



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

HORTÊNCIA CRISTINA DA SILVA

**MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS QUEIMADAS NAS
MESORREGIÕES DO SERTÃO E SÃO FRANCISCO PERNAMBUCANO
(2010–2022) POR MEIO DE IMAGENS MODIS E DADOS MAPBIOMAS**

Recife
2025

HORTÊNCIA CRISTINA DA SILVA

**MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS QUEIMADAS NAS
MESORREGIÕES DO SERTÃO E SÃO FRANCISCO PERNAMBUCANO
(2010–2022) POR MEIO DE IMAGENS MODIS E DADOS MAPBIOMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Cristina
Rodrigues Nascimento

Recife
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

S586m Silva, Hortência Cristina da.
Mapeamento e caracterização das áreas queimadas nas mesorregiões do sertão e São Francisco Pernambucano (2010–2022) por meio de imagens MODIS e dados MapBiomas / Hortência Cristina da Silva. – Recife, 2025.
45 f.; il.

Orientador(a): Cristina Rodrigues Nascimento.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental, Recife, BR-PE, 2026.

Inclui referências.

1. Queimada. 2. Sensoriamento remoto. 3. Calor. 4. Mineração de dados (Computação) 5. Vegetação. I. Nascimento, Cristina Rodrigues, orient. II. Título

CDD 628

HORTÊNCIA CRISTINA DA SILVA

**MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS QUEIMADAS NAS
MESORREGIÕES DO SERTÃO E SÃO FRANCISCO PERNAMBUCANO
(2010–2022) POR MEIO DE IMAGENS MODIS E DADOS MAPBIOMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Aprovado em: 17/12/2025

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Cristina Rodrigues Nascimento (Orientadora)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Fabrício Marcos Pliveira Lopes (Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Me. Agnes Camila Nascimento da Fonseca (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedico este trabalho aos meus pais, por todo amor, apoio, dedicação e esforço, e à minha irmã, que sempre esteve ao meu lado. Sem vocês, eu não teria chegado até aqui, pois só Deus sabe tudo que já enfrentamos, perdemos e ganhamos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por toda graça em minha vida e pela sabedoria e serenidade que me permitiram chegar até aqui. A minha mãe, Luciene Maria da Silva, que sempre se esforçou além das forças, lutou e batalhou para que eu e minha irmã pudesse alcançar nossos sonhos; obrigada por ser nosso porto seguro. Ao meu pai, Josenildo da Silva, por todo incentivo e pelo apoio incondicional em todos os momentos desta jornada. A minha irmã, Cristina Maria, que sempre esteve ao meu lado, e me compreendeu em todas as situações. Ao meu namorado, Wemerson Bezerra, por sempre me apoiar, por ser o primeiro a me incentivar e por acreditar em mim, mesmo quando eu mesma duvidava.

Agradeço à minha orientadora Profa. Dra. Cristina Rodrigues Nascimento por despertar em mim o interesse e o entusiasmo pela área de Meteorologia e Sensoriamento Remoto, além de todo ensinamento, apoio e paciência nas pesquisas de iniciação científica e no trabalho de conclusão.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, por cada ensinamento transmitido, em especial ao Prof. Dr. Emanuel Di Tarso dos Santos Sousa, cuja dedicação ao ensino, expressa por meio de suas aulas, me inspira a querer seguir a carreira docente.

Agradeço a dois amigos muito mais que queridos. À Beatriz Regina por ter sido um dos melhores presentes que a graduação me proporcionou, obrigado por todo carinho, cuidado e por estar sempre ao meu lado; e, acima de tudo, por ser uma pessoa incrível, linda em todos os sentidos deste universo. E ao Erick Herculano, por ser um caminhão carregado de alegria, um porto de puro carinho e por sempre levar a felicidade por onde anda. Vocês foram essenciais na minha trajetória, nos momentos difíceis, vocês ficaram; nos momentos leves, vocês multiplicaram. Obrigada por serem pessoas raras que tornam tudo mais bonito.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, por ter sido minha casa, meu lugar de aprendizado e o ambiente onde vivi algumas das experiências mais marcantes da minha formação.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha trajetória, deixo minha sincera gratidão.

E, finalmente, agradeço ao CNPq, pelo financiamento e incentivo a pesquisa.

RESUMO

As mesorregiões do Sertão e do São Francisco Pernambucano têm como bioma predominante a Caatinga e apresentam clima semiárido, caracterizado por altas temperaturas, baixa umidade e regime pluviométrico irregular. Essas regiões vêm sofrendo pressões significativas decorrentes de ações antrópicas, como o desmatamento e a ocorrência recorrente de queimadas. O objetivo deste estudo foi mapear, caracterizar e quantificar a incidência de focos de calor, bem como analisar o uso e a cobertura do solo nessas mesorregiões. Adicionalmente, buscou-se avaliar a capacidade de recuperação ou regeneração natural da vegetação após eventos de queima, utilizando imagens de satélite, quantificação das áreas afetadas e a frequência das ocorrências de fogo. Para isso, foram utilizadas imagens do sensor MODIS, a bordo da plataforma orbital Terra, a fim de identificar as áreas atingidas, analisar o NDVI e desenvolver um código na plataforma *Google Earth Engine* (GEE) para detectar, de forma operacional, áreas com potencial de regeneração vegetal. As imagens do MapBiomas foram utilizadas para classificar o uso e a cobertura do solo nos dias de queima, além de avaliar a extensão e a frequência dos eventos de fogo. Os resultados indicam um aumento progressivo no número de focos de calor entre o período de 2010 e 2022, especialmente nos meses de agosto a novembro, com pico registrado em outubro de 2021 (662 focos). A maior área queimada ocorreu em 2022, totalizando 14.484,93 hectares. Os eventos de fogo concentraram-se majoritariamente em áreas de Formação Savânica (59,26%) e Pastagem (15,34%), que também apresentaram as maiores extensões de queima, com 46.156,20 ha e 8.347,82 ha, respectivamente. Assim, as informações obtidas por sensoriamento remoto demonstraram elevada relevância para a detecção de focos de calor, o monitoramento da regeneração da vegetação e a quantificação das áreas impactadas pelo fogo.

