelagem dos motivadores para ocorrência de queimadas na mesorregião Norte Goiano

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 15/03/2025.

Local Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS GOIÂNIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA, GESTÃO E SUSTENTABILIDADE

JAQUELLINE DA SILVA CAMPOS

Modelagem dos motivadores para ocorrência de queimadas na mesorregião Norte Goiano

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Tecnologia, Gestão e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Dissertação de Mestrado Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa: Modelagem de Sistema.

Orientador: Prof. Dr. Alex Mota dos Santos

Goiânia, 2025.

C198m Campos, Jaqueline da Silva.
Modelagem dos motivadores para ocorrência de queimadas na mesoregião Norte Goiano /
Jaqueline da Silva Campos. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Câmpus Goiânia, 2025.
66 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Alex Mota dos Santos.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado Profissional em Tecnologia, Gestão e Sustentabilidade,
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Tecnologia, Gestão e Sustentabilidade
, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

1. Incêndios florestais - Brasil. 2. Cerrados - mesoregião Norte Goiano - Goiás
(Estado). 3. Aprendizagem de máquina. I. Santos, Alex Mota dos (orientador). II. Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia. III. Título.

CDD 634. 961 8

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Alisson de Sousa Belthodo Santos CRB1/2.266
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

PARECER 14/2025 - GYN-CMTGS/GYN-GPPEX/CP-GOIANIA/IFG

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CÂMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA, GESTÃO E SUSTENTABILIDADE

JAQUELINE DA SILVA CAMPOS

MODELAGEM DOS MOTIVADORES PARA OCORRÊNCIA DE QUEIMADAS NA MESORREGIÃO NORTE GOIANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Gestão e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Tecnologia de Sistemas de Produção Limpa.

Linha de Pesquisa: Modelagem de sistemas

Aprovada em 07 de março de 2025.

Banca examinadora:

Presidente e orientador: Prof. Dr. Alex Mota dos Santos - PPGTGS IFG / UFSB

Avaliadora: Prof.a Dr.a Regina Célia Bueno da Fonseca - PPGTGS IFG

Avaliadora: Prof.a Dr.a Suelem Farias Soares Martins - UFU

Avaliador: Prof. Dr. Anderson Paulo Rudke - UEMG

Documento assinado eletronicamente por:

- Anderson Paulo Rudke, Anderson Paulo Rudke - Docente - Universidade do Estado de Minas Gerais (65172579000115), em 18/03/2025 15:44:20.
- Suelem Farias Soares Martins, Suelem Farias Soares Martins - Docente - Universidade Federal de Uberlândia (25648387000118), em 18/03/2025 15:42:13.
- Regina Celia Bueno da Fonseca, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 17/03/2025 16:22:32.
- Alex Mota dos Santos, Alex Mota dos Santos - Docente - Ufg (01567601000143), em 17/03/2025 16:16:52.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 06/03/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 624399

Código de Autenticação: 1db286fc47



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110
Sem Telefones cadastrados

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha mãe e aos meus filhos, cujo amor e apoio incondicional foram fundamentais na minha trajetória acadêmica. Agradeço também ao meu orientador, Professor Dr. Alex Mota dos Santos, por sua orientação e dedicação ao longo deste processo. Dedico também às Professoras Dr^a. Regina da Fonseca e Ana Paula Oliveira, que acreditaram no meu trabalho. Sem vocês, este sonho não teria se tornado realidade.

Agradecimentos

Agradeço a minha família, por me apoiar nessa jornada, ao meu orientador, o Professor Dr. Alex Mota dos Santos por sua dedicação e a Professora Dr^a. Regina da Fonseca por me incentivar a melhorar sempre. Agradeço ainda ao Programa de Pós-graduação Mestrado Profissional em Tecnologia, Gestão e Sustentabilidade, do IFG, pela oportunidade de qualificação profissional.

“Vive dentro de mim uma cabocla velha de mau-olhado, acorada
ao pé do borralho, olhando pra o fogo.”

Cora Coralina,
1889-1985.

Resumo

Título: Modelagem dos motivadores para ocorrência de queimadas na mesorregião Norte Goiano

Autor: Jaquelline da Silva Campos

Orientador: Dr. Alex Mota dos Santos

O fogo é um elemento natural essencial em muitos ecossistemas, pois molda a vegetação, a diversificação de espécies, especialmente em áreas de savanas. Contudo, a interferência humana alterou significativamente o regime natural de queimadas, aumentando sua frequência e intensidade, o que tem resultado em impactos ambientais, sociais e econômicos negativos. Diante disso, o objetivo dessa pesquisa é investigar a dinâmica de áreas queimadas, pesquisar o conhecimento acumulado sobre o estudo do fogo em áreas de Cerrado e as causas das queimadas na Mesorregião Norte Goiano, em Goiás. A metodologia contemplou a realização de uma revisão de literatura, sob a perspectiva bibliométrica e sistemática para avaliar o conhecimento acumulado sobre o tema. Para modelagem dos motivadores, associados aos fatores ambientais, econômicos e sociais do fogo, foram utilizados modelos de Aprendizagem de Máquina, Random Forest e eXtreme Gradient Boosting. Os principais resultados revelaram que 79% dos artigos mapeados foram publicados nos últimos 10 anos e que os pesquisadores, Carlos Dacamara e Renata Libonati se destacam com os maiores H-index e suas variantes (g-index e m-index). A rede de colaboração revela o protagonismo dos pesquisadores Renata Libonati e Yosio Edemir Shimabukuro em dois agrupamentos de destaque. Da perspectiva sistemática destaca-se que as pesquisas concentram análises sobre o impacto do fogo nos recursos hídricos, detecção de áreas queimadas, resiliência da vegetação, regimes de fogo e padrões espaciais, emissões de incêndios e manejo integrado do fogo. Da modelagem dos motivadores, onde o melhor desempenho, com menor RMSE (125,4) e melhor R^2 (0,7411) foi para o modelo com 3 variáveis temperatura máxima, relevo montanhoso e formação de savânica, ou seja, as variáveis independentes explicam 74% do modelo. Apesar disso, é preciso considerar as interações ecológicas entre as variáveis, pois isso é fundamental para compreender a dinâmica das áreas queimadas no Cerrado.

Palavras-chave

Cerrado; Aprendizagem de máquina; Fogo e incêndios florestais.

Abstract

Title: Modeling the Drivers of Wildfire Occurrence in the Northern Goiás Mesoregion.

Author: Jaquelline da Silva Campos

Advisor: Dr. Alex Mota dos Santos

The aim of this work was to diagnose the current situation regarding the generation of organic solid waste (OSW) and food waste at the restaurant of the Federal Institute of Goiás - IFG, Senador Canedo Campus. The aim was to make consumers aware of the problems that food waste causes in society and the impact that the generation of solid organic waste has on the environment when it is not treated properly. In addition, viable alternatives were presented for the treatment and use of these materials when their generation is unavoidable. The methodology took a systemic approach that seeks to explore activities and routines, looking for elements that influence the research problem in order to understand it and bring about positive change in OWR management. Visits were made and fieldwork carried out to sensitize the nutritionist, staff and community of students and teachers. The OWR mass data was collected on two occasions, before and after the awareness campaign, the first in October and November 2022 and the second in June 2023. The organic waste was weighed in three (3) rooms where it is generated during the restaurant's three (3) daily operating shifts over four (4) weeks on alternate days. The results obtained for pre-preparation were 67.3 kg before and 39.2 kg after; cafeteria 47.5 kg before and after and; return and sanitization 126.6 kg before and 89.8 kg after. The remaining per capita intake (kg/person) before was 0.10 (10%) and after 0.08 (8%). For the statistical test (t-test for independent samples) pre-preparation mean first weighing 6.73 (± 2.73 dp) second weighing 3.92 (± 2.17); cafeteria mean first weighing 6.79 (± 4.43 dp) and second weighing 5.28 (± 2.79 dp) and; return and sanitization mean first weighing 12.66 (± 4.17 dp) and second weighing 9.98 (± 3.89 dp). The statistical data showed a significant result only in the pre-preparation area (vegetables). It can be concluded that restaurant staff training and consumer education actions should be ongoing in order to reduce these rates. Work like this helps to identify the problem, but also offers valuable insights and

practical solutions for dealing with it, emphasizing the importance of awareness, education and continuous action to promote more efficient management of organic solid waste and reduce food waste.

Keywords

Cerrado; Machine Learning; Fire and Wildfires.

Lista de Figuras

Figura 1 - Framework PRISMA - Visão geral da metodologia aplicada Scopus = Cco e WoS = Web of Science	23
Figura 2 - Evolução do número de publicações sobre o tema em estudo de 1991 a 2023.....	25
Figura 3 - Redes de colaboração no estudo do fogo em savanas.....	30
Figura 4 - Espacialização dos dados de focos de calor do INPE no estado de Goiás.....	40
Figura 5 - Localização da área de estudo no Bioma Cerrado. Fonte: Elaboração própria.....	41
Figura 6 - Distribuição espacial das áreas queimadas por município na Mesorregião Norte ..	44
Figura 7 - Correlação Linear entre as variáveis empregadas e área queimada.....	48
Figura 8 - Importância das variáveis gerada pelo modelo Random Forest.....	49
Figura 9 - Importância das variáveis gerada pelo modelo XGBoost.....	50

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Fontes com maior número de publicações para o período de 1991 a 2023.....	26
Tabela 2 - Autores com maiores H-index e suas variantes (g-index e m-index) para os autores	27
Tabela 3 - Refere-se aos artigos que receberam o maior número de citações de pesquisadores em todo o mundo	28
Tabela 4 - Média do número de focos de calor por mesorregiões no estado de Goiás.....	39
Tabela 5 - Comparação do desempenho dos modelos aplicados.....	50

Lista de Quadros

Quadro 1 - Descrição das variáveis com as respectivas categorias, unidades de medida e fontes.....	43
--	----

Sumário

1. Introdução	17
1.1 Objetivo geral.....	20
1.2 Objetivos específicos	20
2. Os Estudos do Fogo no Cerrado: uma revisão de literatura.....	21
2.1 Estudo do Fogo no Cerrado	21
2.2 Materiais e Métodos	22
2.3 Resultados e Discussões	24
2.3.1 Revisão de literatura, perspectiva bibliométrica	24
2.3.2 Revisão de literatura, perspectiva sistemática	30
2.4 Conclusões	35
3. Os Motivadores para Ocorrência de Queimadas na Mesorregião Norte Goiano.....	37
3.1 Introdução	37
3.2 Materiais e Métodos	39
3.2.1 Seleção da área de estudo	39
3.2.2 Dados e informações utilizados na pesquisa	42
3.2.3 Processamento dos dados e análises estatísticas	45
3.3 Resultados e discussões	47
3.4 Conclusões	51
4. Conclusões e Considerações Finais	53
Referências	56
Apêndice A – Script Bibliometrix	65
Anexo 1 – itens checklist PRISMA	66

Introdução

O fogo é parte integrante da natureza e um fator de perturbação em muitos ecossistemas. Alvarado *et al.* (2017) afirmam que o fogo é uma perturbação natural nas savanas e define a fisionomia e a estrutura da vegetação, influenciando frequentemente a diversidade de espécies. Segundo Leite *et al.* (2013) e Abreu *et al.* (2022), a partir do momento que o homem passou a dominá-lo, seu regime mudou e hoje ele se encontra completamente alterado. Essa influência reflete em seu regime de ocorrências e tais mudanças podem trazer inúmeros problemas, porém, quando usado controladamente, o fogo pode trazer benefícios aos ecossistemas.

Contudo, quando resulta da ocorrência de incêndios, o fogo pode causar impactos ambientais, sociais e econômicos negativos. Incêndios prejudicam a qualidade do ar, da água e do solo (Guimarães *et al.*, 2014; Nagel *et al.*, 2023), por poderem influenciar na qualidade do ar, uma vez que seus poluentes podem ser transportados pelos ventos para outras regiões (Manso-Jiménez e Carrillo-Vital, 2018; Sarra e Mülfarth, 2021; Vormittag *et al.*, 2021); das águas e do solo, com a remoção da cobertura vegetal, há aumento do escoamento superficial, promovendo o assoreamento dos rios, acelerando os processos erosivos, além de consumir a matéria orgânica diminuindo a atividade dos microrganismos, estrutura e agregação do solo, além de degradar a diversidade da fauna e flora refletindo diretamente na saúde e bem estar dos seres vivos (Guimarães *et al.*, 2014; Nagel, *et al.*, 2023).

A partir de tais constatações, é relevante pesquisas continuadas sobre o fogo, que inclusive deu origem ao que amplamente se designa como Ciência do Fogo. É importante destacar que, nas savanas, o fogo atua como um agente natural que influencia a diversificação de espécies em diversas famílias de plantas, assim como sua estrutura, biodiversidade e função, conforme observado por Bond *et al.* (2005).

Neste sentido, diversas são as contribuições científicas sobre o estudo do fogo (Miranda *et al.*, 2002; Miranda *et al.*, 2010; Sato *et al.*, 2010; Leite *et al.*, 2013; Alvarado *et al.*, 2018; Alves e Alvarado, 2019; Rocha e Nascimento, 2022), inclusive por métodos indiretos, por exemplo, por meio do uso de produtos de sensoriamento remoto.

As ferramentas de sensoriamento remoto por satélites têm facilitado o monitoramento de áreas ambientais. Tais ferramentas fornecem informações precisas e relevantes de localizações e registram imagens de alta resolução (Quintano *et al.*, 2011). Assim, o sensoriamento remoto tem proporcionado monitoramento e mapeamento de incêndios

(Flannigan e Haar, 1986), terras queimadas (Fraser, Frenandes, e Latifovic, 2003), manejo de incêndios (Duncan, Shao e Adria, 2009; Giglio *et al.*, 2009), regeneração da vegetação pós-incêndio (Solans-Vila e Barbosa, 2010), entre outras.

Deste modo, uma das publicações mais recentes, revela uma completa revisão de literatura sobre as aplicações de sensoriamento remoto empregado ao estudo do fogo em savanas (Feitosa Junior *et al.*, 2024). Em síntese, os autores revelam que, os estudos sobre queimadas em savanas, por sensoriamento remoto, aumentaram nos últimos 10 anos. No que se refere às aplicações, destacaram o uso de dados *Light Detection and Ranging* (LiDAR). Além disso, revelaram haver predominância de estudos a partir de dados de queimadas por meio dos produtos *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). E que, os principais países com publicações foram Estados Unidos da América, Austrália, Brasil e África do Sul (Feitosa Junior *et al.*, 2024).

Apoiado nestas análises, é relevante destacar que no Brasil, o Cerrado é a savana de maior abrangência geográfica (Aquino *et al.* 2009). Considerado o segundo maior Bioma do Brasil, ficando atrás somente da Amazônia, o Cerrado é um complexo vegetacional que engloba formações florestais, savânicas e campestres (Ribeiro e Walter, 2008). Trata-se de um mosaico de diferentes tipos de vegetações determinados principalmente pelo padrão de ação de fogo, fator que influencia a distribuição e a composição florística, agindo positivamente nas espécies adaptadas e negativamente nas espécies de cerrado não adaptadas (Coutinho, 1982; Walter *et al.*, 2008).

Deste modo, compreende-se que o fogo permite a estabilidade do bioma enquanto fator favorável à existência de espécies adaptadas ao fogo, porém a frequência em que ocorrem deve ser considerada, pois dependendo de sua periodicidade pode haver alterações negativas nas dinâmicas relacionadas ao equilíbrio ambiental. O fogo, além de influenciar a distribuição florística do Cerrado, tem efeito benéfico também na ciclagem de nutrientes (Walter *et al.*, 2008). Em estudos relacionados à frequência de passagem de fogo, Oliveira *et al.* (1996) observaram que o seu regime bienal muda a fitofisionomia de cerrado *sensu stricto* e campo sujo para formações mais abertas com uma presença maior de gramíneas, favorecendo a ocorrência de queimadas mais frequentes e mais intensas.

Apesar de seu papel benéfico para o Cerrado, identifica-se a preocupação da comunidade científica nacional e internacional com o aumento de sua ocorrência motivada pelas atividades humanas (Alvarado *et al.*, 2017; Alvarado, Silva e Archibald, 2018; Feitosa Junior *et al.*, 2024). Assim, o aumento da ocupação humana e a crescente incidência de secas extremas têm contribuído para o fogo adquirir uma conotação contraproducente, pois tem alterado sua dinâmica natural, conforme observado por Berlinck e Batista (2020).

No Cerrado, as queimadas costumam acontecer no início da estação seca (maio), intensificando-se em junho e julho e atingindo seu máximo em agosto (Coutinho, 1990),

sendo considerada a temporada de incêndios os meses de maio a novembro (Alvarado *et al.*, 2017). A rápida ocupação do Cerrado mudou o regime natural de fogo (época e frequência de queimadas) e segundo Miranda *et al.* (2002) um dos maiores responsáveis por essa mudança é a agricultura, seja com finalidade de transformar o Cerrado em campos de cultivo, manejo natural ou pastagem plantada. A pecuária tem papel ainda mais relevante quanto ao impacto causado ao Cerrado. Isso porque se trata de uma prática de manejo barata usada pelos pecuaristas, pois dias ou semanas após a queima, a vegetação brota fornecendo ração verde e palatável ao gado, rica em proteínas, sais minerais e celulose (Coutinho, 1990), corroborando com os estudos de Alves e Alvarado (2019), onde foi constatado que a maior incidência de queimadas no bioma Cerrado ocorre principalmente nas áreas de formação vegetal natural.

O monitoramento de incêndios e queimadas é essencial em vários contextos. No Cerrado, os estudos se intensificaram a partir dos anos de 1980 (Coutinho, 1982) levando à criação em 1985 em Brasília de um programa sobre os efeitos do fogo patrocinado pelo Jardim Botânico de Brasília com participação de pesquisadores e administradores de unidades de conservação da Universidade de Brasília, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Fundação Zoobotânica do Distrito Federal, Universidade de São Paulo, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e dos oficiais do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal (Miranda *et al.*, 2010).