Palavras-chave: NDVI, sensoriamento remoto, focos de calor, mineração de dados.

ABSTRACT

The mesoregions of the Sertão and São Francisco in Pernambuco have Caatinga as the predominant biome and feature a semi-arid climate, characterized by high temperatures, low humidity, and irregular rainfall patterns. These regions have been experiencing significant pressure from human activities, such as deforestation and recurrent fires. The aim of this study was to map, characterize, and quantify the incidence of fire hotspots, as well as to analyze land use and land cover in these mesoregions. Additionally, the study sought to assess the capacity for natural vegetation recovery or regeneration after fire events using satellite imagery, quantification of affected areas, and the frequency of fire occurrences. For this purpose, images from the MODIS sensor onboard the Terra satellite were used to identify affected areas, analyze NDVI, and develop a script on the Google Earth Engine (GEE) platform to operationally detect areas with potential for vegetation regeneration. MapBiomas images were used to classify land use and land cover on the days of burning, as well as to assess the extent and frequency of fire events. The results indicate a progressive increase in the number of hotspots between 2010 and 2022, especially from August to November, with a peak recorded in October 2021 (662 hotspots). The largest burned area occurred in 2022, totaling 14,484.93 hectares. Fire events were mostly concentrated in Savanna Formation areas (59.26%) and Pasture (15.34%), which also showed the largest burned areas, with 46,156.20 ha and 8,347.82 ha, respectively. Thus, the information obtained through remote sensing proved highly relevant for detecting hotspots, monitoring vegetation regeneration, and quantifying fire-affected areas.

Keywords: NDVI, remote sensing, hotspots, data mining.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo	17
Gráfico 1 – Distribuição temporal da precipitação média mensal da série temporal de 2001 a 2021	23
Gráfico 2 – Quantidade de focos de calor em relação aos meses de agosto a novembro nos anos de 2010 a 2022	27
Figura 2 – Imagem MOD14A1 do município de Floresta	28
Gráfico 3 – Quantidade de áreas regeneradas e/ou recuperadas	29
Figura 3 – Distribuição espacial da área queimada de 2010 a 2022	30
Gráfico 4 – Área queimada em hectares nos meses de agosto a novembro dos anos de 2010 a 2022	32
Gráfico 5 – Área queimada em hectares para cada uso e cobertura do solo	33
Figura 4 – Árvore de decisão	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Normal climatológica dos valores de precipitação dos municípios analisados	24
Tabela 2 – Categorização dos municípios segundo a técnica de <i>Quantis</i> da série temporal de 2010 a 2021	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDQ	Banco de Dados de Queimadas
GEE	Google Earth Engine
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MRT	Modis Reprojection Tool
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
QGIS	Quantum Gis
REPTree	Reduced Error Pruning Tree
SR	Sensoriamento Remoto
USGS	United States Geological Survey
WEKA	Waikato Environment For Knowledge Analysis

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2. OBJETIVOS	16
2.1. Geral	16
2.2. Específicos	16
3. METODOLOGIA	17
3.1. Área de estudo	17
3.2. Dados Climáticos	17
3.3. Técnica de Quantis	18
3.4. Base de Dados	19
3.5. Processamento das Imagens de Satélite	19
3.5.1. <i>Imagens MODIS</i>	19
3.5.2. <i>Dados MapBiomas</i>	21
3.5.3. <i>Waikato Environment For Knowledge Analysis (WEKA)</i>	21
3.5.4. <i>Google Earth Engine (GEE)</i>	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
4.1. Análise Climatológica	22
4.2. Focos de Calor	26
4.3. Recuperação e/ou Regeneração Vegetal	29
4.4. Área Queimada	30
4.5. Área Queimada para Uso e Cobertura do Solo	33
4.6. Árvore de Decisão	34
5. CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os incêndios, especialmente quando descontrolados, representam uma séria ameaça ao meio ambiente, podendo provocar diversos impactos ambientais como a destruição de ecossistemas inteiros, afetando a fauna e a flora, além de contribuir para a poluição do ar, representando um perigo significativo para as populações locais e causar consideráveis perdas econômicas, destruindo edificações e plantações (COCHRANE, 2009; PIVELLO, 2011; PISANI e SOUZA, 2023). A ocorrência desses eventos está frequentemente associada a fatores climáticos adversos, bem como a práticas inadequadas de uso do solo, o que reforça a necessidade de abordagens integradas voltadas à prevenção e ao controle do fogo. Nesse contexto, condições ambientais como baixa pluviosidade, altas temperaturas (acima de 30°C), baixa umidade (abaixo de 30%) e ventos superiores a 15km/h, favorecem a rápida propagação das chamas, ampliando a gravidade dos incêndios (SILVA, 2020; ALMEIDA *et al.*, 2022, CEMADEN, 2025).