O monitoramento de queimadas e incêndios florestais, por sensoriamento remoto, trouxe uma revolução no contexto dos estudos relacionados à passagem de fogo. Isso tem ocorrido devido ao aumento substancial nos estudos de queimadas utilizando imagens e produtos de sensoriamento remoto. Muitos estudos têm sido desenvolvidos utilizando *softwares* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) (Libonati *et al.*, 2015; Nagel *et al.*, 2023).

Segundo Chuvieco *et al.* (2019), isso ocorreu porque nas últimas duas décadas houve maior acesso às geotecnologias, nomeadamente software de SIG, ao desenvolvimento de linguagens de programação, e mesmo ao acesso gratuito a tecnologias mais antigas e mais recentes de produtos de sensoriamento remoto. Além de avanços tecnológicos, necessidades práticas e benefícios intrínsecos, por exemplo, as mudanças climáticas, o desmatamento e a diversificação das atividades humanas têm aumentado a frequência e a intensidade de ocorrência do fogo, especialmente de incêndios florestais em todo o mundo.

Diante do que foi apresentado, este trabalho pretende investigar quais são os motivadores para ocorrência de queimadas no estado de Goiás, especificamente na Mesorregião Norte Goiano. A metodologia contemplou a realização de uma revisão de literatura, sob a perspectiva bibliométrica e sistemática para avaliar o conhecimento acumulado sobre o tema. Para modelagem dos motivadores, associados aos fatores

ambientais, econômicos e sociais do fogo, foram utilizados modelos de Aprendizagem de Máquina, *Random Forest* e *eXtreme Gradient Boosting*.

Assim, a hipótese da pesquisa é que o fogo na Mesorregião Norte Goiano ocorre motivada por variáveis ambientais em detrimento às variáveis socioeconômicas. Ademais, esta pesquisa avalia 1) em quais tipos de cobertura o fogo predomina; e 2) Quais as variáveis ambientais influenciam para a sua ocorrência.

A pesquisa foi estruturada em três partes, sendo dois artigos. A primeira parte, denominada Capítulo I, refere-se a Introdução. A segunda Parte, Artigo 1, que se compõe de uma revisão de literatura nas perspectivas, bibliométrica e sistemática. Do ponto de vista bibliométrico, valorizou-se um estudo quantitativo por meio das métricas *Bibliometrix* (Bx). Para Aria e Cuccurullo (2017), essa ferramenta realiza análises abrangentes de mapeamento científico e fornece análises mais objetivas e confiáveis. Sob a perspectiva sistemática valoriza-se a análise de conteúdo por meio da abordagem qualitativa, em que se destaca síntese dos objetivos, as metodologias e principais resultados dos estudos selecionados (O'Dea *et al.*, 2021; Feitosa Junior *et al.*, 2024).

A terceira Parte apresenta o Artigo 2 em que são avaliados os motivadores da ocorrência de queimadas no estado de Goiás, especificamente na Mesorregião Norte Goiano, totalmente inserida no bioma Cerrado. A metodologia contemplou a modelagem dos motivadores, associados aos fatores ambientais, econômicos e sociais do fogo em que foram utilizados modelos de Aprendizagem de Máquina, *Random Forest* e *eXtreme Gradient Boosting*. Nesta etapa foram coletados dados e informações de fontes variadas que contribuíram com estudos sobre a ocorrência do fogo seguindo o trabalho de Nunes, Lourenço e Meira (2016) e Alvarado *et al.* (2017). Segundo Alvarado *et al.* (2017), a atividade do fogo é determinada por uma ampla gama de fatores, incluindo condições climáticas de longo e curto prazo, sazonalidade climática, velocidade e direção do vento, topografia e biomassa de combustível.

1.1 Objetivo geral

Realizar a modelagem espacial dos motivadores para ocorrência de queimadas no estado de Goiás, Mesorregião Norte Goiano.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão de literatura para caracterização da pesquisa no fogo no Cerrado;
- Modelar os preditores da ocorrência de fogo na Mesorregião Norte Goiano.

Os estudos do fogo no Cerrado: uma revisão de literatura

O referencial para esta pesquisa ocorreu por meio de revisão de literatura pelas perspectivas, bibliométrica e sistemática. Na primeira perspectiva utilizou-se da Inteligência Artificial para a busca da produção sobre o tema da pesquisa nas bases *Scopus* e *Web of Science*. Na perspectiva sistemática selecionou-se para análise os documentos referentes ao estado de Goiás.

2.1 Estudo do Fogo no Cerrado

Os estudos sobre o fogo estão tornando-se cada vez mais relevantes, especialmente no contexto das alterações climáticas (Feitosa Junior *et al.*, 2024). Além disso, as perturbações provocadas por queimadas são parte essencial de diversos ecossistemas, dentre os quais o Cerrado, mas as atividades humanas têm potencializado sua ocorrência.

Segundo Trigueiro *et al.* (2020), o Cerrado brasileiro compreende 1.297 municípios com diferentes históricos de ocupação. As transformações nas paisagens nesse bioma foram motivadas pelo intenso desmatamento da vegetação primária (Caballero *et al.*, 2023). Associado ao desmatamento no Cerrado tem-se a alteração significativa dos regimes naturais de fogo (Alves e Alvarado, 2019).

Ao abordar o tema queimadas, é imprescindível reconhecer que o fogo é um componente natural dos ecossistemas. Por ser um elemento intrínseco em diversos ambientes, o fogo assume um papel ecológico fundamental no desenvolvimento ou declínio do meio ambiente, especialmente quando influenciado por fatores climáticos e atividades humanas (Leite *et al.*, 2013; Alvarado *et al.*, 2018; Alves e Alvarado, 2019).

A presença do fogo no bioma Cerrado, as savanas brasileiras, é uma ocorrência natural que perdura há milênios (Miranda *et al.*, 2002; Miranda *et al.*, 2010; Rocha e Nascimento, 2022; Nagel *et al.*, 2023). Contudo, desde que os homens aprenderam a controlá-lo, o regime de fogo mudou (Leite *et al.*, 2013; Martins *et al.*, 2020). A expansão das atividades humanas alterara sua frequência e intensidade e quando associadas às condições de seca e às mudanças climáticas, o risco de queimadas tem se tornado ainda mais evidentes, especialmente no bioma Cerrado (Nagel *et al.*, 2023).

Observando o quanto tais mudanças podem influenciar na constituição deste bioma, torna-se cada vez mais necessários estudos sobre a dinâmica do fogo em savanas.

Para o mapeamento destas pesquisas é valorizado o uso de ferramentas que permita aos pesquisadores explorar de forma mais dinâmica o quantitativo de produções acadêmicas.

Desta forma, esta revisão de literatura destaca o uso de ferramentas de análise bibliométrica, como o pacote Bibliometrix, para a busca e avaliação da produção científica relacionada ao tema da pesquisa nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, pelo acesso remoto ao conteúdo assinado do Portal de Periódicos da CAPES disponibilizado para as instituições de ensino. A escolha dessas bases de dados justifica-se por serem amplamente utilizadas devido ofertarem vastos repositórios de artigos de periódicos, conferências, livros e outros materiais científicos de alta relevância, provenientes de periódicos de maior visibilidade na comunidade acadêmica (Manríquez *et al.*, 2015). Nesse contexto, a aplicação da bibliometria neste estudo configura-se como uma ferramenta estatística indispensável para quantificar, avaliar e interpretar comportamento dos indicadores bibliométricos das publicações científicas, considerando impacto quantitativo, crescimento, maturação e alcance das publicações (Moral-Muñoz *et al.*, 2020). Os indicadores bibliométricos são formas de sintetizar e agregar valor à informação (Faria, 2001). Desta forma, exercem contribuição significativa.

2.2 Materiais e Métodos

Os procedimentos metodológicos são do tipo exploratório-descritivo, com uso de técnicas padronizadas de coleta de dados na forma de levantamento para realização da revisão de literatura, baseada na pesquisa de Feitosa Junior *et al.* (2024).

Assim, para fins de melhor entendimento estabeleceram-se algumas etapas, conforme apresentado na **Figura 1**: Etapa 1 - definição das *strings* de busca usando palavras-chave em inglês. Etapa 2 - obtenção dos documentos em formato .txt das bases de dados (WoS e Sco). Etapa 3 - importação dos registros bibliográficos das bases de dados para unir os arquivos das bases de dados, eliminar repetições e criar listas para análises, usando um *script* em R na interface RStudio. Etapa 4, exportação de dados para a visualização gráfica gerada na ferramenta web do Bibliometrix denominada Biblioshiny, e produção de tabelas dos resultados. Etapa 5, seleção de artigos para revisão sistemática. Etapa 6, análise dos artigos associados aos 10 autores mais relevantes pelo H-Index.

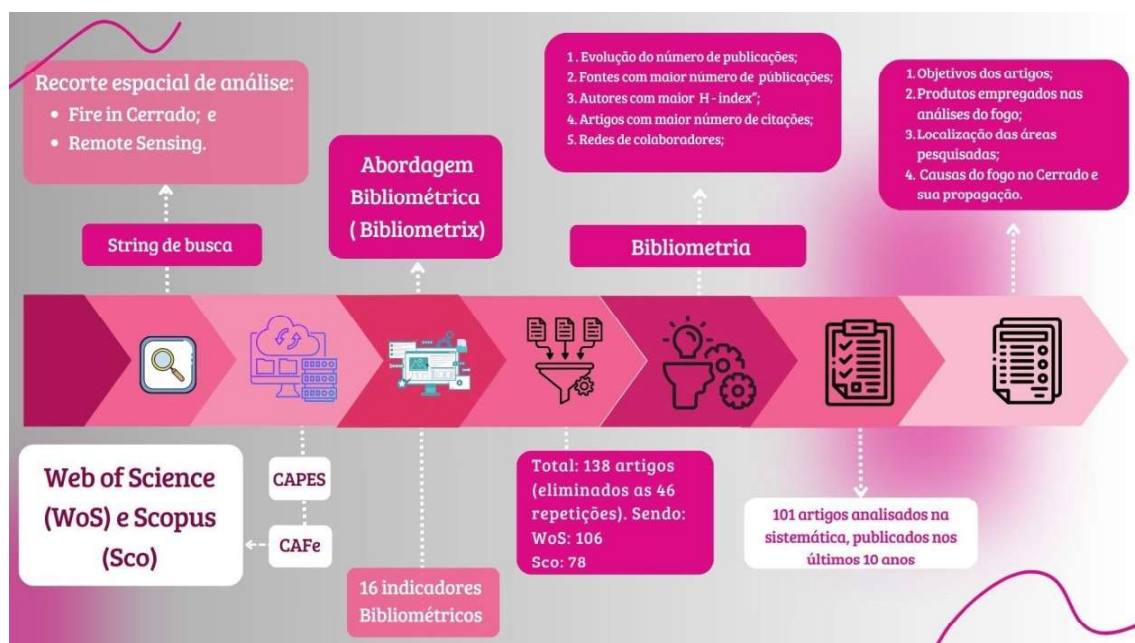


Figura 1. Framework PRISMA - Visão geral da metodologia aplicada *Scopus = Cco* e *WoS = Web of Science*. Fonte: Modificado de Feitosa Junior *et al.* (2024).

Assim, na Etapa 1 foi definida como *string* de busca o termo “*Fire in Cerrado and Remote Sensing*”. *Fire in Cerrado*, por ser o recorte espacial de análise e *Remote Sensing* por que é a fonte de dados de análise apresentada no Capítulo 3, em que consta uma caracterização mais profunda sobre o Bioma Cerrado.

Na Etapa 2, foi realizada busca por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo link <https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/> através do sistema da Comunidade Acadêmica (CAFe) das bases de dados *Web of Science* (WoS) e *Scopus* (Sco).

Na Etapa 3, utilizou-se o *script* descrito no Apêndice I, no *software R* e a *interface RStudio*, versão 4.2, por meio do pacote *bibliometrix* código que consta na Apêndice I. Na Etapa 4, seguindo a proposta de Aria e Cuccurullo (2017), os dados exportados da interface *RStudio* são redirecionados para a página eletrônica do *Biblioshiny* na Internet. O *Biblioshiny* consiste em uma extensão *web* dos principais recursos do pacote *Bibliometrix*. Sua finalidade é apresentar as principais funcionalidades da ferramenta (gráficos e tabelas), e melhorar a visualização dos dados gerados, por meio de uma *interface* interativa. Bem como, suporta análises diversas e permite acesso a dados quantitativos de 16 indicadores bibliométricos empregados na busca desejada (Aria e Cuccurullo, 2017). No *Biblioshiny*, o primeiro passo é verificar a integridade dos metadados bibliográficos classificados como ‘Excelente’, ‘Aceitável’ e ‘Ruim e/ou ausente’ por meio da completude de dados.

Ainda nesta etapa, é possível utilizar funções do *Biblioshiny* para criar diversos elementos de representação como mapas, gráficos, nuvens de palavras, entre outros (Abafe *et al.*, 2022; Feitosa Junior *et al.*, 2024). Ademais, o *Biblioshiny* permite a exportação de dados

quantitativos em diversos formatos (.XLSX, .CSV ou PDF). Assim, os dados podem ser exportados e tabulados em uma planilha eletrônica. Para descrição dos resultados, foram destacados os três principais resultados das listas obtidas pelo site do *Biblioshiny*.

Na Etapa 5, como estratégia para redução do número dos documentos selecionados, estabeleceu-se para seleção os artigos observando a recomendação *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). O PRISMA consiste numa estratégia, na forma de um *checklist* com 27 itens disponíveis e um fluxograma de quatro etapas para evitar viés na seleção de documentos (PRISMA, 2023). Esse método contribui para que o processo de inclusão de estudos seja rigoroso, e no caso dessa pesquisa, quantitativo a partir da observação dos artigos publicados nos últimos 10 anos para análise sistemática, o que correspondeu a 79% do número total de documentos mapeados na Bibliometria.

Ademais, foram considerados nas análises as métricas *H-index* e suas variantes (g-index e m-index) para indicação de autores de referência na área dos estudos do fogo em Savanas. O índice H foi proposto no ano de 2005 por Jorge E. Hirsch, que descreveu uma ferramenta para determinar a qualidade relativa dos artigos científicos. Desde então, o índice H tem sido usado atualmente na comunidade científica para medir a produtividade e o impacto do pesquisador (Thomaz et al., 2011).

A determinação do recorte de 10 anos diz respeito ao fato de que os trabalhos mais recentes refletem os avanços mais significativos e as tendências emergentes dos estudos do fogo no Cerrado. Ademais, os artigos antigos podem não representar mais a realidade ou os desafios atuais.

Dos artigos selecionados para a revisão sistemática, foram observados seus objetivos; os produtos empregados nas análises do fogo, a localização das áreas pesquisadas, as causas do fogo no Cerrado e sua propagação. Essas variáveis foram pensadas devido à importância de se conhecer objetivos dos artigos, para sua contextualização; reconhecer os produtos empregados, para facilitar a replicação dos estudos por outros pesquisadores, o que é fundamental para a validação científica.

O reconhecimento da localização das áreas estudadas é importante por auxiliar na determinação da aplicabilidade dos resultados para outras áreas, considerando as diferenças ecológicas e climáticas. A compreensão das causas auxilia na avaliação dos impactos ambientais e a propor medidas mitigadoras.

2.3 Resultados e Discussões

2.3.1 Revisão de literatura, perspectiva bibliométrica

Os resultados revelaram 106 artigos disponibilizados na *Web of Science* e 78 artigos no *Scopus*. Foram eliminados por repetição 46 documentos, totalizando 138 restantes. Dentre os artigos selecionados, em todo o período histórico, 110 foram escritos nos últimos 10 anos e, portanto, considerados nesta pesquisa.

A análise da completude dos dados revelou a perda de informações de sete *status* (100%). Apesar disso, manteve 100% de oito *status* (abstract, autor, journal, ano de publicação, título, total de citação, DOI e afiliação). A análise de completude revela as possíveis perdas de informações nas análises dos documentos, isso revela dados ausentes na confecção de alguns periódicos (Kumar, Shandilya e Srivastava, 2023). Ademais, este resultado foi afetado pelas incompatibilidades nos documentos devido aos formatos dos periódicos consultados (Feitosa Junior *et al.*, 2023).

Ou seja, a análise da completude dos dados indicou que houve falhas ou lacunas no conjunto de dados utilizado para a análise. Isso foi mais relevante em sete *status*, que estavam completamente ausentes. A perda de informações importantes (como sete *status*) pode comprometer a integridade da análise e limitar a capacidade de tirar conclusões definitivas sobre os dados.

Foram analisados artigos públicos entre 1991 a 2023 (**Figura 2**). É possível observar que entre 1991 e 2014 as publicações são modestas, com oscilação que não passam de 5 documentos publicados ao ano.

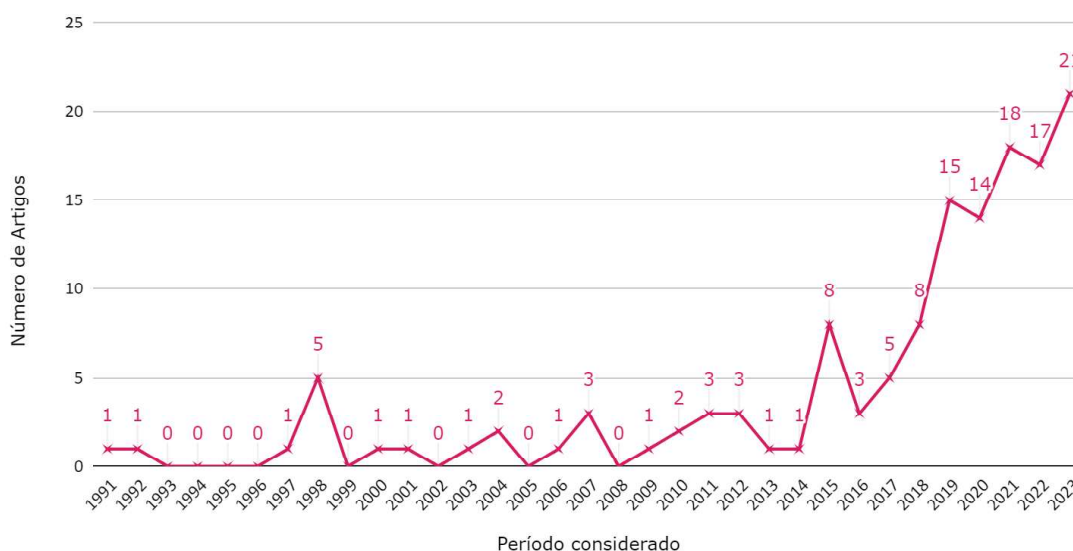


Figura 2. Evolução do número de publicações sobre o tema em estudo de 1991 a 2023. Fonte: Elaboração própria com dados *Biblioshiny*.