Quanto à origem, os episódios de fogo podem ser antrópicos — resultantes de ações acidentais ou intencionais do ser humano — ou naturais, desencadeados por descargas elétricas atmosféricas ou outras condições ambientais extremas (ROCHA e NASCIMENTO, 2021; ROST *et al.*, 2021; SIQUEIRA e CARVALHO, 2022).

Os prejuízos causados pelo fogo são, muitas vezes, incalculáveis, afetando a capacidade de regeneração e a estabilidade da paisagem, especialmente em regiões marcadas por clima seco e irregularidade pluviométrica. Nesse cenário, as mesorregiões do Sertão e do São Francisco Pernambucano, que apresentam essas características e têm a Caatinga como bioma predominante, configuram áreas de elevada suscetibilidade à ocorrência de queimadas (GOUVEIA *et al.*, 2021).

O monitoramento das queimadas é crucial para evitar desastres decorrentes dessa prática, promovendo o desenvolvimento de técnicas e atividades de prevenção (WALDER e ALVES, 2021). De acordo com SALES *et al.* (2019) e FRUEHAUF *et al.* (2022), a caracterização e o monitoramento dos eventos de queimadas por meio do sensoriamento remoto (SR) se mostra um importante instrumento no controle e combate ao fogo. Neste sentido, aplicação do SR possibilita estudar o comportamento de alvos na superfície terrestre por meio da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos mesmos (MACHADO NETO *et*

al., 2023). As informações obtidas por meio do SR possibilitam a identificação da dinâmica espacial e temporal, permitindo a caracterização das ocorrências de focos de calor, a mensuração das áreas e da biomassa afetadas pelo fogo, assim como o dimensionamento das áreas recuperadas e/ou regeneradas após a queima, fornecendo importantes contribuições para estudos sobre essa temática (ZHOU *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2020; ROCHA *et al.*, 2020; SENA *et al.*, 2022). Tais análises são viáveis pela utilização de um dos produtos mais populares do sensoriamento remoto, as imagens de satélites (TEIXEIRA *et al.*, 2021; GOUVEIA *et al.*, 2022).

Com o objetivo de aprimorar a caracterização das queimadas, é possível integrar diferentes fontes de informação às imagens de satélite. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibiliza, por meio do Banco de Dados de Queimadas (BDQ), dados vetoriais de pontos geográficos que apresentam temperatura média da superfície terrestre de 47°C e área mínima de 900m², denominados focos de calor (SOUZA NETO *et al.*, 2021; INPE, 2025; OLIVEIRA e ANUNCIAÇÃO, 2022). Esses focos de calor são detectados a partir de satélites de órbita polar e geoestacionários, gerando, respectivamente, duas imagens por hora e quatro imagens a cada hora, o que resulta em mais de 200 imagens processadas diariamente para identificar os locais de queima da vegetação (SANTOS e SANTANNA, 2020; DUARTE, 2022).

Estudos que utilizam imagens de satélite para mapear incêndios geralmente se apoiam em duas abordagens principais: Detecção de focos de calor, ou seja, a variação de energia emitida durante a combustão e a identificação das cicatrizes deixadas pelas queimadas por meio da diferenciação da resposta espectral da vegetação e do solo (SACRAMENTO *et al.*, 2020; SILVA JÚNIOR & PACHÊCO, 2021). Para delimitar as áreas queimadas, a técnica mais empregada combina índices espectrais com a comparação de imagens de satélite capturadas em dois momentos: pré e pós-fogo, permitindo evidenciar alterações na cobertura vegetal e no solo (LOTUFO *et al.*, 2020). Índices de vegetação, obtidos pela razão entre bandas espectrais, destacam as variações na densidade da cobertura vegetal. Áreas densamente vegetadas apresentam baixa refletância no visível e alta refletância no infravermelho próximo, enquanto regiões afetadas pelo fogo apresentam aumento da refletância no visível e redução no infravermelho, devido à perda de biomassa e

alterações na estrutura da vegetação (SILVA e ANDRADES-FILHO, 2022; MEDEIROS *et al.*, 2022).

Os índices de vegetação são diversos, porém, um dos mais difundidos para a temática é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), proposto por ROUSE *et al.* (1974) que utiliza as bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. O NDVI é obtido a partir das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, considerando que a vegetação apresenta baixa refletância no vermelho e alta refletância no infravermelho próximo (MABUNDA *et al.*, 2021; GHORBANIAN *et al.*, 2022; KUMAR *et al.*, 2022). Seus valores variam entre -1 e 1, onde valores próximos de 1 indicam elevado vigor vegetativo; valores próximos de 0 representam vegetação em senescência e valores tendendo a -1 correspondem, em geral, a corpos d'água (GERVÁSIO, 2021; JARDIM, 2021; PASSOS, 2021; LI *et al.*, 2022; SHARMA *et al.*, 2022). O NDVI é amplamente empregado para caracterizar padrões espaço-temporais da vegetação, permitindo distinguir áreas em pleno desenvolvimento daquelas em processo de degradação ou envelhecimento (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2021; XIAO *et al.*, 2022).

Diversas plataformas orbitais podem ser utilizadas no monitoramento de queimadas; entretanto, o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), a bordo dos satélites Terra e Aqua, destaca-se por disponibilizar uma ampla variedade de produtos capazes de fornecer informações essenciais para o monitoramento de áreas queimadas (BENFICA *et al.*, 2021; CHAVES *et al.*, 2021). Além de abranger dados da superfície terrestre, o MODIS também gera produtos voltados aos oceanos e à atmosfera, o que amplia significativamente seu potencial de aplicação em estudos ambientais. O sensor apresenta elevada sensibilidade radiométrica (12 bits) e espectral (36 bandas), operando na faixa de 0,4 a 14,4 μ m do espectro eletromagnético. Essas características permitem a aquisição de imagens com resoluções espaciais de 250m, 500m e 1.000m, além de proporcionar um tempo de revisita entre 1 e 2 dias (HERRMANN *et al.*, 2022; NASA, 2025).

O *Google Earth Engine* (GEE) é uma plataforma que permite acessar imagens de satélite e produtos derivados do seu processamento, possibilitando análises espaciais e temporais por meio da implementação de códigos em linguagem própria (ERMIDA *et al.*, 2020; CAVALCANTE *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2022). A ferramenta é operada por meio de uma Interface de Programação de Aplicativos (API) e de um Ambiente de Desenvolvimento Interativo (IDE), que

oferecem ao usuário a possibilidade de desenvolver seus próprios códigos. Devido à sua versatilidade e capacidade de processar grandes volumes de dados geoespaciais, o GEE tem sido amplamente utilizado em estudos de geociências, incluindo aplicações voltadas à detecção e ao mapeamento de áreas queimadas (TEIXEIRA, 2020; CARVALHO *et al.*, 2021; CORREIA, 2021; PIRALILOU *et al.*, 2022).

O software *Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA)*, foi desenvolvido pela Universidade de Waikato, Nova Zelândia. Voltado para mineração de dados e aprendizado de máquina. O WEKA constitui um conjunto de algoritmos de aprendizado de máquina voltados para tarefas de mineração de dados, oferecendo ferramentas adequadas para a modelagem e identificação de padrões em grandes volumes de dados (WEKA, 2025). É utilizado pela sua versatilidade e catálogo de algoritmos em aplicações de SR e meio ambiente para extrair padrões e realizar classificação e predição sobre esses dados (GAFUROV, 2024).

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomias), desenvolvido por meio da colaboração entre diversas instituições, tem como objetivo produzir séries temporais anuais de mapas de uso e cobertura do solo (CRUZ & CRUZ, 2021; MAPBIOMIAS, 2025a; MOLENA *et al.*, 2021). O MapBiomias disponibiliza mapas anuais em formato matricial (30 × 30m) para todo o Brasil. Essa base organiza os diferentes tipos de cobertura e uso por meio de códigos numéricos (ID), permitindo a identificação padronizada das classes presentes em cada ponto analisado (MAPBIOMIAS, 2025b; MAPBIOMIAS, 2025c). Esses produtos possibilitam análises mais abrangentes e detalhadas do território, sendo amplamente empregados na identificação de áreas de plantio e em investigações que utilizam dados de SR (COSTA *et al.*, 2018; SOUZA JR. *et al.*, 2020).

O MapBiomias Fogo, lançado em 2020, visa mapear cicatrizes de incêndios no Brasil desde 1985 até 2024. O projeto disponibiliza dados anuais e mensais referentes à extensão das áreas queimadas, à frequência de recorrência das cicatrizes e à classificação dessas áreas segundo os diferentes tipos de uso e cobertura da terra (MAPBIOMIAS, 2025d).

Dessa forma, conforme o que foi exposto, surge o interesse de estudar a dinâmica espaço-temporal dos focos de calor nas mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano, onde predomina o bioma Caatinga. O estudo desses eventos permite compreender não apenas a distribuição e a extensão das

queimadas, mas também avaliar a capacidade de recuperação e regeneração da vegetação após os impactos do fogo.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Objetivou-se mapear, caracterizar e quantificar a incidência de focos de calor nas mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano, no recorte temporal de 2010 a 2022, por meio da utilização de dados orbitais provenientes do sensor MODIS, dados do MapBiomas Fogo e quantificação da extensão total da área atingida pelo fogo.