A partir do ano de 2015 em diante foi observado um aumento no número de publicações, sendo o ano de 2023 com o maior número, 21 artigos publicados. O aumento de publicações pode estar associado ao crescente desenvolvimento de ferramentas e produtos derivados do sensoriamento remoto (Chuvieco *et al.*, 2019). Ademais, o desenvolvimento de

novas geotecnologias possibilita o acesso a informações que permite determinar o grau de severidade de incêndios florestais.

A análise realizada neste estudo revela que os periódicos que mais publicaram artigos, entre os anos de 1991 a 2023, estão ligados à *Remote Sensing* com 21 artigos publicados, seguidos por *Fire-Switzerland* com 7 publicações e *Remote Sensing Of Environment* com 6, (**Tabela 1**). O *Remote Sensing* é um periódico internacional, revisado e de acesso aberto sobre ciência e a aplicação da tecnologia de sensoriamento remoto, com publicações online quinzenalmente. Ademais, ainda com base nos dados do *Biblioshiny*, da análise ao longo do tempo, observou-se que a *Remote Sensing* apresenta crescente número de publicações a partir do ano de 2011.

Tabela 1 - Fontes com maior número de publicações para o período de 1991 a 2023.

	Fontes	Artigos
Fontes: Elaboração própria com dados Biblioshiny.	<i>Remote Sensing</i>	21
	<i>Fire-Switzerland</i>	7
	<i>Remote Sensing Of Environment</i>	6
	<i>Ciência Florestal</i>	5
	<i>International Journal Of Remote Sensing</i>	5
	<i>Journal Of Geophysical Research-Atmospheres</i>	4
	<i>Revista Brasileira de Geografia Física</i>	4
	<i>Atmospheric Environment</i>	3
	<i>Forest Ecology And Management</i>	3
	<i>Geophysical Research Letters</i>	3

Para avaliar o impacto, tanto da produtividade quanto o impacto das publicações de cientistas em um conjunto de publicações foi calculado o *H-index* e suas variantes (g-index e m-index). Segundo Aria e Cuccurullo (2017) e Ball (2017) o índice é gerado automaticamente em todas as bases de dados baseia-se no conjunto dos artigos mais citados do cientista e no número de citações que este recebeu em outras publicações. Neste trabalho, o índice calculado indica Carlos C. Dacamara (*DAMACARA C*), Renata Libonati (*LIBONATI R*) e Fabiano Morelli (*MORELLI F*) como os três principais autores mais citados (**Tabela 2**).

O pesquisador Carlos C. Dacamara é Professor Associado do Instituto Dom Luiz, da Faculdade de Ciências, da Universidade de Lisboa. Atua nas áreas: fogos florestais, sensoriamento remoto, extremos meteorológicos e dinâmica do clima. O pesquisador tem parcerias internacionais, inclusive com Renata Libonati e Fabiano Morelli.

Tabela 2 - Autores com maiores *H-index* e suas variantes (g-index e m-index) para os autores.

Autores	h_index	g_index	m_index	TC	NP	PY_start
DACAMARA C	2	7	0,133	72	7	2010
LIBONATI R	2	8	0,133	72	13	2010
MORELLI F	2	6	0,2	69	6	2015
ABREU S	1	1	0,04	31	1	2000
ALBUQUERQUE R	1	1	0,167	1	2	2019
ANDERSON L	1	2	0,143	4	4	2018
ARAI E	1	1	0,2	1	3	2020
ARAÚJO I	1	1	0,167	1	1	2019
ARGIBAY D	1	2	0,25	4	2	2021
ARTAXO P	1	3	0,037	281	3	1998

Fonte: Elaboração própria com dados *Biblioshiny*.

Em consulta ao *curriculum Lattes* de Renata Libonati observou-se que a profissional é professora na Universidade Federal do Rio de Janeiro. A sua proeminência pode ser observada nos seguintes aspectos: participação em múltiplos estudos que abordam diferentes aspectos relacionados com o fogo no Bioma Cerrado, e em outros biomas, e usa principalmente sensoriamento remoto para analisar estes fenômenos. Contribui para o desenvolvimento de metodologias e índices, como o Índice de Impacto do Fogo nos Recursos Hídricos e para o mapeamento de áreas queimadas utilizando dados de satélite.

Além disso, Libonati se destaca com estudos sobre o impacto do fogo nos recursos hídricos; mapeamento de áreas queimadas e análise de precisão, desenvolvimento e aplicação de índices de vegetação sensíveis ao fogo, caracterização de padrões de área queimada, estratégias de gestão de fogo, análise de ecossistemas afetados por incêndios e análise de cicatrizes de incêndio e sua relação com a intensidade do fogo.

Libonati é doutora em Ciências Geofísicas pela Universidade de Lisboa e pós-doutora no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A sua vasta participação em estudos relevantes demonstra o seu papel central na pesquisa sobre incêndios no Brasil e, em particular, no Bioma Cerrado.

A pesquisadora foi agraciada com o Prêmio Mulheres na Ciência América Latina pela 3M, pela contribuição de seus trabalhos em monitoramento de fogo por satélite. Além disso, a pesquisadora também apareceu na pesquisa de Feitosa Junior *et al.* (2024) no top 10 do *ranking* de profissionais que mais atuam na área dos estudos do fogo por sensoriamento remoto, inclusive com publicações de maiores impactos.

O pesquisador Fabiano Morelli é Tecnologista Sênior III do INPE e doutor em Ciências pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Seus trabalhos se destacam a partir da sua atuação no Programa de Monitoramento de Queimadas por Satélites do INPE. Fabiano Morelli assinou uma publicação com relevante impacto na *Remote Sensing Journal* no ano de

2015 em parceria com os pesquisadores Renata Libonati e Carlos C. Dacamara (Libonati *et al.*, 2015).

Quanto aos artigos mais citados globalmente referente ao tema de incêndios e queimadas florestais dos dez mais citados (**Tabela 3**), temos o KAUFMAN YJ, 1998, *J GEOPHYS RES D ATMOS-a* (Potencial do monitoramento global de incêndios a partir do EOS-MODIS) citado 281, em seguida está LIBONATI R, 2015, *REMOTE SENS* (Um Algoritmo para Detecção de Áreas Queimadas no Cerrado Brasileiro Utilizando Imagens MODIS 4 gm MODIS) citado 67 vezes e NOGUEIRA JMP, 2017, *CLIM* (Padrão espacial da relação sazonal seca/área queimada nos biomas brasileiros: Sensibilidade a métricas de seca e produtos globais de fogo por sensoriamento remoto) citado 33 vezes.

A importância dessa análise para o objetivo da pesquisa em tela, diz respeito ao fato de que as referências mais citadas podem configurar indicadores chave de relevância e impacto no campo de estudo. Desse modo, quando se analisa as referências mais citadas em uma área de pesquisa, é possível identificar os estudos que têm maior influência sobre o desenvolvimento do conhecimento, ou que são mais frequentemente usados por outros pesquisadores como base para novas investigações.

Tabela 3 - Refere-se aos artigos que receberam o maior número de citações de pesquisadores em todo o mundo.

Artigos	Total Citações	TC por Ano	TC Normalizado
KAUFMAN YJ, 1998, J GEOPHYS RES D ATMOS-a	281	10,41	5,00
LIBONATI R, 2015, REMOTE SENS		6,70	7,88
NOGUEIRA JMP, 2017, CLIM	33	4,13	4,71
PEREIRA EB, 2000, SOL ENERGY	31	1,24	1,00
MATAVELI GAV, 2019, REMOTE SENS	12	2,00	11,25
DACAMARA CC, 2016, IEEE GEOSCI REMOTE SENS LETT	5	0,56	3,00
PEREIRA IMS, 2018, FLORESTA	4	0,57	4,00
DE SOUZA NEVES LF, 2018, RA'E GA ESPACO GEOGR ANAL	4	0,57	4,00
TEIXEIRA NC, 2021, REV BRAS GEOGR FIS	4	1,00	7,20
MELO P, 2021, FIRE	4	1,00	7,20

Fonte: Elaboração própria com dados *Biblioshiny*.

A pesquisa com maior número de citações refere-se a publicação intitulada Monitoramento global de incêndio potencial do EOS-MODIS (tradução livre), publicada no ano de 1998 do *Journal of Geophysical Research*. A pesquisa empregou dados do MODIS para monitorar cicatrizes de queimadas, tipo e condição da vegetação, aerossóis de fumaça, vapor de água e nuvens para monitoramento geral do processo de queimadas e seus efeitos nos ecossistemas, na atmosfera e no clima (Kaufman *et al.*, 1998). Esse trabalho oferece um

estado da arte sobre aplicação dos dados MODIS, ao mesmo tempo que explora tais dados para aplicação em todo o mundo desses produtos.

O trabalho de Renata Libonati (2015), intitulado *Um Algoritmo para Detecção de Áreas Queimadas no Cerrado Brasileiro Utilizando Imagens MODIS 4 gm*, aparece em segundo lugar entre os dez mais citados. O estudo desenvolvido pela pesquisadora elaborou mapas mensais de áreas queimadas de 1 km² no Cerrado usando sensoriamento remoto. Utilizando um algoritmo de índice de vegetação sensível ao fogo com dados diários de refletância do MODIS e detecção ativa de incêndios. A validação foi feita com imagens Landsat e comparada com produtos padrão do MODIS. O banco de dados mensal de 2005-2014 mostra áreas queimadas 1,3 vezes maiores que as de referência, úteis para estudos de emissões e gestão de ecossistemas. A variabilidade das áreas queimadas corresponde ao regime de precipitação. Seu trabalho foi o primeiro passo para criar um banco de dados regional no Brasil, no projeto *BRazilian Fire-Land-Atmosphere System* (BrFLAS).

O terceiro trabalho mais citado encontrado na análise é o de Joana M. P. Nogueira, intitulado *Padrão Espacial da Relação Sazonal entre Seca e Área Queimada nos Biomas Brasileiros: Sensibilidade a Métricas de Seca e Produtos Globais de Sensoriamento remoto de Incêndios*. Neste estudo a autora avaliou a relação entre área queimada (BA) e índices de perigo de incêndio (FDI) nos biomas brasileiros. Foram utilizados 12 FDI padrão e quatro conjuntos de dados de BA de sensoriamento remoto global. A análise mostrou boas correlações ($R^2 > 0,8$) para todos os dados, exceto SPEI. A relação FDI/BA varia conforme o bioma, sendo mais precisa na Amazônia e Cerrado. FDI específicos devem ser usados para previsão de perigo de queimadas em cada bioma.

A rede de colaboração revela o protagonismo dos pesquisadores Renata Libonati e Yosio Edemir Shimabukuro em dois agrupamentos de destaque (**Figura 3**). De modo geral, para Oliveira (2018), os grupos que estão habituados a trabalhar em cooperação produzem mais, produzem melhor e voltam dificilmente a trabalhar sozinhos. Ademais, cooperações são duradouras e, muitas vezes, geram outras cooperações (Oliveira, 2018).

Mata Atlântica, o Pantanal e a Caatinga, no que diz respeito aos efeitos do fogo (Araújo, Ferreira e Arantes, 2012).

Assim, no que diz respeito aos objetivos, os artigos selecionados versaram sobre: impacto do fogo nos recursos hídricos, detecção de áreas queimadas, resiliência da vegetação, regimes de fogo e padrões espaciais, emissões de incêndios e manejo integrado do fogo. Desse modo, o potencial de contaminação de massas de água por incêndios foi analisado por meio de um índice que considera fatores como inclinação do terreno, proximidade de rios e vegetação (Nagel *et al.*, 2023).

Os estudos que focaram na análise da detecção de áreas queimadas foram mais abundantes, somaram 15 artigos. Em síntese, as pesquisas apresentam o desenvolvimento de algoritmos para detecção de áreas queimadas utilizando dados de sensoriamento remoto, como MODIS e Landsat, a exemplo de Libonati *et al.* (2015), Shimabukuro *et al.* (2015), DaCamara *et al.* (2016), Santana *et al.* (2020) e Carvalho Junior *et al.* (2015).

Em estudo mais recente, Moraes e Hermuche (2023), ao mapearem áreas queimadas utilizando não só imagens MODIS, mas também imagens Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI, foi observado que grande parte da porção oeste e sudoeste do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros não sofreu ocorrências significativas de queimadas. Ainda segundo os autores, o fato se deu devido à maior quantidade de água circulando no sistema e por se tratar de uma área plana com altitudes intermediárias. Apesar do protagonismo do uso dos produtos MODIS, foi comum pesquisas que utilizam outros dados de sensoriamento remoto, a exemplo, LANDSAT, Sentinel-2A e 2B e RapidEye (Franke *et al.*, 2018; Melo *et al.*, 2021).

De modo geral, a importância de se mapear área queimada advém do fato de que isso indica impactos sociais, ambientais e econômicos. Especialmente em áreas Unidades de Conservação, a identificação de áreas queimadas pode orientar programas de prevenção e programas de manejo em áreas de conservação (Galvão, Gaedke e Lohmann, 2022).

A resiliência da vegetação frente ao fogo é tema amplamente debatido (Díaz-Delgado *et al.*, 2002; Bisson *et al.*, 2008; Knox e Clarke *et al.*, 2012). De modo geral, a resistência e a resiliência às mudanças climáticas e ao regime de incêndios dependem das características funcionais das plantas (Enright *et al.*, 2014). No Cerrado, após eventos de fogo, as avaliações ocorreram através das análises multitemporais do índice de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), em que se pode destacar os estudos de Santanna *et al.* (2019) e Moraes e Hermuche (2023). Sobre o tema de resiliência da vegetação frente ao fogo, estudo de Reis *et al.* (2017) apontam para que as formações de savana do Cerrado brasileiro apresentam alto grau de resistência e resiliência aos impactos do fogo, embora pouco se saiba sobre suas formações florestais. Os autores concluem que o Cerradão tem resistência e resiliência reduzidas às perturbações causadas pelo fogo em relação às formações savânicas (Reis *et al.*, 2017). Portanto, esclarecem Reis *et al.* (2017), queimadas frequentes podem

causar alterações drásticas nessa fitofisionomia, enfatizando a necessidade de cuidados especiais para a preservação de sua biodiversidade.

Como achados relevantes, a pesquisa de Silva *et al.* (2021) oferece um cenário completo sobre os regimes de fogo e padrões espaciais no Cerrado. Assim, de modo geral, os autores revelam que existem comportamentos regionais de incêndios muito distintos no Cerrado, que o fogo tem um gradiente norte-sul bem definido relacionado ao desenvolvimento econômico, poucos incêndios durante a estação seca são responsáveis pela maior parte da área queimada e que no MATOPIBA, a mais recente fronteira agrícola, apresenta atividade crescente de incêndios.

De modo geral, a importância dos estudos sobre regimes de fogo e padrões espaciais se deve ao fato de que é preciso compreender e gerenciar ecossistemas, especialmente em regiões propensas a incêndios. Tal análise revela a influência de fatores como precipitação e atividades humanas, a justificativa para isso é que, a ocorrência e o comportamento do fogo são influenciados por uma complexa interação de fatores climáticos, ecológicos, sociais, econômicos e de manejo (Alvarado *et al.*, 2017), mas os fatores de variação da perturbação por incêndios nas paisagens ao longo do tempo são ainda pouco conhecidos (Alvarado *et al.*, 2018; Santos *et al.* 2020; Melo *et al.*, 2021).

Os estudos sobre regimes de fogo e padrões espaciais são vitais para a gestão sustentável dos ecossistemas e para a proteção de vidas humanas e propriedades. Segundo, uma análise inovadora das cicatrizes de incêndio estratificadas por classe de dimensão mostra que os grandes incêndios pouco frequentes são responsáveis pela maioria da área queimada (Silva *et al.*, 2021).

A caracterização e quantificação das emissões de partículas finas (PM2.5) associadas a incêndios no Cerrado são investigadas em Mataveli *et al.* (2021). Apesar de não se concentrar no Bioma Cerrado, os autores investigam o papel das áreas de transição desse Bioma com a Floresta Amazônica.

Em síntese, a importância das análises de emissões de partículas finas se deve aos impactos significativos que essas partículas têm na saúde humana, no meio ambiente e no clima. Para Santanna *et al.* (2016), os ecossistemas como a floresta tropical amazônica e o Cerrado brasileiro estão passando por mudanças radicais. Essas atividades humanas promovem um aumento nos níveis de gases e partículas emitidos na atmosfera.

O manejo integrado do fogo é tema de estudo, revela como o uso de queimadas prescritas para reduzir grandes incêndios e as emissões associadas no Cerrado. Segundo Nascente, Ferreira e Nunes (2022), o Manejo Integrado do Fogo (MIF) atua como estratégia de inferência de atributos ecológicos e aspectos sociais na modificação da paisagem para o manejo territorial. Sobre o tema, os autores revelam que foi constatado não haver estudos com queimadas experimentais nos ambientes de veredas que permitam quantificar seu real

impacto, nem subsídio para aplicação de técnicas de manejo do fogo (Nascente, Ferreira e Nunes, 2022), indicando a importância desse estudo.

Apesar disso, o estudo de Schmidt *et al.* (2016, p. 55) releva que “pela primeira vez no Brasil, queimadas prescritas de baixa intensidade no começo da estação seca foram implementadas em Unidades de Conservação (UC) do Cerrado como estratégia de manejo”. Para os autores, a experiência piloto demonstrou que as ações institucionais de manejo do fogo, voltadas à conservação e prevenção de incêndios, podem se assemelhar ao manejo tradicional ou ser facilmente adotadas pelas comunidades locais, alinhando-se aos princípios do Manejo Integrado do Fogo.

Em resumo, da pesquisa de Nascente, Ferreira e Nunes (2022), os resultados permitiram inferir que o fogo atuou como agente renovador da vegetação nativa e como agente inibidor da vegetação invasora. As análises de classificação combinadas com a análise fitossociológica permitiram inferir que a vereda está em processo de maturação.

No que se refere aos produtos empregados nas análises do fogo, os artigos utilizam uma variedade de produtos de sensoriamento remoto, mas alguns se destacam pela sua frequência, como, por exemplo, o uso de dados MODIS (34,8% dos estudos analisados). Esse resultado corrobora a pesquisa de Feitosa Junior *et al.* (2024), que afirmaram haver predominância de estudos com dados de incêndio do MODIS para pesquisas em savanas no mundo. A principal vantagem desses produtos MODIS é a disponibilidade de dados sobre áreas queimadas e incêndios ativos em tempo quase real (Wang *et al.*, 2022).

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é amplamente utilizado para monitorar áreas queimadas, emitir alerta de incêndio, quantificar emissões de incêndio e avaliar as mudanças de parâmetros biofísicos da vegetação. Ademais, Produtos como reflectância, índices de vegetação (NDVI) e dados de focos de calor são frequentemente empregados.

Imagens Landsat são usadas para mapear cicatrizes de queimadas, reconstruir históricos de ocorrência de fogo e validar produtos de área queimada, também corroborando com as análises de Feitosa Junior *et al.* (2024). Dados dos sensores OLI e TIRS do Landsat 8 são aplicados em estudos de parâmetros biofísicos.

Os dados do sensor Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), também observados nas pesquisas analisadas, são utilizados para melhorar a precisão do mapeamento de áreas queimadas, especialmente em áreas com cicatrizes de incêndio pequenas e esparsas. Os dados de Lidar espacial (GEDI e ICESat) foram utilizados para estimar a carga de combustível e avaliar a estrutura vertical da vegetação.

Em síntese, os estudos apresentados por Oliveira *et al.* 2021, Silva *et al.*, 2021 e Mataveli *et al.*, 2023, abordam diversos aspectos relacionados com incêndios, principalmente no bioma Cerrado, utilizando produtos do MODIS e Landsat, mas há uma tendência crescente

no uso de dados de outros sensores como VIIRS, LiDAR e *Remotely Piloted Aircraft Systems Services* (RPAS), bem como o uso combinado de diferentes fontes de dados para o mapeamento e modelagem de queimadas.

No que diz respeito à localização das áreas pesquisadas, a escolha das regiões muitas vezes está ligada à frequência de ocorrência de incêndios, à importância ecológica e à pressão antrópica. Assim, Unidades de Conservação (UC), dentre as quais, o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Parque Nacional de Brasília e o Parque Nacional da Chapada dos Guimarães são analisados em vários estudos sobre resiliência da vegetação e avaliação de impactos de incêndios sobre parâmetros biofísicos e variação espaço-temporal.

No que diz respeito aos estudos em UCs, a vantagem se relaciona ao fato de serem áreas de laboratórios naturais que permitem a observação controlada dos impactos do fogo em diferentes ecossistemas, também por que possivelmente nessas áreas a vegetação de savanas são mais bem preservadas (Feitosa Junior *et al.*, 2024). Ademais, possibilitam a implementação e teste de estratégias de Manejo Integrado do Fogo.

Além dessas áreas, foram frequentes estudos na Serra do Tombador e no Jalapão, com foco na análise da perda de vegetação natural. O Território Quilombola Kalunga de Goiás é mencionado em relação à recorrência de incêndios. A pesquisa de Santos *et al.* (2020) ressalta a necessidade de considerar o tipo de vegetação e as práticas de manejo das comunidades locais para uma compreensão abrangente da ocorrência de incêndios no Território Quilombola, uma vez que a recorrência de incêndios e o tipo de vegetação estão interligados, reforçando a complexidade do fenômeno fogo no bioma Cerrado.

Foram analisadas as causas do fogo no Cerrado a partir dos estudos. De acordo com os textos, os motivos do fogo no Cerrado são variados e podem ser classificados em causas naturais e antrópicas (Mataveli *et al.*, 2019), com um predomínio das causas antrópicas. As fontes também mencionam que o fogo é um componente natural e importante neste ecossistema (Melo *et al.*, 2021). No entanto, as atividades humanas têm alterado os regimes de fogo na região.

As principais causas do fogo no Cerrado incluem como causas naturais, os raios, a ignição por raios é uma das principais causas naturais de incêndios no Cerrado, especialmente em áreas remotas e não controladas (Schumacher *et al.*, 2022). Assim, a ocorrência de incêndios por raios está associada a condições específicas de baixa precipitação, baixa umidade relativa, alta temperatura e velocidade do vento (Schumacher *et al.*, 2022).

No que diz respeito às causas antrópicas, as causas do fogo são atribuídas nos textos as práticas agrícolas (Cardozo *et al.*, 2011). Além disso, o desmatamento para a conversão de terras em áreas de agricultura ou pastagem é uma causa significativa de incêndios (Correia Filho *et al.*, 2023). Os incêndios acidentais, iniciados por descuidos humanos, como fogueiras

mal apagadas ou faíscas de equipamentos, são também apontados como uma das causas, também foram mencionados (Pletsch *et al.*, 2022).

No que diz respeito aos fatores que influenciam na propagação do fogo, destacam-se condições climáticas, carga de combustível, topografia e vento (Alvarado *et al.*, 2017). Assim, ainda segundo os autores, a duração da estação seca e a distribuição da chuva ao longo da estação determinam a probabilidade de ignição e propagação de incêndios, com períodos mais secos aumentar a ocorrência de incêndios (Alvarado *et al.*, 2017). A quantidade de biomassa seca disponível, ou carga de combustível, influencia a intensidade e propagação do fogo (Oliveira *et al.*, 2021).

Por fim, a inclinação do terreno e a proximidade de rios são fatores que afetam a propagação do fogo (Nagel *et al.*, 2023). A velocidade e a direção do vento são fatores importantes na propagação de incêndios (Alvarado *et al.*, 2017). Os ventos influenciam a propagação e os efeitos dos incêndios, especialmente em períodos secos. Soares (1990) e Machado *et al.* (2014) também destacam a influência do vento na propagação do fogo.

No Cerrado, o fogo é um fenômeno natural e, em certos casos, essencial para a manutenção da biodiversidade. De acordo com Coutinho (2002), Sampaio *et al.* (2016), Schmidt *et al.* (2016) e Gorgone-Barbosa *et al.* (2016), o fogo desempenha um papel fundamental no equilíbrio do ecossistema, sendo um fator natural e importante para sua dinâmica.

2.4 Conclusões

A análise bibliométrica identificou os periódicos, autores e artigos mais influentes, destacando o crescimento de publicações a partir de 2015 e o papel proeminente de pesquisadores como Renata Libonati. A análise da rede de colaboração aponta para o protagonismo de Renata Libonati e Yosio Edemir Shimabukuro em grupos de destaque, revelando a importância da cooperação entre pesquisadores. A revisão sistemática de 110 artigos dos últimos 10 anos explora a dinâmica do fogo, a importância do sensoriamento remoto para detecção de áreas queimadas e a resiliência da vegetação.

Os estudos também abordam as causas do fogo, predominantemente antrópicas, os fatores que influenciam sua propagação e o manejo integrado como estratégia de conservação. A pesquisa ressalta o uso frequente de dados MODIS e LANDSAT, mas também aponta para o crescente emprego de outros sensores e a relevância de estudos em Unidades de Conservação. Em suma, a análise oferece um panorama abrangente da pesquisa sobre incêndios no Cerrado, enfatizando sua complexidade e a necessidade de abordagens multidisciplinares para sua compreensão e gestão. Inclusive, os artigos mais citados

globalmente abordam temas como o potencial do monitoramento global de incêndios a partir do EOS-MODIS.

Por fim, as causas do fogo no Cerrado são variadas, com predomínio das causas antrópicas, como práticas agrícolas e desmatamento. Causas naturais como raios também ocorrem. Fatores como condições climáticas, carga de combustível, topografia e vento influenciam a propagação do fogo.

Os motivadores para ocorrência de queimadas na Mesorregião Norte Goiano

O estudo dos motivadores da ocorrência de fenômenos ambientais é recorrente na literatura (Oliveira *et al.*, 2014; Monjarás-Vega *et al.*, 2020; Trigueiro *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2021; Rodrigues-Silva *et al.*, 2022). Sua importância advém do fato de que compreender esses fatores é relevante para a implantação de políticas eficazes de gestão do fogo. Além disso, permite uma adequada previsão e gerenciamento dos impactos ambientais, contribuindo para a sustentabilidade e a resiliência dos ecossistemas afetados.

3.1 Introdução

Sendo considerado uma savana, a formação do Cerrado é determinada pelas condições climáticas, edáficas, hidrológicas, geomorfológicas, além do fogo e do pastejo (Rizzini 1997; Ribeiro e Walter 1998, 2008; Aquino, Pinto e Ribeiro, 2009). O termo Cerrado abrange todas as formações vegetais encontradas nessa região, incluindo árvores dispersas sobre o estrato gramíneos, sem formação de dossel, campos com predomínio de herbáceas, bem como trechos onde predominam árvores com formação de dossel (Walter e Ribeiro, 2010).

Sua amplitude ocupa larga faixa latitudinal que se estende do Equador até trechos ao sul do trópico de capricórnio, onde as vegetações componentes do bioma ocorrem desde 300 m de altitude, ou menos a 1700 m (Walter e Ribeiro, 2010). Neste sentido, Ribeiro e Walter (2008) para definir os tipos fitofisionômicos do cerrado se basearam na forma (fitofisionomia), definida pela estrutura e forma de crescimento influenciados por aspectos do ambiente e da composição florística.

Como já mencionado neste trabalho anteriormente, o fogo é um fator de perturbação em muitos ecossistemas e no cerrado os efeitos de sua ação transformam a fitofisionomia e a estrutura da vegetação (Coutinho, 1992, 2002; Alvarado *et al.*, 2017). Fielder *et al.*, (2004) relata o enriquecimento de trechos de Cerrado sentido restrito após passagem de fogo, Coutinho (1980) relata em seus estudos não só a resposta positiva de muitas espécies da flora, onde dias após a sua passagem florescem, mas bem como ele influencia nas características estáticas das comunidades e em sua dinâmica. Miranda e Sato (2005) relatam sua influência na ciclagem de nutrientes e o quanto sua passagem favorece o estrato rasteiro da vegetação. Segundo Libonati *et al.* (2015), o Cerrado brasileiro é significativamente afetado por

incêndios antrópicos todos os anos, tornando a região uma importante fonte de emissões pirogênicas.

É importante relatar que nem só de ações positivas a passagem de fogo se constitui. Quando não manejado conscientemente, este agente transformador da paisagem torna-se um problema. Alterações no período de fogo podem trazer fortes impactos nos ciclos de vida de diferentes espécies além disso, ele pode ser responsável por problemas ambientais, causando danos a fauna e a flora com destruição de habitats, impactar negativamente na saúde e bem estar dos seres vivos, inclusive com perda de vidas (Alvarado *et al.* 2018, Santos, Soares e Batista, 2006).

Os fatores climáticos, como seca, velocidade do vento e relevo, influenciam a propagação e os efeitos devastadores dos incêndios florestais, agravados pelo acúmulo de material combustível e crescimento populacional. Para estabelecer políticas de controle e prevenção eficazes, é essencial conhecer o perfil dos incêndios florestais, incluindo quando e por que ocorrem. Os registros de ocorrência são dados cruciais para esse entendimento e planejamento. Alves e Alvarado (2019) afirmam que os registros de queimadas se concentram em áreas de vegetação natural, sendo as formações savânicas e campestres as que mais sofrem. Santos e Faria (2020) corroboram ao identificar as áreas de altas declividades com vegetação savânica e campestre como de alto risco de incêndios.

Apesar do exposto, não se identificou pesquisas, para o Cerrado, sobre os motivadores do fogo. Contudo, em outras partes do mundo identificaram-se os estudos de Sá *et al.* (2011), Oliveira *et al.* (2014), Nunes, Lourenço e Meira (2016), Silva *et al.* (2020), Li *et al.* (2022). Sá *et al.* (2011) avaliaram que a vegetação tem a relação mais significativa com a incidência de incêndios, com as variáveis climáticas sendo mais importantes do que as variáveis antropogênicas para explicar a variabilidade da resposta. Nunes, Lourenço e Meira (2016), empregaram a regressão geograficamente ponderada para identificar os principais causadores de incêndios nos municípios. Segundo os autores, a topografia e densidade populacional foram fatores significativos em ignições municipais.

No Brasil, o estudo de Silva *et al.* (2020), revela que o clima desempenha um papel relevante na atividade de incêndios da região do MATOPIBA, explicando 52% da variância interanual, enquanto o uso da terra e a área queimada apresentam interações mais complexas que são altamente dependentes do contexto regional. Já o estudo de Li *et al.* (2022) identificou que a altitude, aspecto, velocidade do vento, temperatura, declive e distância da estrada ao ponto de incêndio foram maiores e sua influência espacial foi relativamente estável. Destaca-se que nem todos os estudos citados foram realizados em áreas de savana, portanto, variáveis nos preditores podem ser notáveis.

Assim, justifica-se esta pesquisa, pois, os eventos de incêndio influenciam substancialmente a biodiversidade, o ciclo do carbono, o clima, a saúde humana e a economia

em escala global (Oliveira *et al.*, 2021). Ademais, a investigação da variação espacial na importância dos principais fatores determinantes numa ampla área de estudo, dá uma contribuição valiosa para a melhoria das estratégias de gestão e prevenção de incêndios, ajustadas às condições particulares de diferentes áreas (Oliveira *et al.*, 2014). Diante de tais constatações, o objetivo deste capítulo é analisar os motivadores para ocorrência de queimadas no estado de Goiás, na Mesorregião Norte Goiano, por meio de modelos de Aprendizagem de Máquina.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Seleção da área de estudo

A seleção da área de estudo se deu a partir da observação dos dados de focos de calor do Monitoramento por Região disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o BDQueimadas. O programa teve início em 1985 em uma experiência de campo dos pesquisadores do INPE em conjunto com a NASA. Utiliza dez satélites que possuem sensores ópticos operando na faixa termal-média de 4 μ m, onde cada satélite de órbita polar (AVHRR/3 dos NOAA-18 e 19, METOP-B e C, as MODIS dos NASA TERRA e AQUA e as VIIRS do NPP-Suomi, NOAA-20) produz dois conjuntos de imagem por dia e os geoestacionários (GOES-16 e MSG-3) geram seis imagens por hora (INPE, 2019).

Os dados de focos de calor para o Estado de Goiás adquiridos no BDQueimadas foram para o período de 2010 a 2020 e, ao analisá-los, foi possível constatar que a região com maior média de foco de calor no estado foi a Mesorregião Norte Goiano (**Tabela 4**). O recorte temporal se refere aos dados mais atuais encontrados na base utilizada. Na **Figura 4** é possível observar a espacialização dos focos de calor para cada região no período analisado.

Tabela 4: Média do número de focos de calor por mesorregiões no estado de Goiás.

Mesorregiões	Média
Centro Goiano	405,208
Leste Goiano	1637,464
Noroeste Goiano	547,258
Norte Goiano	2422,939
Sul Goiano	601,677
Fonte: Elaboração própria.	

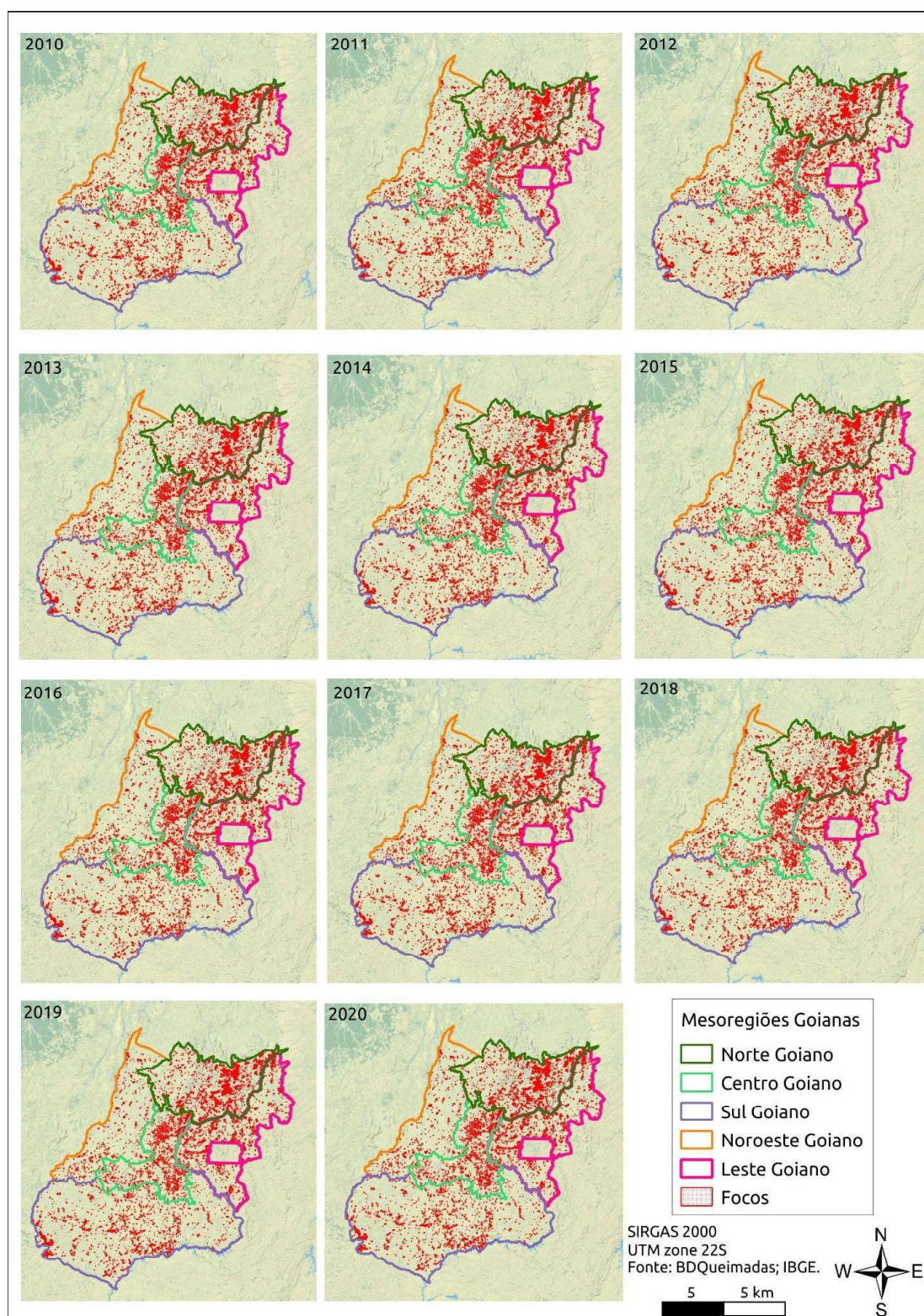


Figura 4: Espacialização dos dados de focos de calor do INPE no estado de Goiás.
Fonte: Elaboração própria

Desse modo, a **Figura 5** apresenta a área de estudo, que se localiza na porção central do território brasileiro, estado de Goiás, como referido. A área compõe-se de 27 municípios, integralmente cobertos pelo Bioma Cerrado.