2.2. Específicos

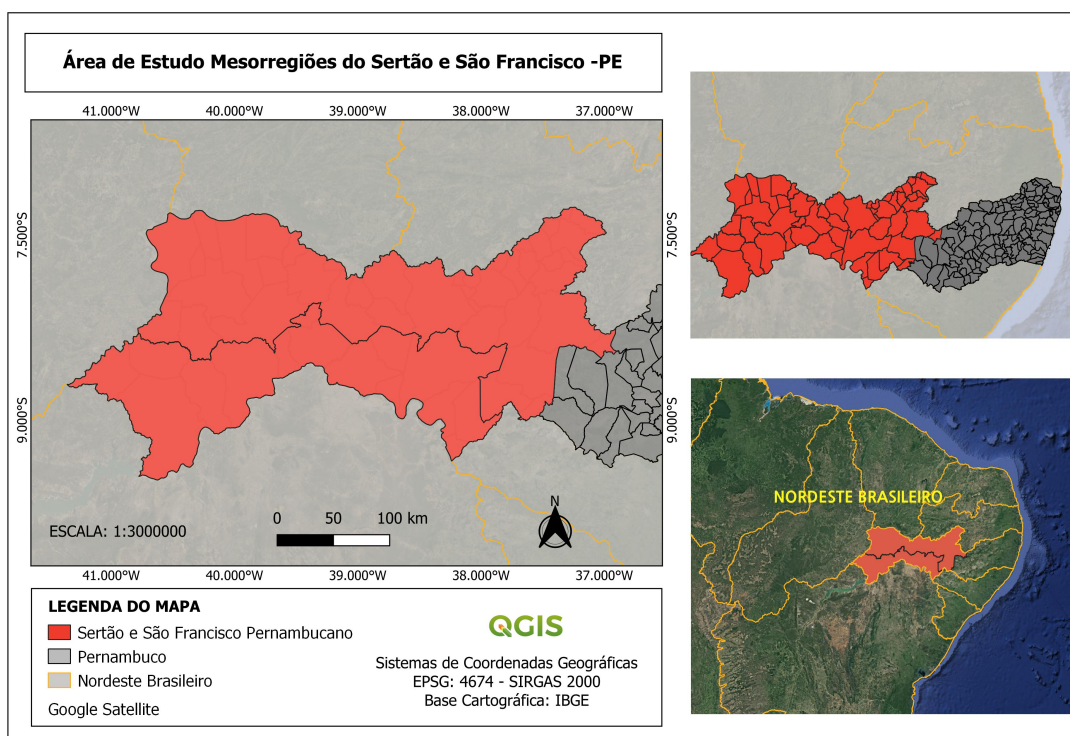
- ✓ Classificar por meio de técnica de *Quantis* a distribuição da precipitação na série temporal de 2010 a 2021 em anos secos, normais e chuvosos;
- ✓ Quantificar os focos de calor na série temporal de 2010 a 2022;
- ✓ Quantificar as áreas afetadas pelo fogo e uso cobertura do solo;
- ✓ Reclassificação do uso e cobertura do solo das áreas mais afetadas pela queima;
- ✓ Avaliar a capacidade de recuperação e/ou regeneração natural da vegetação por meio do índice NDVI associado a precipitação local;
- ✓ Identificar mediante algoritmo de mineração de dados os padrões de ocorrência de queimadas;
- ✓ Caracterizar áreas com possibilidade de regeneração e/ou recuperação vegetal com base em código desenvolvido no GEE.

3. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo

O estudo foi realizado nas mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano (Figura 1). Essas regiões abrangem 41 e 15 municípios, com áreas de 37.871 km² e 24.483 km², respectivamente, correspondendo a aproximadamente 64% da área total do estado de Pernambuco (IBGE, 2025). A vegetação predominante é a caatinga, com seus arbustos e galhos retorcidos. O clima em ambas as mesorregiões é caracterizado como sendo de semiárido, com baixa umidade e pluviosidade, com precipitação média anual inferior a 700 mm (CERQUEIRA *et al.*, 2020, GOUVEIA E NASCIMENTO, 2022).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autora, 2025

3.2. Dados Climáticos

Em virtude da inexistência de dados de trinta anos consecutivos provenientes de estações meteorológicas nos períodos mais atuais de modo a abranger significativamente as mesorregiões de estudo, a análise climática foi baseada em uma série mensal de vinte e um anos de dados (2001–2021), onde foram utilizadas

as normais climatológicas do total de precipitação anual, dos municípios: Ouricuri, Salgueiro, Serra Talhada, Custódia, Arcoverde, Petrolina, Santa Maria da Boa Vista, Cabrobó, Floresta e Tacaratu; a partir dos dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2024) e Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO) (2024a).

3.3. Técnica de Quantis

A série de precipitação total anual foi analisada por meio da técnica dos Quantis, seguindo a metodologia de Monteiro *et al.* (2012). Os quantis constituem estatísticas amplamente utilizadas em meteorologia, climatologia e hidrologia, especialmente por permitirem a discretização ou categorização de dados em classes com probabilidades (ou frequências) equidistribuídas.

Considerando X como a chuva total anual de uma localidade ao longo de uma série contínua de anos, esta variável é tratada como aleatória e contínua. O quantil Q_p , para um valor p entre 0 e 1, é definido como o valor de precipitação que satisfaz a condição $\text{Prob}(X \leq Q_p) = p$. Assim, para cada valor observado X_0 , o número p_0 tal que $F(X_0) = p_0$ é denominado ordem quantílica associada a X_0 .

Uma forma simples de interpretar o quantil Q_p é: espera-se que, em $p\%$ dos anos, a precipitação anual não ultrapasse o valor Q_p , enquanto nos demais $(100 - p)\%$ dos anos esse valor tende a ser excedido. No caso dos quantis de ordem $p = 0,25; 0,50$ e $0,75$, obtêm-se os quartis $Q_{0,25}$ (inferior), $Q_{0,50}$ (mediana) e $Q_{0,75}$ (superior).

Neste estudo, utilizaram-se os quantis de ordem 0,33 e 0,66 para estabelecer três categorias de classificação anual: SECO (S), NORMAL (N) e CHUVOSO (C). Para uma série de precipitação (X_1, X_2, \dots, X_n) referente a um período específico, os anos foram categorizados da seguinte maneira:

- SECO: $X_i \leq Q_{0,33}$;
- NORMAL: $Q_{0,33} < X_i < Q_{0,66}$;
- CHUVOSO: $X_i \geq Q_{0,66}$.