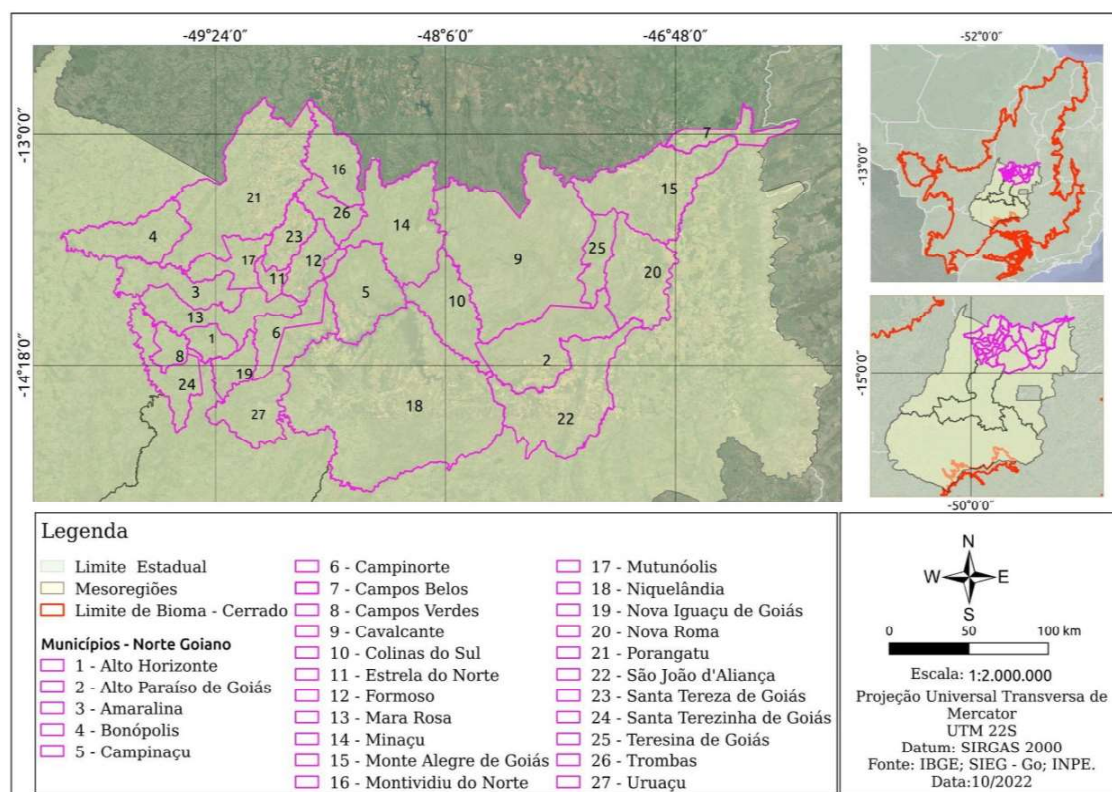


Figura 5. Localização da área de estudo no Bioma Cerrado. Fonte: Elaboração própria.

O Bioma Cerrado ocupa 23% do território nacional, sendo o segundo maior bioma do Brasil, superado somente pela Amazônia. Aproximadamente 50% de seu território já foi devastado (Castro, 2023). Ademais, é um bioma propenso a incêndios (Pettinari *et al.*, 2013). Isso ocorre, pois a inflamabilidade local varia de acordo com o tipo de vegetação dominante (Hoffman *et al.*, 2012).

Neste sentido, a vegetação de pastagens e savanas compreende 68% do bioma e é mais inflamável do que as florestas (Hoffman *et al.*, 2012). As gramíneas contribuem para o acúmulo de combustível vegetal, uma vez que há elevada produção na estação chuvosa, que se tornam altamente inflamáveis durante o período de seca (Cardoso *et al.*, 2018; Moraes e Hermuche, 2023).

Segundo a classificação de Köppen, a área tem clima Aw tipicamente tropical caracterizado por possuir estações climáticas bem definidas, apresentando um período chuvoso que inicia nos meses de setembro e outubro, terminando nos meses de março a abril sendo novembro, dezembro e janeiro os meses de maior precipitação média mensal que podem variar entre 200 a 400 mm. O período seco inicia entre os meses de abril e maio, estendendo-se até setembro e outubro (Silva, Assad e Evangelista, 2008).

A temperatura anual apresenta grande amplitude térmica variando entre 14 °C e 18 °C em períodos de baixa temperatura a 29 °C e 33 °C nos períodos de maiores valores médios de temperatura anual. A umidade relativa do ar na região varia entre 60% e 80% podendo chegar a 9% e 11% em períodos de seca (Silva, Assad e Evangelista, 2008).

No que se refere a ocupação na mesorregião, a população estava estimada em 309.665 habitantes, (IBGE, 2021) com Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) médio (0,555 – 0,699), com rendimento médio mensal dos trabalhadores formais em dois salários mínimos em 2020.

As atividades econômicas da região se dividem em agropecuária e turismo na região da Chapada dos Veadeiros e mineração nos municípios da Microrregião de Porangatu (Leite e Steinberger, 2015). Esta última assume importante relevância não só para a região, mas também para todo o estado, pois, a exploração mineral da Região Norte de Goiás, no início dos anos 2000, caracteriza a mesorregião como maior produtor mineral do estado, responsável por 80% das exportações do setor mineral goiano (Leite e Steinberger, 2015).

3.2.2 Dados e informações utilizados na pesquisa

Os dados e informações utilizados na pesquisa são de fontes diversas (**Quadro 1**). Assim, empregou-se os dados de áreas queimadas, considerada variável resposta, do MapBiomass (Arruda *et al.*, 2024).

Quadro 1. Descrição das variáveis com as respectivas categorias, unidades de medida e fontes.

Fonte: Elaboração própria.

Variáveis	Descrição	Código	Unid.	Fonte
Focos de incêndio	Soma das médias anuais da área queimada entre os anos de 2010 a 2020 para cada município da Mesorregião estudada.	Med_queimadas	km²	MapBiomass/Fogo
Uso e cobertura do solo	Soma das médias anuais das áreas de Uso e cobertura do solo de cada município da Mesorregião para as seguintes classes: Floresta, Formação savânica, Afloramento Rochoso, Área urbana, Mineração.	Florest_Med, FSavanica, Af_rochoso, Aurbaniz, Mineracao	km²	MapBiomass Land Cover and Use
Altimetria	Soma das médias de variação de Altitude máxima de cada município da Mesorregião.	AltitMax	m	Topodata
	Soma das médias da variação de Altitude mínima de cada município da Mesorregião.	AltitMin		
Relevo	Soma das médias das áreas padronizadas para a Mesorregião das seguintes classes: Suave, Suave ondulado, Forte ondulado, Montanhoso, Escarpado.	Suave, Suave_ond, Forte_ond, Montanhoso, Escarpado.	km²	Topodata
Climáticas	Soma das médias anuais da Temperatura Máxima no período seco para cada município da Mesorregião.	TempMax	°C	POWER Project
	Soma das médias de Temperatura Mínima no período seco de cada município da Mesorregião.	TempMin		
	Soma da média anual da umidade do ar no período seco para cada município da Mesorregião.	Umidad_med	2 m (%)	
	Soma da Média anual da precipitação no período seco para cada município que compõem a Mesorregião.	PRECI_SECO	mm/dia	
Infraestrutura	Soma da extensão de malha viária pela área da Mesorregião.	Malha_via	km	SIEG Mapas
Demografia	Soma das médias da população de cada município da Mesorregião.	Pop_Med	Unidad e	SIDRA/IBGE
Agricultura e Pecuária	Soma das médias anuais de cabeças de gado para cada município.	Boi_Med	Unidad e	
	Soma das médias anuais da cultura temporária de cada município da Mesorregião.	Perm_cult	km²	
	Soma das médias anuais da cultura permanente de cada município da Mesorregião.	Tempr_Cult	km²	

A **Figura 6** apresenta a soma das médias das áreas queimadas nos municípios da Mesorregião Norte Goiano, do ano de 1985 a 2023. Assim, é possível observar as maiores áreas queimadas na porção leste, nos municípios de Cavalcante, Niquelândia, São João d'Aliação, Monte Alegre de Goiás e Campos Belos. Os municípios da porção oeste apresentam menores áreas de áreas queimadas para o período considerado.

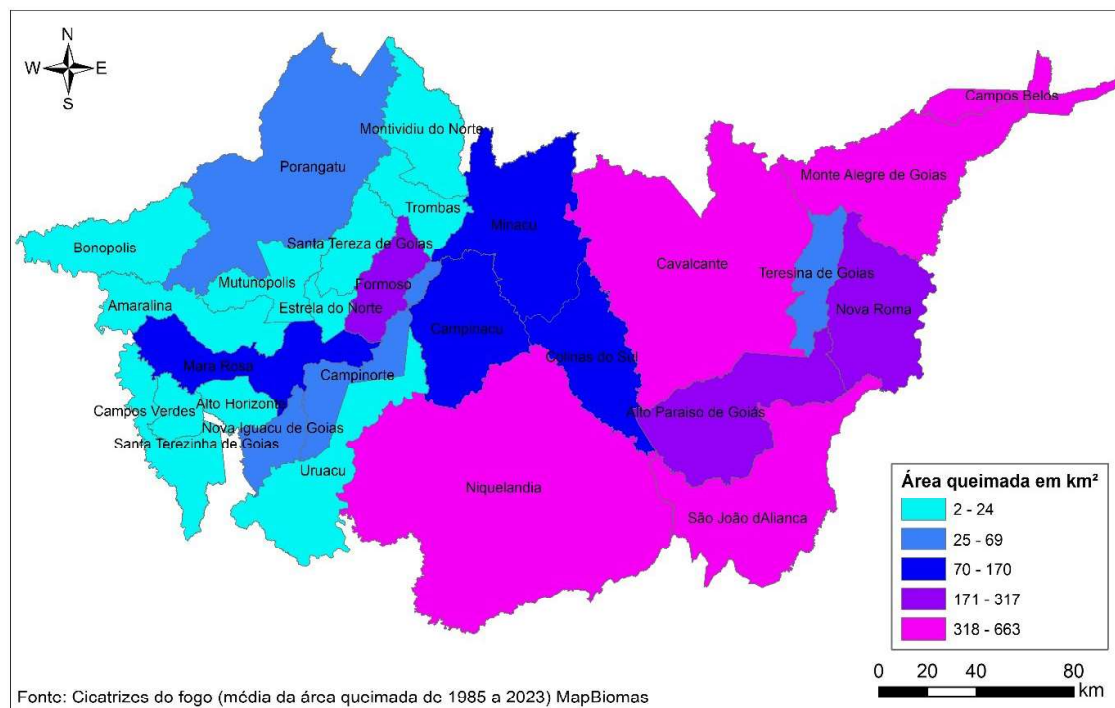


Figura 6. Distribuição espacial das áreas queimadas por município na Mesorregião Norte Goiano.

Os dados sobre a produção agrícola foram obtidos do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), do IBGE, por meio do *link* SIDRA/IBGE. Trata-se de um banco de dados estatísticos sobre Indicadores, População, Economia e Meio Ambiente. Para este estudo foram utilizados os dados referentes a População estimada, densidade da população, número de bovinos e áreas ocupadas por culturas permanentes e temporárias.

Foram utilizados ainda dados e informações do Sistema Estadual de Informações Geográficas do Estado de Goiás (SIEG), por meio do *link* Instituto Mauro Borges - IMB. Este sistema tem por objetivo otimizar e promover a integração das áreas de geoinformação dos órgãos estaduais, visando subsidiar e acompanhar o planejamento das ações governamentais e disponibilizar as informações para toda a sociedade.

Os dados de caracterização do uso e ocupação da terra foram obtidos do projeto MapBiomias (Alencar *et al.*, 2022). De modo geral, este projeto compõe-se de uma rede colaborativa, formada por ONGs, universidades e startups de tecnologia, que reúne esforços por meio de uma equipe multidisciplinar para mapear o uso e cobertura da terra a partir de

dados coletados desde 1985 (Souza Junior *et al.*, 2020). E, segundo o autor, o projeto teve início em julho de 2015, quando a rede de pesquisa implementou algoritmos de processamento de imagem em Google Earth Engine para pré-processar todas as imagens do *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT) e normalizá-las, treinar em um classificador aleatório conhecido como *Random Forest* e assim mapear as classes de uso e cobertura do solo de todos os biomas brasileiro.

Para os dados de clima foi utilizado o *Prediction of Worldwide Energy Resource* (POWER). Segundo a NASA (2020) o POWER é resultado de suas pesquisas nas áreas das Ciências da Terra, que procura principalmente observar, entender e modelar o sistema terrestre a fim de descobrir como as mudanças que ele vem sofrendo o afetam e, assim, poder prever as consequências que essas mudanças estão provocando na vida na Terra.

Os valores médios diários dos dados meteorológicos e solares são fornecidos em formato de série temporal e são baseados em satélites suficientemente precisos e confiáveis nos quais os parâmetros meteorológicos são derivados nos modelos de assimilação GMAO MERRA-2 da NASA e do GEOS 5.12.4 FP-IT, onde, os dados do GEOS 5.12.4 são processados pela equipe do Projeto POWER diariamente e anexados ao final a série temporal diária do MERRA-2.

A umidade relativa (UR) no POWER Archive é calculada a partir da pressão, da temperatura de bulbo seco, e da razão de mistura de umidade específica em Kg/Kg, por exemplo. O POWER Archive fornece os dados de umidade relativa sobre a água calculados de acordo com os valores informados pelo Serviço Nacional de Meteorologia.

3.2.3 Processamento dos dados e análises estatísticas

O processamento de todos os dados e informações foi realizado em ambientes de Sistema de Informação Geográfica (SIG), nomeadamente o QGIS e ArcGIS Pro, versão para estudantes. Por se tratar de variáveis quantitativas optou-se por empregar a Correlação Linear para entender como elas se comportam na explicação do fenômeno. A correlação é um conceito fundamental na estatística e na análise de dados, revela a forma como as variáveis se comportam juntas, pode ser positiva, negativa ou neutra, e é medida por meio do coeficiente de correlação (Rebouças, 2023).

De acordo com Rebouças (2023), o coeficiente de correlação de Pearson é o mais comum e é usado para medir a correlação entre duas variáveis que têm uma relação linear. Ele varia de -1 a 1, onde -1 indica uma correlação negativa perfeita, 0 indica nenhuma correlação e 1 indica uma correlação positiva perfeita (Rebouças, 2023).

Foi empregada a correlação de Pearson (Equação (1))

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (1)$$

onde:

r é o coeficiente de correlação de Pearson.

n é o número de pares de dados (amostras).

x e y são as variáveis que estamos comparando.

$\sum x$ é a soma dos valores da variável x .

$\sum y$ é a soma dos valores da variável y .

$\sum xy$ é a soma dos produtos dos valores x e y .

$\sum x^2$ é a soma dos quadrados dos valores x .

$\sum y^2$ é a soma dos quadrados dos valores y .

Para tanto foi utilizado o pacote *Corrplot* do *R*, *interface Studio*. Assim, o primeiro passo foi verificar se todas as variáveis são numéricas, em seguida refinou-se o *data_frame* retirando as variáveis “CD_MUN”, “NM_MUN”, “X”, “Y” e “ID”, aplicou-se a estatística descritiva e a correlação.

Analisada o grau de Correlação Linear, utilizou-se algoritmos de Aprendizagem de Máquina (Regressão Linear, *Random Forest*, *eXtreme Gradient Boosting* — *XGBoost*) para elaborar um modelo que melhor explique a análise realizada, ou seja, quais variáveis melhor explica a ocorrência de áreas queimadas. Para uma abordagem mais eficiente, utilizou-se *Recursive Feature Elimination (RFE)* no intuito de selecionar as variáveis que melhor ajustam o modelo. O RFE é uma técnica de seleção de variáveis usada no contexto de aprendizado de máquina para identificar as variáveis mais importantes para a construção de um modelo.

Para avaliação da performance dos modelos, em que se analisa a diferença entre os valores previstos por um modelo e os valores reais (observados) em problemas de regressão, foi utilizado *Root Mean Squared Error* (RMSE), ou Erro Quadrático Médio da Raiz, apresentado na Equação (2).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

onde:

n é o número de dados ou observações.

y_i é o valor real da variável dependente (o valor observado).

$\hat{y}_i$ é o valor previsto pelo modelo (o valor estimado).

$(y_i - \hat{y}_i)^2$ é o erro quadrático entre o valor real e o valor previsto.

Além disso, foi observado o *Mean Absolute Error* (MAE), Erro Médio Absoluto, que é uma métrica usada para medir a precisão de um modelo de regressão. Ele indica o quão próximas (ou distantes) estão as previsões do modelo em relação aos valores reais, sendo calculado pela média das diferenças absolutas entre os valores previstos e os observados e apresentado pela fórmula (BOTCHKAREV, 2018), Equação (2) e Equação (3).

$$MSE = \frac{1}{N_{td}} \sum_{t=1}^N (r_t - y_t)^2 \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{N_{td}} \sum_{t=1}^N |r_t - y_t| \quad (3)$$

sendo r_t o valor real observado, y_t a saída da rede e N_{td} o número total de dados utilizados na fase de teste.

Para análise de validação cruzada a fim de estimar e reduzir o viés dos estimadores empregados, foi utilizado o *Leave-One-Out Cross-Validation* (LOOCV). Segundo Silva, Matsuoka e Rofatto (2024), esse método foi proposto inicialmente por Quenouille (1949). Segundo Abdi e Williams (2010) apud Silva, Matsuoka e Rofatto (2024, p. 4469), “a principal motivação por trás da aplicação do método Jackknife é a redução do viés nas estimativas, a obtenção de uma predição imparcial (ou seja, um efeito aleatório) e a minimização de sobre ajustes”. Para garantir que cada variável tivesse a mesma contribuição os dados foram ajustados para ter média zero e desvio padrão unitário.

Para a predição das variáveis que explicam as áreas queimadas, foi empregada a Regressão Linear e testados dois algoritmos de *machine learning* baseados em árvores de decisão: o *Random Forest* (Breiman e Cutler, 2001) e o *XGBoost* (Chen e Guestrin, 2016). XGBoost é um método *ensemble* que combina múltiplos modelos simples para formar um preditor forte. Segundo Gioia (2024, p. 53), esses algoritmos “empregam abordagens resultando em múltiplas árvores de decisão, possibilitando uma modelagem mais robusta em comparação à construção de uma única árvore”.

Ainda segundo Gioia (2024), dois parâmetros fundamentais são definidos para a criação das árvores de decisão: o parâmetro 'ntree', que especifica o número de árvores a serem geradas, e o parâmetro 'mtry', que define a quantidade de variáveis a serem avaliadas em cada etapa da construção das árvores.

3.3 Resultados e discussões

O resultado da análise de correlação das variáveis observadas no estudo pode ser consultado na **Figura 7**. Essa análise oferece *insights* valiosos que ajudam a melhorar a qualidade e a interpretabilidade do modelo preditivo.

Desse modo, observa-se que as variáveis Florest_md (Formação Florestal), FSavanica (formação savânica), AltiMax (altitude máxima), Forte_Ond (relevo fortemente ondulado) e Montanhoso (relevo montanhoso) estão mais fortemente correlacionadas com a área queimada. Essas variáveis altamente correlacionadas podem contribuir para o multicolinearidade, que ocorre quando duas ou mais variáveis preditoras estão fortemente correlacionadas entre si. Por outro lado, as variáveis TempMax (temperatura máxima) e PRECI_SECO (precipitação no período seco) apresentam os menores valores de correlação.

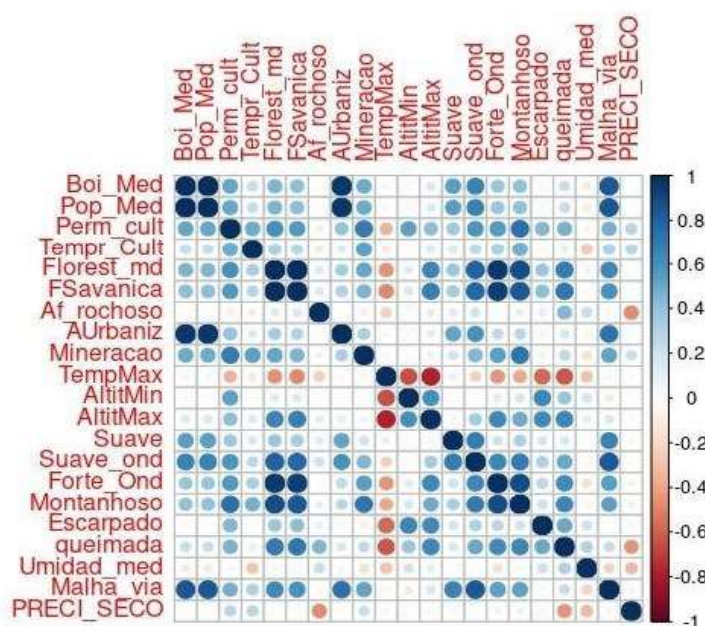


Figura 7. Correlação Linear entre as variáveis empregadas e área queimada.

A Regressão Linear foi validada usando validação cruzada LOOCV, como referido. Para garantir que cada variável tivesse a mesma contribuição os dados foram ajustados para ter média zero e desvio padrão unitário. O treinamento LOOCV resultou em 27 iterações, indicando um RMSE previsto de 428,997 e um R^2 onde 41% do modelo pode ser explicado pelas variáveis independentes.

O modelo *Random Forest* foi avaliado usando também a validação cruzada LOOCV e ajustado com diferentes valores para o parâmetro “mtry”. Por se tratar de um conjunto amostral pequeno, com 27 amostras e 20 variáveis independentes, não houve o ajuste de cada variável para ter média zero e desvio padrão unitário, o que, para este caso, resultou em 27 iterações. O menor RMSE foi obtido para o mtry igual a 20 (166,0039). O R^2 que melhor indica o ajuste do modelo aos dados, foi para o mtry 14, indicando também que 41% do modelo pode ser explicado pelas variáveis independentes.

A hierarquização da importância das variáveis preditivas, para o modelo *Random Forest* pode ser observada no gráfico da **Figura 8**. Assim, é possível observar que as variáveis TempMax (temperatura máxima), Montanhoso (relevo montanhoso), FSavanica (formação savânica) e Af_rochoso (afloramento rochoso) melhor explicam a ocorrência de áreas queimadas na Mesorregião Norte Goiano.

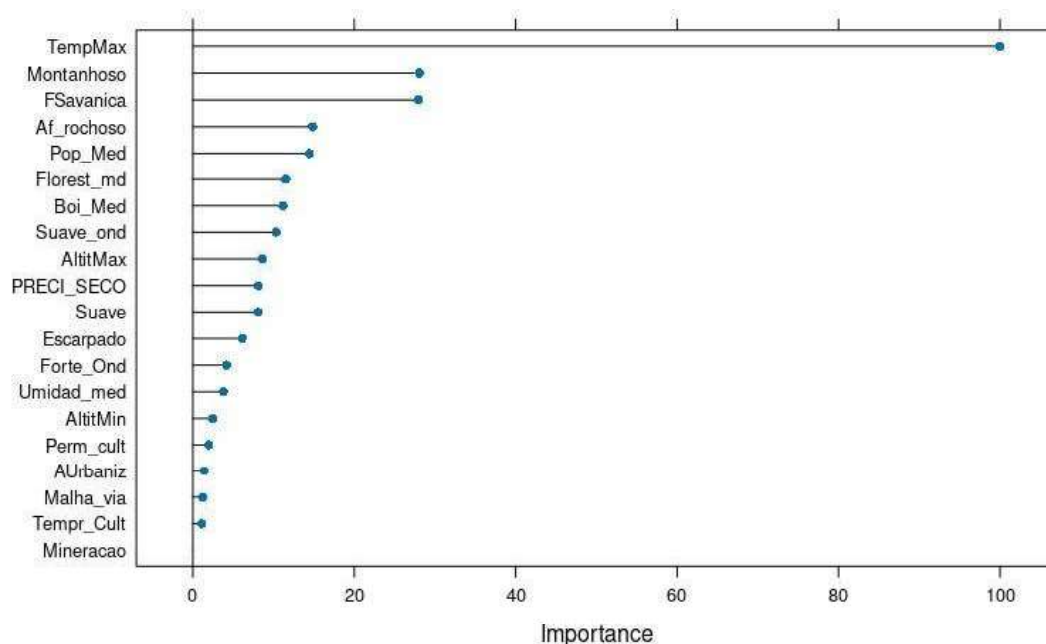


Figura 8. Importância das variáveis gerada pelo modelo *Random Forest*.

Fonte: Elaboração própria.

A hierarquização da importância das variáveis preditivas, para o modelo *XGBoost* pode ser observada no gráfico da **Figura 9**. Assim, é possível observar que as variáveis TempMax (temperatura máxima), Boi_Med (média do número de bois), Tempr_Cult (cultura temporária) e Suave (relevo suave ondulado) melhor explicam a ocorrência de áreas queimadas na Mesorregião Norte Goiano.

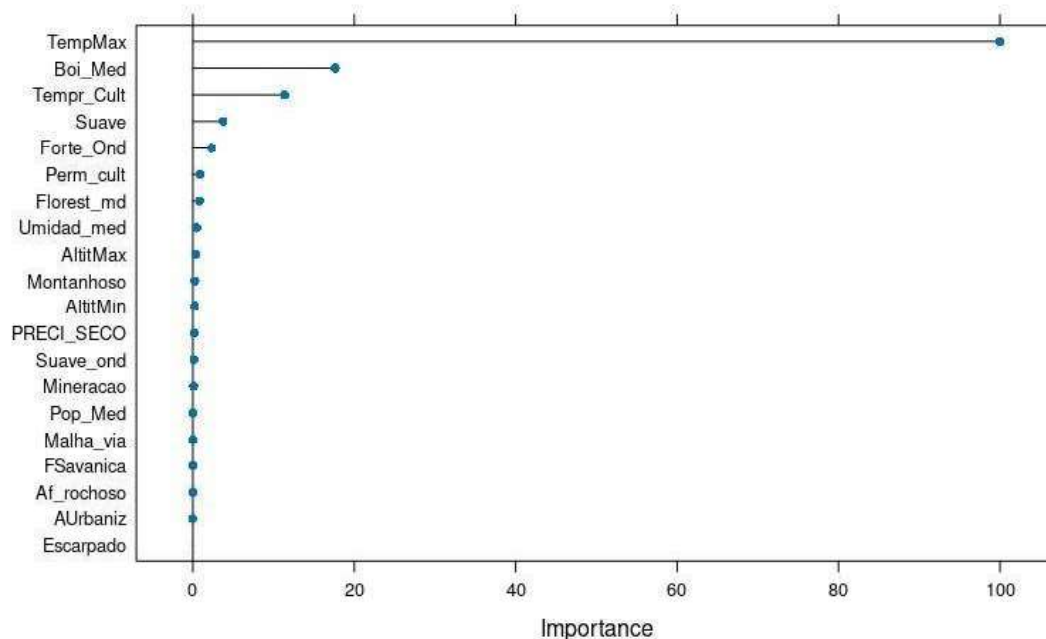


Figura 9. Importância das variáveis gerada pelo modelo *XGBoost*.

Fonte: Elaboração própria.

Assim, diante do que foi analisado, pode-se observar que o modelo com melhor desempenho para este estudo é o XGBoost (**Tabela 5**).

Tabela 5. Comparação do desempenho dos modelos aplicados.

Métrica	RMSE	R ²	MAE
Regressão Linear	428,9974	0,4112027	237,14020
Random Forest	166,0039	0,4146181	113,45760
XGBoost	161,0648	0,4573276	113,35970

Fonte: Elaboração própria.

O controle *Recursive Feature Selection* usou a reamostragem de validação cruzada várias vezes, onde o melhor desempenho, com menor RMSE (125,4) e melhor R² (0,7411) foi para o modelo com 3 variáveis (TempMax, montanhoso e FSavanica), ou seja, as variáveis independentes explicam 74% do modelo.

De modo geral, as temperaturas mais altas tendem a aumentar a secura da vegetação, o que a torna mais suscetível ao fogo. Para Armenteras-Pascual *et al.* (2011), as áreas de queimadas estão fortemente relacionadas aos fatores climáticos. Segundo a EMBRAPA (2021) o Cerrado apresenta características extremas em termos de características meteorológicas, inclusive maior média anual de temperatura. Esse cenário é mais preocupante, pois segundo Zorzetto (2021), o Cerrado é o bioma que mais queima no Brasil.

No contexto das mudanças climáticas, ainda segundo Zorzetto (2021), o aquecimento observado no Cerrado é bem superior ao incremento de 0,2° C por década indicado há poucos anos pelas projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para o hemisfério Sul. Isso se torna ainda mais relevante, pois os regimes de fogo estão mudando em todo o mundo por causa das mudanças globais (Duane *et al.*, 2015).

No que se refere ao relevo, a presença de rampas e encostas pode facilitar o movimento do fogo em direções específicas, dependendo da direção do vento e da vegetação. São escassos estudos que apontam para a influência do relevo no fogo no Cerrado. Contudo, há diversos estudos que se dedicam a estas análises em outras partes do mundo (Clements, 2011; Duane *et al.*, 2015; Duane *et al.*, 2016). O estudo de Duane *et al.* (2016) mostrou que a análise qualitativa dos incêndios revelou que os incêndios causados pelo vento descartados estavam presentes principalmente em relevos altamente complexos, onde o vento interagiu fortemente com o terreno local.

Sobre a Formação Savânica, é notável que esse tipo vegetacional apresenta abundância de matéria orgânica seca, como gramíneas secas, que facilita a propagação do fogo. Segundo Alves e Alvarado (2019), no Cerrado, as queimadas ocorreram principalmente sobre áreas de formação vegetal natural. Além disso, é preciso considerar as interações ecológicas, que são muito importantes quando se pensa o fogo em diferentes condições de formação vegetacional e relevo. Nesse sentido, para Rodrigues (2018), a combinação de variáveis favorece a compreensão da intensidade e extensão das áreas queimadas, que por sua vez necessita de um ambiente muito seco e com temperaturas elevadas. Inclusive, segundo Zorzetto (2021), há indícios de que o fogo de origem natural ocorra nas savanas do planeta há milhões de anos, inclusive muitas espécies de plantas do Cerrado são beneficiadas pelo fogo.

A identificação das variáveis é fundamental para gestão do fogo, uma vez que o clima associado ao relevo pode ser determinante na formação das vegetações. Oliveira *et al.* (2014) avaliaram a ocorrência de queimadas, considerando determinado período de tempo em relação aos fatores que permanecem estáveis por pelo menos uma temporada de incêndios, como a topografia.

3.4 Conclusões

As análises apresentadas nas fontes permitem tirar algumas conclusões importantes sobre os fatores que influenciam a ocorrência de áreas queimadas na Mesorregião Norte Goiano e sobre o desempenho de diferentes modelos de predição:

O modelo com melhor desempenho para este estudo é o *XGBoost* por meio da comparação RMSE, R² e MAE. O *XGBoost* apresentou o menor RMSE (161,0648) e o maior R² (0,4573276). As variáveis Florest_md (Formação Florestal), FSavanica (formação

savânica), AltiMax (altitude máxima), Forte_Ond (relevo fortemente ondulado) e Montanhoso (relevo montanhoso) estão mais fortemente correlacionadas com a área queimada. Essa forte correlação entre variáveis preditoras pode levar à multicolinearidade. Por outro lado, as variáveis TempMax (temperatura máxima) e PRECI_SECO (precipitação no período seco) apresentaram os menores valores de correlação.

A hierarquização da importância das variáveis preditivas varia entre os modelos. Para o modelo Random Forest, as variáveis que melhor explicam a ocorrência de áreas queimadas são TempMax (temperatura máxima), Montanhoso (relevo montanhoso), FSavanica (formação savânica) e Af_rochoso (afloramento rochoso).

Para o modelo *XGBoost*, as variáveis que melhor explicam a ocorrência de áreas queimadas são TempMax (temperatura máxima), Boi_Med (média do número de bois), Tempr_Cult (cultura temporária) e Suave (relevo suave ondulado). O controle de *Recursive Feature Selection* identificou que um modelo com apenas 3 variáveis (TempMax, montanhoso e FSavanica) apresentou o melhor desempenho, com o menor RMSE (125,4) e o melhor R^2 (0,7411), indicando que essas variáveis independentes explicam 74% do modelo.

Apesar disso, a combinação de variáveis, incluindo clima e relevo, favorece a compreensão da intensidade e extensão das áreas queimadas, sendo necessário um ambiente seco e com temperaturas elevadas. O clima associado ao relevo pode ser determinante na formação das vegetações, e fatores estáveis como a topografia são importantes ao se avaliar a ocorrência de queimadas.

Conclusões e Considerações Finais

A pesquisa sobre os motivadores da ocorrência de queimadas, baseada em uma revisão abrangente da literatura existente sobre o tema, permitiu diversas conclusões relevantes, refletindo tendências e avanços no estudo das queimadas. A partir de 2015, observou-se um aumento significativo no número de publicações sobre o tema, com o ano de 2023 marcando o maior pico de produções científicas. Esse crescimento pode ser interpretado como reflexo da crescente preocupação global com os incêndios, especialmente devido aos impactos ambientais e sociais que estes causam. Além disso, a linguagem predominante nos periódicos continua sendo o inglês, o que favorece a visibilidade internacional das publicações. Contudo, é importante ressaltar que, mesmo com essa tendência global, periódicos em português como a *Ciência Florestal* e a *Revista de Geografia Física* também figuram na lista de publicações significativas, destacando a importância dessas revistas no contexto da pesquisa nacional.

Dentre os pesquisadores mais influentes, destacam-se Carlos C. Dacamara, da Universidade de Lisboa, e Renata Libonati, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Ambos são reconhecidos por suas parcerias internacionais e contribuições no estudo do fogo, com ênfase no Cerrado brasileiro, um dos biomas mais impactados por queimadas. As métricas aplicadas às suas publicações apontam para sua relevância global e para o impacto significativo de seus trabalhos no campo da pesquisa sobre incêndios e seus efeitos ambientais.

Em relação aos artigos mais citados, o estudo que se destaca é a pesquisa sobre o monitoramento global de incêndios, utilizando os dados do sistema EOS-MODIS (Earth Observing System - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). A pesquisa de monitoramento global tem sido fundamental para o entendimento das dinâmicas de fogo em escala planetária, fornecendo dados cruciais sobre frequência, intensidade e distribuição espacial dos incêndios.