Após essa etapa, foram utilizados os dados anuais de precipitação do período de 2010 a 2021, considerando os municípios selecionados, para enquadrar cada ano em uma das três classes definidas pelos quantis. Em seguida, com os valores de NDVI, foram obtidos os dados de precipitação correspondentes às datas das

imagens de satélite, permitindo estabelecer relações entre a precipitação local e o comportamento do índice na regeneração ou recuperação da vegetação.

Todos os dados pluviométricos utilizados nas análises foram obtidos do INMET (2024) e do AGRITEMPO (2024a).

3.4. Base de Dados

Os arquivos vetoriais das mesorregiões do Sertão e São Francisco pernambucano foram obtidos no portal de mapas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na página da web: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/todos-os-produtos-geociencias.html>. Os dados de focos calor de 2010 a 2022, foram obtidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) na página da web: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/#mapa>, os arquivos foram baixados em formato *shapefile*(*shp) e no site da USGS foram obtidas imagens de satélites MODIS/Terra. Além disso, os dados de uso e cobertura do solo, extensão de área queimada e de frequência de queima foram obtidos no portal MapBiomass.

3.5. Processamento das Imagens de Satélite

3.5.1. Imagens MODIS

As imagens MODIS, foram adquiridas gratuitamente na plataforma *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov>), gerida pelo *United States Geological Survey* (USGS), referentes aos anos de 2010 a 2022, considerando a nebulosidade menor que 10% em cada cena. Foram utilizados quatro produtos do sensor MODIS, presente na plataforma orbital TERRA. Todo o processamento foi realizado no software ENVI 5.3, utilizando imagens dos tiles h13v09 e h14v09. As etapas incluíram a conversão dos arquivos no formato *HDF-EOS para *GeoTIFF por meio da ferramenta *Modis Reprojection Tool* (MRT) e a geração dos mosaicos necessários para a análise da área de estudo. A seguir, o método e descrição dos produtos utilizados:

- I. Produto MOD14A1: Este produto identifica a ocorrência (diurna e noturna) e a localização espacial de anomalias termais (focos de fogo), com resolução espacial de 1 km e resolução temporal diária. Ele classifica os pixels em três categorias: Fogo, Sem Fogo e Sem Observação. No presente estudo, foi

utilizado para monitorar a distribuição espacial dos eventos de queimada que coincidiram com os focos de calor disponibilizados pelo INPE.

- II. Produto MOD09GQ: Após a identificação dos pixels com ocorrência de queima, conforme o critério definido no item anterior, foram analisadas as imagens de refletância de superfície das bandas 1 e 2 do MOD09GQ, correspondentes às regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. A conversão para refletância foi realizada aplicando-se o fator de escala 0,0001 aos valores dos pixels. Essa etapa permitiu avaliar o comportamento da vegetação no momento da queima, utilizando o índice de vegetação NDVI (Equação 1). O produto possui resolução espacial de 250m e resolução temporal diária.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

ρ_{NIR} = Refletância da banda do infravermelho próximo;

ρ_{RED} = Refletância da banda do vermelho.

- III. Produto MOD13Q1: Para avaliar o comportamento da vegetação antes e após a queima, foram utilizadas imagens composição de 16 dias do NDVI. A área atingida pelo fogo foi analisada em duas etapas: (1) 16 dias antes da ocorrência da queima e (2) uma sequência de três composições MOD13Q1, totalizando 48 dias após o evento. O objetivo foi acompanhar a capacidade de recuperação e/ou regeneração da vegetação. Paralelamente, também se avaliou a precipitação, dado que o bioma Caatinga responde rapidamente às chuvas, o que pode modificar os valores de NDVI. O produto apresenta resolução espacial de 250m e resolução temporal de 16 dias.

- IV. Produto MOD09Q1: Após a análise do comportamento da vegetação nos períodos pré, durante e pós-queima, e a aplicação de técnicas de mineração de dados por meio de árvores de decisão, foram utilizadas imagens MOD09Q1 de refletância de superfície das bandas 1 e 2 (vermelho e infravermelho próximo). Essas imagens foram empregadas no *GEE* para a implementação do algoritmo destinado à identificação de áreas com potencial de regeneração e/ou

recuperação vegetal, a partir do NDVI (Equação 1). A conversão para refletância também utilizou o fator de escala 0,0001. O produto possui resolução espacial de 250m e resolução temporal de 8 dias.

3.5.2. Dados MapBiomias

O mapeamento de uso e cobertura do solo é essencial para identificar as atividades antrópicas e compreender como o território vem sendo utilizado. A partir das áreas atingidas pelas queimadas, procedeu-se à classificação do uso do solo utilizando a Coleção 9 do MapBiomias.

Com o objetivo de determinar a extensão das áreas queimadas e a recorrência dos eventos de fogo, também foi utilizada a Coleção 4 do MapBiomias Fogo. Essa coleção disponibiliza informações anuais e mensais sobre a área queimada, a frequência das cicatrizes e sua relação com as classes de uso e cobertura do solo, possibilitando quantificar o impacto do fogo e identificar padrões de repetição ao longo do período analisado (MAPBIOMAS, 2025d).

O software utilizado foi o QGIS versão Firenze 3.28, primeiro foi necessário inserir o contorno das mesorregiões, por meio de arquivos *shapefile*, onde foram feitos os recortes para depois realizar o cálculo da área dos polígonos gerados. Por fim foi feita a reclassificação para o uso e cobertura e para os meses de agosto, setembro, outubro e novembro.