No que tange à perspectiva sistemática, várias conclusões podem ser extraídas com base na revisão da literatura. Os impactos do fogo nos recursos hídricos são particularmente preocupantes, uma vez que incêndios alteram os ciclos hidrológicos, provocando mudanças nos padrões de precipitação e na qualidade da água. Além disso, a detecção de áreas queimadas e o monitoramento da resiliência da vegetação têm sido foco constante das pesquisas. A vegetação, especialmente em áreas mais vulneráveis, como as savanas e florestas tropicais, precisa se adaptar a regimes de fogo frequentes, o que pode afetar sua capacidade de

regeneração e biodiversidade. Já os estudos sobre os regimes de fogo e padrões espaciais buscam entender como o fogo se propaga e se distribui no território, levando em conta tanto a topografia quanto as características do combustível disponível.

Além disso, um aspecto importante abordado na literatura diz respeito às emissões de gases provenientes dos incêndios, especialmente em regiões tropicais, como o Cerrado e a Amazônia. O fogo contribui significativamente para as emissões de CO₂ e outros gases de efeito estufa, intensificando as mudanças climáticas globais. As estratégias de manejo integrado do fogo têm ganhado destaque, com foco na gestão sustentável dos ecossistemas e no controle da propagação do fogo de maneira mais eficaz, visando minimizar os impactos ambientais.

Quanto aos produtos de sensoriamento remoto utilizados nas análises do fogo, os dados provenientes do satélite MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) continuam sendo os mais empregados, devido à sua alta resolução temporal e à capacidade de monitorar grandes áreas em tempo real. Esses dados são cruciais para o monitoramento da dinâmica do fogo, facilitando a detecção precoce de incêndios e a avaliação dos danos causados por eles.

A pesquisa também revelou uma predominância dos estudos sobre Unidades de Conservação (UCs) em relação ao estudo das queimadas. Essa ênfase está diretamente relacionada à frequente ocorrência de incêndios nessas áreas, que, embora sejam protegidas, continuam sendo pressionadas pela ação humana. As Unidades de Conservação, especialmente aquelas situadas em biomas como o Cerrado, são ecossistemas de grande importância ecológica, e a ocorrência de incêndios nessas regiões pode comprometer a biodiversidade e os serviços ambientais prestados por esses ecossistemas.

Por fim, ao se debruçar sobre os fatores que influenciam a propagação do fogo, a revisão conclui que variáveis como condições climáticas, carga de combustível, topografia e vento são fundamentais para entender como os incêndios se espalham e se intensificam. A combinação de temperaturas elevadas, a abundância de material combustível seco e os ventos fortes pode criar condições ideais para a rápida propagação do fogo, especialmente em áreas de vegetação seca ou de fácil combustão.

Uma das conclusões mais significativas da pesquisa é que a área queimada pode ser explicada por um modelo com três variáveis principais: temperatura máxima, relevo montanhoso e vegetação savânica. Este modelo, com 74% de explicação da variação na área queimada, sugere que esses três fatores desempenham um papel fundamental na ocorrência e na distribuição espacial das queimadas. A temperatura máxima influencia diretamente a suscetibilidade da vegetação ao fogo, enquanto o relevo montanhoso pode afetar a propagação do fogo, alterando o comportamento do vento e a distribuição do combustível. A vegetação savânica, por sua vez, apresenta características específicas que facilitam a propagação do fogo

devido à presença de material combustível seco e à espécie de vegetação predominante, o que torna essas áreas particularmente vulneráveis.

Essa análise amplia a compreensão dos fatores que motivam a ocorrência de queimadas, permitindo a implementação de estratégias de gestão do fogo mais eficazes, com foco na mitigação dos impactos ambientais e na preservação dos ecossistemas mais vulneráveis.

Referências

- ABAFE, Ejovi Akpojevwe; BAHTA, Yonas T.; JORDAAN, Henry. Exploring biblioshiny for historical assessment of global research on sustainable use of water in agriculture. *Sustainability*, v. 14, n. 17, p. 10651, 2022.
- ABREU, M. C. et al. Temporal and spatial patterns of fire activity in three biomes of Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 844, p. 157138, 2022.
- ALENCAR, Ane A. C. et al. Long-term Landsat-based monthly burned area dataset for the Brazilian biomes using deep learning. *Remote Sensing*, v. 14, n. 11, p. 2510, 2022.
- ALVARADO, Swanni T. et al. Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. *Ecological Indicators*, v. 78, p. 270-281, 2017.
- ALVARADO, S. T.; SILVA, T. S. F.; ARCHIBALD, S. Management impacts on fire occurrence: A comparison of fire regimes of African and South American tropical savannas in different protected areas. *Journal of Environmental Management*, v. 218, p. 79-87, 2018.
- ALVES, D. B.; ALVARADO, S. T. Variação espaço-temporal da ocorrência do fogo nos biomas brasileiros com base na análise de produtos de sensoriamento remoto. *Geografia*, v. 44, n. 2, p. 321-345, 2019.
- ALDERSLEY, A.; MURRAY, S. J.; CORNELL, S. E. Análise global e regional de fatores climáticos e humanos de incêndios florestais. *Science of the Total Environment*, v. 409, n. 18, p. 3472-3481, 2011.
- ANSELIN, Luc; SYABRI, Ibnu; KHO, Youngihn. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis*, v. 38, n. 1, p. 5-22, 2006.
- AQUINO, F. G.; PINTO, J. R. R.; RIBEIRO, J. F. Evolução histórica do conceito de savana e a sua relação com o Cerrado brasileiro. *ComCiência*, Campinas, n. 105, 2009.
- ARAÚJO, F. M.; FERREIRA, L. G.; ARANTES, A. E. Distribution patterns of burned areas in the Brazilian biomes: an analysis based on satellite data for the 2002-2010 period. *Remote Sensing*, v. 4, p. 1929–1946, 2012.
- ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.
- ARRUDA, V. L.; PIONTEKOWSKI, V. J.; ALENCAR, A.; PEREIRA, R. S.; MATRICARDI, E. A. An alternative approach for mapping burn scars using Landsat imagery, Google Earth Engine, and Deep Learning in the Brazilian Savanna. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 22, p. 100472, 2021.
- ARRUDA, Vera Laísa da Silva et al. Assessing four decades of fire behavior dynamics in the Cerrado biome (1985 to 2022). *Fire Ecology*, v. 20, n. 1, p. 1-20, 2024.
- ARMENTERAS-PASCUAL, D.; RETANA-ALUMBREROS, J.; MOLOWNY-HORAS, R.; ROMAN-CUESTA, R. M.; GONZALEZ-ALONSO, F.; MORALES-RIVAS, M. Characterising fire spatial pattern interactions with climate and vegetation in Colombia. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 151, p. 279–289, 2011.

BALL, R. An introduction to bibliometrics: new development and trends. Oxford: Chandos Publishing, 2017.

BERLINCK, C. N.; BATISTA, E. K. Good fire, bad fire: It depends on who burns. *Flora*, v. 268, p. 151610, 2020.

BISSON, M.; FORMACIAI, A.; COLI, A.; MAZZARINI, F.; PARESCHI, M. T. The vegetation resilience after fire (VRAF) index: development, implementation and an illustration from central Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 10, n. 3, p. 312-329, 2008.

BREIMAN, Leo; CUTLER, Adele. *Random Forest: Random forests for classification and regression*. 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324>. Acesso em: 15 mar. 2025.

Bond, W. J., Woodward, F. I., & Midgley, G. F.. The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist*, V. 165, n. 2, p. 525-538, 2005.

CABALLERO, C. B. et al. Transformation of Brazil's biomes: the dynamics and fate of agriculture and pasture expansion into native vegetation. *Science of The Total Environment*, v. 896, p. 166323, 2023.

CARDOZO, F.; SHIMABUKURO, Y. E.; PEREIRA, G.; SILVA, F. B. Using remote sensing products for environmental analysis in South America. *Remote Sensing*, v. 3, n. 10, p. 2110-2127, 2011.

CARDOSO, Anabelle W. et al. Grass species flammability, not biomass, drives changes in fire behavior at tropical forest-savanna transitions. *Frontiers in Forests and Global Change*, v. 1, p. 6, 2018.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; SILVA, C. R.; GOMES, R. A. T. Standardized time-series and interannual phenological deviation: new techniques for burned-area detection using long-term MODIS-NBR dataset. *Remote Sensing*, v. 7, n. 6, p. 6950-6985, 2015.

CASTRO, Flávia Canto de. *Cerrado: conhecimento científico e ações para conservação da biodiversidade*. 2023. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto de Biotecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

CLEMENTS, Craig B. Effects of complex terrain on extreme fire behavior. **Synthesis of Knowledge of Extreme Fire Behavior: Volume I for Fire Managers**, p. 5, 2011.

CHEN, Tianqi; GUESTRIN, Carlos. *XGBoost: a scalable tree boosting system*. In: KDD '16: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 13 ago. 2016. p. 785-794. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>. Acesso em: 15 mar. 2025.

CHUVIECO, E. et al. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, v. 225, p. 45-64, 2019.

COUTINHO, L. M.. *As Queimadas e seu Papel Ecológico*. *Revista Brasil Florestal*, X, 44, p. 7-23, 1980.

COUTINHO, L. M. Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. In: *Ecology of Tropical Savannas*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1982. p. 273-291.

COUTINHO, L. M.. *O Cerrado e a Ecologia do Fogo. Revista Ciência Hoje*, 12 (68), p. 22-30, 1990.

COUTINHO, Leopoldo Magno.. *O cerrado: ecologia do fogo. Ciência Hoje*, 12, 8, 1992.

CORREIA FILHO, W. L. F.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; SANTIAGO, D. B.; ABDO, H. G.; ALMOHAMAD, H.; DUGHAI, A. A.; SILVA JUNIOR, C. A. The assessment of climatic, environmental, and socioeconomic aspects of the Brazilian Cerrado. *Ecological Processes*, v. 12, n. 1, p. 19, 2023.

DACAMARA, C. C.; LIBONATI, R.; ERMIDA, S. L.; CALADO, T. J. A user-oriented simplification of the (V, W) burn-sensitive vegetation index system. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, v. 13, n. 12, p. 1822-1826, 2016.

DÍAZ-DELGADO, R.; DIAZ-DELGADO, R.; LLORET, F.; PONS, X.; TERRADAS, J. Satellite evidence of decreasing resilience in Mediterranean plant communities after recurrent wildfires. *Ecology*, v. 83, n. 8, p. 2293-2303, 2002.

DUANE, Andrea et al. Predictive modelling of fire occurrences from different fire spread patterns in Mediterranean landscapes. **International Journal of Wildland Fire**, v. 24, n. 3, p. 407-418, 2015.

DUANE, Andrea et al. Integrating fire spread patterns in fire modelling at landscape scale. **Environmental Modelling & Software**, v. 86, p. 219-231, 2016.

DUNCAN, B. W.; SHAO, G.; ADRIAN, F. W. Delineating a managed fire regime and exploring its relationship to the natural fire regime in East Central Florida, USA: A remote sensing and GIS approach. *Forest Ecology and Management*, v. 258, n. 2, p. 132-145, 2009.

ENRIGHT, N. J.; FONTAINE, J. B.; LAMONT, B. B.; MILLER, B. P.; WESTCOTT, V. C. Resistance and resilience to changing climate and fire regime depend on plant functional traits. *Journal of Ecology*, v. 102, n. 6, p. 1572-1581, 2014.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Bioma Caatinga, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/clima/precipitacao-e-evaporacao>. Acesso em 21 jan. 2025.

FARIA, L. I. L. Prospecção tecnológica em materiais: aumento da eficiência do tratamento bibliométrico: uma aplicação na análise de tratamento de superfícies resistentes ao desgaste. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

FIELDER, N. C.; AZEVEDO, I. N. C.; REZENDE, A. V.; MEDEIROS, M. B.; VENTUROILI, F. Efeito de incêndios florestais na estrutura e composição florística de área de cerrado sensu stricto na Fazenda Água Limpa-DF. *Revista Árvore*, v. 28, p. 129-138, 2004.

FLANNIGAN, M. D.; VONDER HAAR, T. H. Forest fire monitoring using NOAA satellite AVHRR. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 16, n. 5, p. 975-982, 1986.

FOTHERINGHAM, A. S.; BRUNSDON, C.; CHARLTON, M. Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships. Chichester: Wiley, 2002.

FRANKE, J. et al. Fuel load mapping in the Brazilian Cerrado in support of integrated fire management. *Remote Sensing of Environment*, 2018.

FRASER, R. H.; FERNANDES, R.; LATIFOVIC, R. Multi-temporal mapping of burned forest over Canada using satellite-based change metrics. *Geocarto International*, v. 18, n. 2, p. 37-47, 2003.

GALVÃO, R. P.; GAEDKE, P. S.; LOHMANN, M. Análise quali-quantitativa da dinâmica de queimadas do Parque Nacional de Ilha Grande no ano de 2019. *ACTA Geográfica*, Boa Vista, v. 16, n. 42, p. 39-55, 2022. DOI: 10.18227/2177-4307.acta.v16i42.6470.

GIGLIO, L.; LOBODA, T.; ROY, D. P.; QUAYLE, B.; JUSTICE, C. O. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. *Remote Sensing of Environment*, v. 113, n. 2, p. 408-420, 2009.

GIOIA, Thamy Barbara. *Padrões espaço-temporais e fatores associados às doenças negligenciadas no estado de Goiás*. 2024. 123 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2024.

GUIMARÃES, Pompeu et al. Análise dos impactos ambientais de um incêndio florestal. *Agrarian Academy*, v. 1, n. 01, 2014.

HAHN, H. et al. A study on the structure of scientific collaboration networks in. *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, v. 8, n. 5, p. 671-678, 2013.

HOFFMANN, William A. et al. Fuels or microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna–forest boundaries. *Austral Ecology*, v. 37, n. 6, p. 634-643, 2012.

HURVICH, Clifford M.; SIMONOFF, Jeffrey S.; TSAI, Chih-Ling. Smoothing parameter selection in nonparametric regression using an improved Akaike information criterion. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B, Statistical Methodology*, v. 60, n. 2, p. 271-293, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 05 out. 2022.

INPE. Banco de Dados de queimadas. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 04 fev. 2025.

JUNIOR, F. R. F.; SANTOS, A. M.; ALVARADO, S. T.; SILVA, C. F. A.; NUNES, F. G. Remote sensing applied to the study of fire in savannas: a literature review. *Ecological Informatics*, v. 79, p. 102448, 2024.

KAUFMAN, Y. J. et al. Potential global fire monitoring from EOS–MODIS. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 103, n. D24, p. 32215-32238, 1998.

KNOX, K. J. E.; CLARKE, P. J. Fire severity, feedback effects and resilience to alternative community states in forest assemblages. *Forest Ecology and Management*, v. 265, p. 47-54, 2012.

KUMAR, Dilip; SHANDILYA, Abhinav Kumar; SRIVASTAVA, Sandeep. The journey of F1000 Research since inception: through bibliometric analysis. *F1000Research*, v. 12, 2023.

LEITE, F. F.; GONÇALVES, A. B.; LOURENÇO, L.; ÚBEDA, X.; VIEIRA, A. Grandes incêndios florestais em Portugal Continental como resultado das perturbações nos regimes de fogo no mundo Mediterrâneo. 2013.

LEITE, U. B.; STEINBERGER, M. A nova região mineradora de Goiás: uma proposta de delimitação. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 35, n. 2, p. 305-320, 2015.

LI, Wenhui et al. Predictive model of spatial scale of forest fire driving factors: a case study of Yunnan Province, China. *Scientific Reports*, v. 12, n. 1, p. 19029, 2022.

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

MANRIQUEZ, Juan et al. Bibliometric characteristics of systematic reviews in dermatology: A cross-sectional study through Web of Science and Scopus. *Dermatologica Sinica*, v. 33, n. 3, p. 154-156, 2015.

MATAVELI, G. A. V. et al. Characterization and trends of fine particulate matter (PM_{2.5}) fire emissions in the Brazilian Cerrado during 2002-2017. *Remote Sensing*, v. 11, n. 22, p. 2659, 2019.

MATAVELI, G. A. V. et al. Relationship between biomass burning emissions and deforestation in Amazonia over the last two decades. *Forests*, v. 12, n. 9, p. 1217, 2021.

MATAVELI, G.; PEREIRA, G.; SANCHEZ, A.; DE OLIVEIRA, G.; JONES, M. W.; FREITAS, S. R.; ARAGÃO, L. E. O. C. Updated land use and land cover information improves biomass burning emission estimates. *Fire*, v. 6, p. 426, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fire6110426>. Acesso em: 29 jan 2025.

MANSO-JIMÉNEZ, Ricardo; CARRILLO-VITAL, Ernesto. Emisiones de dióxido de carbono equivalente, dioxinas y carbono negro en la región occidental de Cuba provocada por incendios forestales. *Revista Cubana de Meteorología*, v. 24, p. 405-411, 2018.

MARTINS, Guilherme; SANTA ROSA, Ananda; SETZER, Alberto; ROSA, Willian; MORELLI, Fabiano; BASSANELLI, Arielle. Dinâmica espaço-temporal das queimadas no Brasil no período de 2003 a 2018. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 4, p. 1558-1569, 2020.

MARTINS, S. F. S.; SANTOS, A. M. dos; SILVA, C. F. A. da; RUDKE, A. P.; ALVARADO, S. T.; SILVA MELO, J. L. da. The drivers of fire in the Caatinga Biome in Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 572, p. 122260, 2024.

MELO, P.; SPARACINO, J.; ARGIBAY, D.; SOUSA JÚNIOR, V.; BARROS, R.; ESPINDOLA, G. Assessing wildfire regimes in indigenous lands of the Brazilian savannah-like Cerrado. *Fire*, v. 4, n. 3, p. 34, 2021.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. The fire factor. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (ed.). *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. New York: Columbia University Press, 2002. p. 51-68. DOI: <https://doi.org/10.7312/oliv12042-003>.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N. Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (ed.). *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. Brasília: MMA, 2005. p. 93-105

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

MOHER, David et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *International Journal of Surgery*, v. 8, n. 5, p. 336-341, 2010.

MONJARÁS-VEGA, Norma Angélica et al. Predicting forest fire kernel density at multiple scales with geographically weighted regression in Mexico. *Science of the Total Environment*, v. 718, p. 137313, 2020.