3.5.3. Waikato Environment For Knowledge Analysis (WEKA)

A técnica de árvores de decisão foi aplicada com o objetivo de identificar padrões nos pixels correspondentes às áreas queimadas, incorporando também as informações de NDVI obtidas nos diferentes intervalos temporais, bem como os dados climáticos de precipitação. Para a construção da árvore, utilizou-se o algoritmo *Reduced Error Pruning Tree* (REPTree), que possui a vantagem de não exigir suposições quanto à distribuição dos valores das variáveis ou quanto à independência entre elas — característica especialmente relevante quando se trabalha com dados provenientes de imagens de satélite (ARAKI, 2005).

3.5.4. Google Earth Engine (GEE)

Após a aplicação da técnica de mineração de dados com o algoritmo REPTree e a geração das árvores de decisão a partir dos dados apresentados no

Item 3.5.3., a plataforma GEE foi utilizada para implementar um código fundamentado nas regras obtidas pelas árvores.

Neste contexto, em síntese, o estudo foi separado em três etapas: Na primeira etapa foram utilizadas imagens do sensor MODIS/Terra produtos MOD14A1, MOD09GQ, MOD13Q1) para identificação espacial das áreas queimadas e análise do comportamento da vegetação, por meio do índice de vegetação NDVI, concomitantemente a aplicação das imagens do Mapbiomas para a classificação do uso e cobertura do solo nas áreas afetadas. Essa análise foi realizada baseada na resposta climática da área de estudo, em relação a identificação do período mais seco, sendo este suscetível a incidência de queimadas. A identificação das áreas queimadas foi realizada em função dos focos de calor disponibilizados pelo INPE.

A partir desta análise foi possível, na segunda etapa, avaliar a vegetação em três diferentes períodos dos eventos de queimadas (pré, durante e pós) em virtude do seu vigor vegetativo. Isso observando a amplitude da oscilação desses índices dentro de cada cicatriz de queima e assim estabelecer um padrão e/ou tendência a partir da aplicação de técnicas de mineração de dados.

Na terceira etapa foi feito o estudo da área, a partir de imagens do Mapbiomas Fogo, realizando a quantificação da área total atingida mensalmente na série de 2010 a 2022.

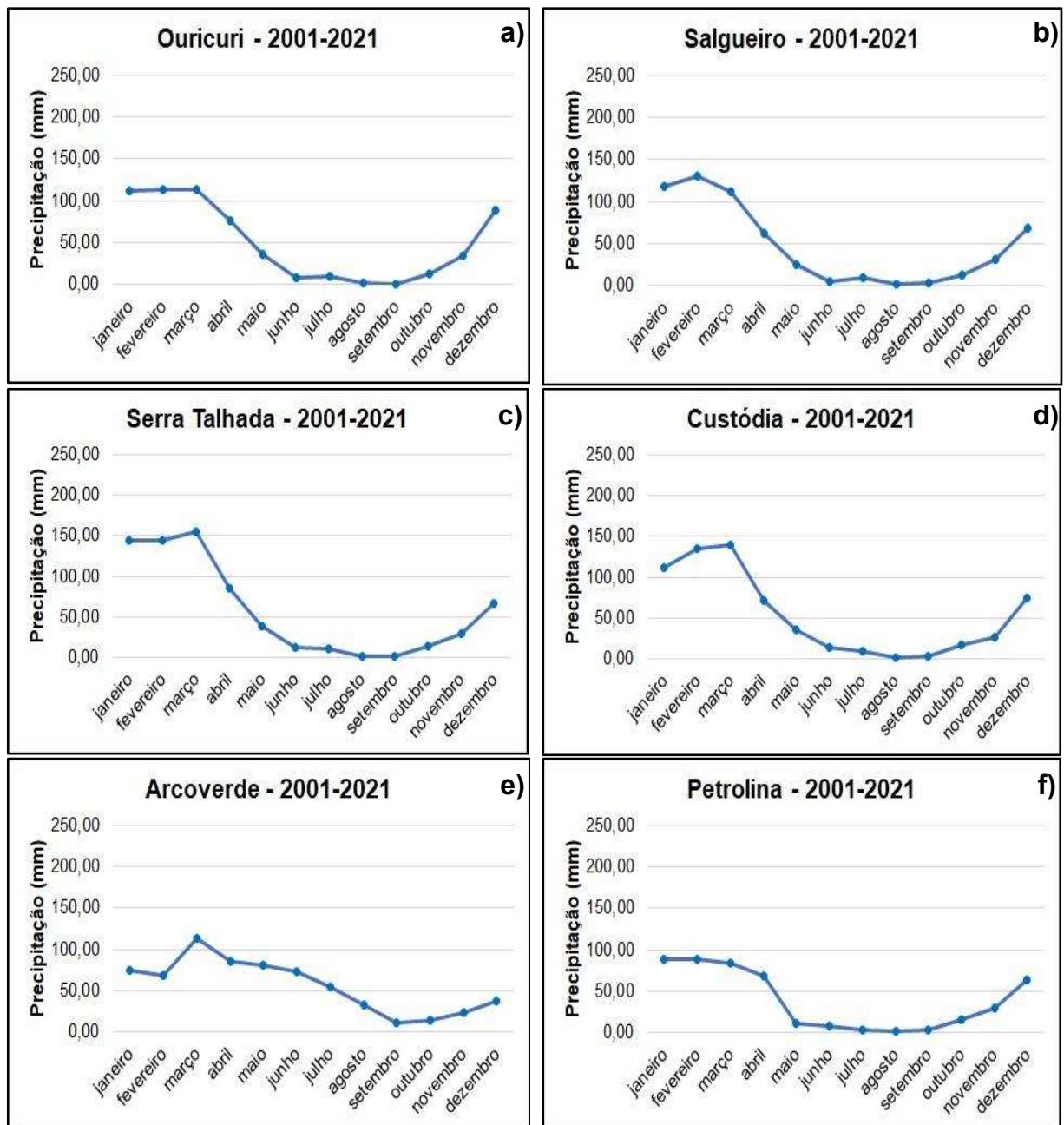
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