MORAES, K. V.; HERMUCHE, P. Avaliação multitemporal do NDVI em áreas queimadas para o estudo da resiliência de fitofisionomias do cerrado no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – GO. *GEOgraphia*, v. 25, n. 55, 2023.

MORAL-MUÑOZ, J. A.; HERRERA-VIEDMA, E.; SANTISTEBAN-ESPEJO, A.; COBO, M. J. Software tools for conducting bibliometric analysis in science: an up-to-date review. *Profesional de la Información*, v. 29, n. 1, 2020.

NAGEL, G. W.; DE CARVALHO, L. A. S.; LIBONATI, R.; DA SILVA NEMIROVSKY, A. K.; DA CUNHA BUSTAMANTE, M. M. Fire impacts on water resources: A remote sensing methodological proposal for the Brazilian Cerrado. *Fire*, v. 6, n. 5, p. 214, 2023.

NASA. NASA Official: Paul Stackhouse, Jr., Ph.D. Versão: 1.0. Última modificação: 19 fev. 2020. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/>. Acesso em: 27 jan. 2024.

NASCENTE, J. C.; FERREIRA, M. E.; NUNES, G. M. Integrated fire management as a renewing agent of native vegetation and inhibitor of invasive plants in Vereda habitats: diagnosis by remotely piloted aircraft systems. *Remote Sensing*, v. 14, n. 4, p. 1040, 2022.

NUNES, A. N.; LOURENÇO, L.; MEIRA, A. C. C. Exploring spatial patterns and drivers of forest fires in Portugal (1980–2014). *Science of the Total Environment*, v. 573, p. 1190-1202, 2016.

O'DEA, R. E. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses in ecology and evolutionary biology: a PRISMA extension. *Biological Reviews*, v. 96, n. 5, p. 1695-1722, 2021.

OLIVEIRA, R. S.; BATISTA, J. A. N.; PROENÇA, C. E. B.; BIANCHETTI, L. Influência do fogo na floração de espécies de Orchidaceae em cerrado. In: *Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga*. 1996. p. 61-67.

OLIVEIRA, S., PEREIRA, J. M., SAN-MIGUEL-AYANZ, J., & LOURENÇO, L. Exploring the spatial patterns of fire density in Southern Europe using Geographically Weighted Regression. *Applied Geography*, v. 51, p. 143-157, 2014.

OLIVEIRA, Edivaldo Herculano Corrêa de. Redes de colaboração em pesquisa e intercâmbio de conhecimento científico. *Revista Pan-Amazônica de Saúde*, v. 9, n. 4, p. 7-9, 2018.

OLIVEIRA, U., SOARES-FILHO, B., DE SOUZA COSTA, W. L., GOMES, L., BUSTAMANTE, M., & MIRANDA, H. Modeling fuel loads dynamics and fire spread probability in the Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, v. 482, p. 118889, 2021.

OLIVEIRA, Ubirajara et al. Modeling fuel loads dynamics and fire spread probability in the Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, v. 482, p. 118889, 2021.

Oliveira, U.; Soares-Filho, B.; Rodrigues, H. et al. A near real-time web-system for predicting fire spread across the Cerrado biome. *Sci Rep*, v. 13, art. 4829, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30560-9>

PETTINARI, M. Lucrecia et al. Development and mapping of fuel characteristics and associated fire potentials for South America. *International Journal of Wildland Fire*, v. 23, n. 5, p. 643-654, 2013.

PLETSCH, M. A.; KÖRTING, T. S.; MORITA, F. C.; SILVA-JUNIOR, C. H.; ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. Near real-time fire detection and monitoring in the MATOPIBA region, Brazil. *Remote Sensing*, v. 14, n. 13, p. 3141, 2022.

PUGLIESI, L.; RAPINI, A.. Tropical refuges with exceptionally high phylogenetic diversity reveal contrasting phylogenetic structures. *International Journal of Biodiversity*, v. 2015, n. 1, p. 758019, 2015.

QUINTANO, C.; FERNÁNDEZ-MANSO, A.; STEIN, A.; BIJKER, W. Estimation of area burned by forest fires in Mediterranean countries: a remote sensing data mining perspective. *Forest Ecology and Management*, v. 262, n. 8, p. 1597-1607, 2011.

REBOUÇAS, Gleidson Mendes. *Trabalhando com medidas de associação: correlação e regressão linear simples*. 14 mar. 2023. Disponível em: <https://rpubs.com/gleidsonmr/1016194>. Acesso em: 15 mar. 2025.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. 1998.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (orgs.). *Cerrado: ecologia e flora*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p. 89-166.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília: Embrapa Cerrados/Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1, p. 151-212.

REIS, S. M. et al. Resistance to fire and the resilience of the woody vegetation of the “Cerradão” in the “Cerrado”–Amazon transition zone. *Brazilian Journal of Botany*, v. 40, p. 193-201, 2017.

RIZZINI, C. T. *Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos*. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda, 1997.

ROCHA, M. I. S.; NASCIMENTO, D. T. F. Ocorrência de queimadas em áreas legalmente protegidas do bioma Cerrado (1999/2018). *Ateliê Geográfico*, Goiânia, v. 16, n. 2, p. 122–145, 2022. DOI: 10.5216/ag.v16i2.70801. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/ateliê/article/view/70801>. Acesso em: 10 fev. 2025.

RODRIGUES SILVA, F. G.; SANTOS, A. R. D.; FIEDLER, N. C.; PAES, J. B.; ALEXANDRE, R. S.; GUERRA FILHO, P. A.; SILVA, R. G. D.; MOURA, M. M.; SILVA, E. F. D.; SILVA, S. F. D.; SILVA, S. G. D. O. S. R. Geotechnology applied to analysis of vegetation dynamics and occurrence of forest fires on indigenous lands in Cerrado-Amazonia ecotone. *Sustainability*, [s.l.], v. 14, n. 11, p. 6919, 2022.

RODRIGUES, Julia Abrantes. Como os produtos globais de área queimada representam os padrões de fogo no Cerrado? Uma avaliação de precisão das coleções MCD64A1. In: **PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ (M. Sc.)**. 2018. p. 93.

- SÁ, A. C. L. et al. The pyrogeography of sub-Saharan Africa: a study of the spatial non-stationarity of fire–environment relationships using GWR. *Journal of Geographical Systems*, v. 13, p. 227-248, 2011.
- SANTOS, Daniela Sara Alves et al. Wildfire recurrence at Quilombola Kalunga territory (GO). *Biodiversidade Brasileira*, v. 10, n. 1, p. 66-66, 2020.
- SATO, M. N.; MIRANDA, H. S.; MAIA, J. M.; MIRANDA, H. Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do Projeto Fogo. [S.l.: s.n.], 2010.
- SOLANS VILA, J. P.; BARBOSA, P. Post-fire vegetation regrowth detection in the Deiva Marina region (Liguria-Italy) using Landsat TM and ETM+ data. *Ecological Modelling*, v. 221, n. 1, p. 75-84, 2010.
- SANTANNA, F. B.; ALMEIDA FILHO, E. O.; VOURLITIS, G. L.; ARRUDA, P. H. Z.; PALÁCIOS, R. S.; NOGUEIRA, J. S. Elemental composition of PM10 and PM2.5 for a savanna (Cerrado) region of southern Amazonia. *Química Nova*, v. 39, p. 1170-1176, 2016.
- SANTANA, N. C.; DE CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F. Effects of long-term fire exclusion in the MODIS NDVI time series in the Águas Emendadas Ecological Station, Brazil. In: *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IEEE, p. 1653-1656, 2019.
- SANTANA, N. C.; JÚNIOR, O. A. D. C.; GOMES, R. A. T.; FONTES GUIMARÃES, R. Comparison of post-fire patterns in Brazilian savanna and tropical forest from remote sensing time series. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 9, n. 11, p. 659, 2020.
- SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. *Floresta*, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 93-100, 2006.
- SANTOS, M. B.; FARIA, K. M. S. Vulnerabilidades ambientais do bioma Cerrado: estudo da região Norte Goiano-Goiás. *Acta Geográfica*, v. 14, n. 34, p. 242-258, 2020.
- SANTOS, Alex Mota et al. Deforestation drivers in the Brazilian Amazon: Assessing new spatial predictors. *Journal of Environmental Management*, v. 294, p. 113020, 2021.
- SARRA, Sheila Regina; MÜLFARTH, Roberta Consentino Kronka. Impactos das queimadas da região Centro-Oeste do Brasil sobre as cidades do estado de São Paulo. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 5, p. 51237-51257, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n5-493
- SIDONE, O. J. G.; HADDAD, E. A.; MENA-CHALCO, J. P. A ciência nas regiões brasileiras: evolução da produção e das redes de colaboração científica. *Transinformação*, v. 28, p. 15-32, 2016.
- SILVA, F. A. M. da; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização climática do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (org.). *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília, DF: Embrapa, 2008. v. 1, p. 69-88.
- SILVA, P. S. et al. Drivers of burned area patterns in cerrado: the case of Matopiba region. In: *2020 IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS)*. IEEE, 2020. p. 542-547.
- SILVA, P. S. et al. Putting fire on the map of Brazilian savanna ecoregions. *Journal of Environmental Management*, v. 296, p. 113098, 2021.

SILVA, C. F. A. et al. Spatial modelling of deforestation-related factors in the Brazilian semi-arid biome. *International Journal of Environmental Studies*, v. 80, n. 4, p. 1021-1040, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2099109>.

SILVA, Wilker; MATSUOKA, Marcelo Tomio; ROFATTO, Vinicius Francisco. Reamostragem em Redes Neurais: Uma Abordagem Alternativa aos Métodos Tradicionais de Interpolação Espacial para Modelagem de Superfícies. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 06, p. 4467-4486, 2024.

SHIMABUKURO, Y. E. et al. Estimating burned area in Mato Grosso, Brazil, using an object-based classification method on a systematic sample of medium resolution satellite images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, v. 8, n. 9, p. 4502-4508, 2015.

SOUZA JÚNIOR, Carlos M. et al. Reconstruindo três décadas de mudanças no uso e cobertura da terra nos biomas brasileiros com ArquivoLandsat e Motor Terrestre. *Sensoriamento Remoto*, v. 17, p. 2735, 2020.

SCHMIDT, I. B.; FONSECA, R. C. B.; FERREIRA, M. C.; SATO, M. N. Implementação do programa piloto de manejo integrado do fogo em três unidades de conservação do Cerrado. *Biodiversidade Brasileira*, v. 6, n. 2, p. 55-70, 2016.

SCHUMACHER, V.; SETZER, A.; SABA, M. M.; NACCARATO, K. P.; MATTOS, E.; JUSTINO, F. Characteristics of lightning-caused wildfires in central Brazil in relation to cloud-ground and dry lightning. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 312, p. 108723, 2022.

THOMAZ, Petronio Generoso; ASSAD, Renato Samy; MOREIRA, Luiz Felipe P. Uso do fator de impacto e do índice H para avaliar pesquisadores e publicações. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 96, p. 90-93, 2011.

TRIGUEIRO, Werikson Rodrigues; NABOUT, João Carlos; TESSAROLO, Geiziane. Uncovering the spatial variability of recent deforestation drivers in the Brazilian Cerrado. *Journal of Environmental Management*, v. 275, p. 111243, 2020.

VILA, J. P. S.; BARBOSA, P. Post-fire vegetation regrowth detection in the Deiva Marina region (Liguria-Italy) using Landsat TM and ETM+ data. *Ecological Modelling*, v. 221, n. 1, p. 75-84, 2010.

VORMITTAG, E. da M. P. A. de A. et al. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 35, n. 102, p. 7-30, maio 2021.

ZORZETTO, Ricardo. Cerrado ameaçado. **Pesquisa Fapesp**, v. 309, p. 52-57, 2021.

WALTER, B. M. T.; CARVALHO, A. M.; RIBEIRO, J. F. O conceito de savana e de seu componente Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). *Cerrado: ecologia e flora*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p. 19-45.

WALTER, B. M. T., & RIBEIRO, J. F. . Diversidade fitofisionômica e o papel do fogo no bioma Cerrado. In: Miranda (Ed.), *Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Projeto Fogo* (pp. 59-76), 2010.

WANG, W.; CAO, C.; BLONSKI, S. Estimating the VIIRS thermal emissive band response versus scan (RVS) and calibration offsets using on-orbit pitch maneuver data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 60, p. 1-10, 2022.

Apêndice A – Script Bibliometrix

```
install.packages("devtools")

devtools::install_github("massimoaria/pubmedR")

install.packages("pubmedR")

install.packages("rio")

devtools::install_github("massimoaria/bibliometrix")

install.packages("bibliometrix", dependencies = TRUE)

install.packages("jsonlite", type = "source")

library(pubmedR)

library(bibliometrix)

A<-convert2df("C:/JAQUELINE/Wos.bib", dbsource = 'isi', format = "bibtex")

B<-convert2df("C:/JAQUELINE/Sco.bib", dbsource = 'scopus', format = "bibtex")

M<-mergeDbSources(A,B, remove.duplicated = TRUE)

rio::export(M,file = "C:/JAQUELINE/M.xlsx")

biblioshiny()
```

Anexo 1 – itens checklist PRISMA

Seção/tópico	N. Item do checklist	Relatado na página nº
TÍTULO		
Título	1	Identifique o artigo como uma revisão sistemática, meta-análise, ou ambos.
RESUMO		
Resumo estruturado	2	Apresente um resumo estruturado incluindo, se aplicável: referencial teórico; objetivos; fonte de dados; critérios de elegibilidade; participantes e intervenções; avaliação do estudo e síntese dos métodos; resultados; limitações; conclusões e implicações dos achados principais; número de registro da revisão sistemática.
INTRODUÇÃO		
Racional	3	Descreva a justificativa da revisão no contexto do que já é conhecido.
Objetivos	4	Apresente uma afirmação explícita sobre as questões abordadas com referência a participantes, intervenções, comparações, resultados e delineamento dos estudos (PICOS).
MÉTODOS		
Protocolo e registro	5	Indique se existe um protocolo de revisão, se e onde pode ser acessado (ex. endereço eletrônico), e, se disponível, forneça informações sobre o registro da revisão, incluindo o número de registro.
Crítérios de elegibilidade	6	Especifique características do estudo (ex.: PICOS, extensão do seguimento) e características dos relatos (ex. anos considerados, idioma, a situação da publicação) usadas como critérios de elegibilidade, apresentando justificativa.
Fontes de informação	7	Descreva todas as fontes de informação na busca (ex.: base de dados com datas de cobertura, contato com autores para identificação de estudos adicionais) e data da última busca.
Busca	8	Apresente a estratégia completa de busca eletrônica para pelo menos uma base de dados, incluindo os limites utilizados, de forma que possa ser repetida.
Seleção dos estudos	9	Apresente o processo de seleção dos estudos (isto é, rastreados, elegíveis, incluídos na revisão sistemática, e, se aplicável, incluídos na meta-análise).
Processo de coleta de dados	10	Descreva o método de extração de dados dos artigos (ex.: formulários piloto, de forma independente, em duplicata) e todos os processos para obtenção e confirmação de dados dos pesquisadores.
Lista dos dados	11	Liste e defina todas as variáveis obtidas dos dados (ex.: PICOS, fontes de financiamento) e quaisquer suposições ou simplificações realizadas.
Risco de viés em cada estudo	12	Descreva os métodos usados para avaliar o risco de viés em cada estudo (incluindo a especificação se foi feito no nível dos estudos ou dos resultados), e como esta informação foi usada na análise de dados.
Medidas de sumarização	13	Defina as principais medidas de sumarização dos resultados (ex.: risco relativo, diferença média).
Síntese dos resultados	14	Descreva os métodos de análise dos dados e combinação de resultados dos estudos, se realizados, incluindo medidas de consistência (por exemplo, I ²) para cada meta-análise.
Risco de viés entre estudos	15	Especifique qualquer avaliação do risco de viés que possa influenciar a evidência cumulativa (ex.: viés de publicação, relato seletivo nos estudos).
Análises adicionais	16	Descreva métodos de análise adicional (ex.: análise de sensibilidade ou análise de subgrupos, metarregressão), se realizados, indicando quais foram pré-especificados.
RESULTADOS		
Seleção de estudos	17	Apresente números dos estudos rastreados, avaliados para elegibilidade e incluídos na revisão, razões para exclusão em cada estágio, preferencialmente por meio de gráfico de fluxo.
Características dos estudos	18	Para cada estudo, apresente características para extração dos dados (ex.: tamanho do estudo, PICOS, período de acompanhamento) e apresente as citações.
Risco de viés em cada estudo	19	Apresente dados sobre o risco de viés em cada estudo e, se disponível, alguma avaliação em resultados (ver item 12).
Resultados de estudos individuais	20	Para todos os desfechos considerados (benefícios ou riscos), apresente para cada estudo: (a) sumário simples de dados para cada grupo de intervenção e (b) efeitos estimados e intervalos de confiança, preferencialmente por meio de gráficos de floresta.
Síntese dos resultados	21	Apresente resultados para cada meta-análise feita, incluindo intervalos de confiança e medidas de consistência.
Risco de viés entre estudos	22	Apresente resultados da avaliação de risco de viés entre os estudos (ver item 15).
Análises adicionais	23	Apresente resultados de análises adicionais, se realizadas (ex.: análise de sensibilidade ou subgrupos, metarregressão [ver item 16]).
DISCUSSÃO		
Sumário da evidência	24	Sumarize os resultados principais, incluindo a força de evidência para cada resultado; considere sua relevância para grupos-chave (ex.: profissionais da saúde, usuários e formuladores de políticas).
Limitações	25	Discuta limitações no nível dos estudos e dos desfechos (ex.: risco de viés) e no nível da revisão (ex.: obtenção incompleta de pesquisas identificadas, viés de relato).
Conclusões	26	Apresente a interpretação geral dos resultados no contexto de outras evidências e implicações para futuras pesquisas.
FINANCIAMENTO		
Financiamento	27	Descreva fontes de financiamento para a revisão sistemática e outros suportes (ex.: suprimento de dados); papel dos financiadores na revisão sistemática.