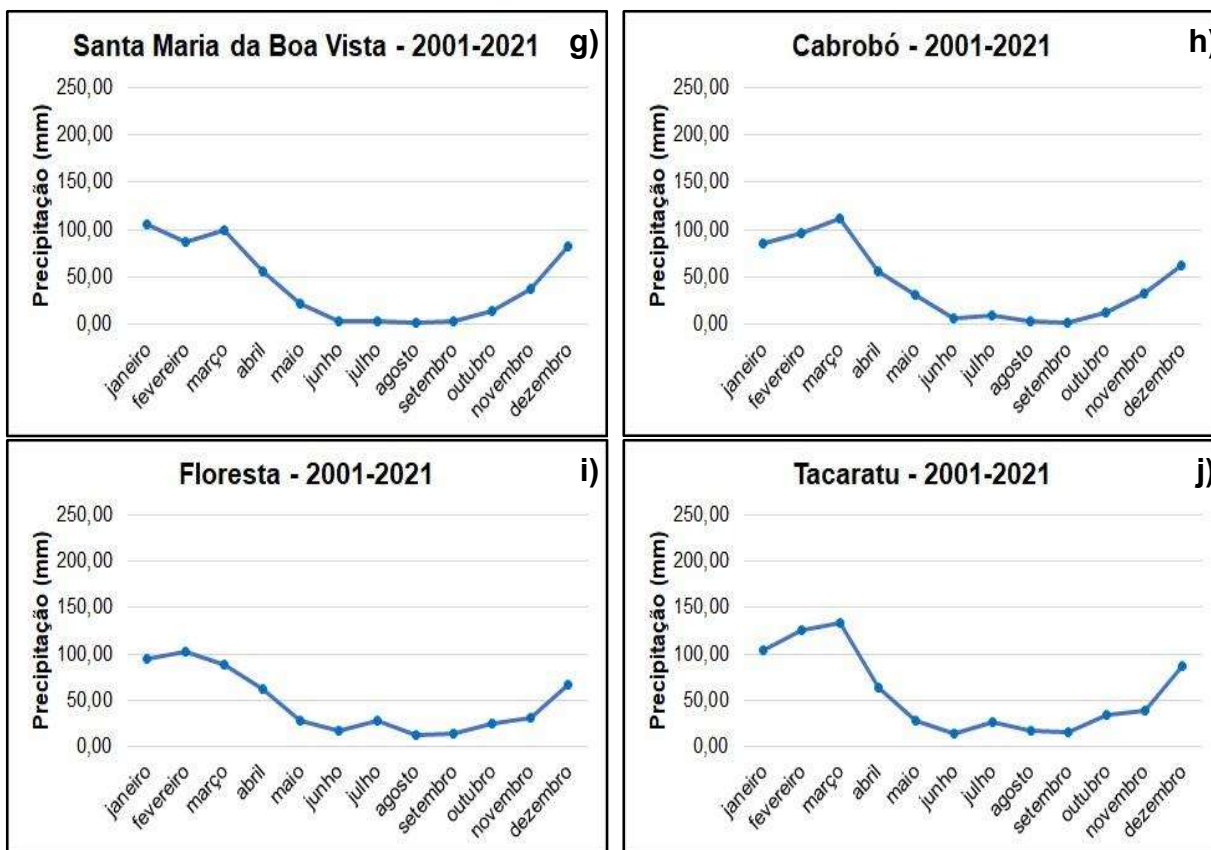
4.1. Análise Climatológica

A análise da série temporal de 2001 a 2021 das Normais Climatológicas nas mesorregiões do Sertão e São Francisco de Pernambuco, realizada em dez municípios, sendo eles: Ouricuri, Salgueiro, Serra Talhada, Custódia, Arcoverde, Petrolina, Santa Maria da Boa Vista, Cabrobó, Floresta e Tacaratu, foi utilizada para caracterizar o período mais seco do ano, portanto, aquele mais passível à ocorrência de focos de calor em razão da menor intensidade de precipitação média mensal local e das particularidades intrínsecas da vegetação do bioma Caatinga. A Tabela 1 destaca a análise climática em 21 anos consecutivos dos municípios selecionados, de modo que o resultado fosse representativo da totalidade das mesorregiões de estudo.

Pôde-se constatar que os meses mais secos do ano são de agosto a novembro no Sertão e São Francisco Pernambucano, em contrapartida, os mais chuvosos são de janeiro a abril, corroborando o que foi observado por GOUVEIA *et al.* (2021).

Gráfico 1 – Distribuição temporal da precipitação média mensal da série temporal de 2001 a 2021 dos municípios analisados





Esta característica torna a área suscetível à incidência de focos de calor, especialmente porque o bioma predominante é a Caatinga. Observa-se também a partir do Gráfico 1 que o período chuvoso da região está concentrado entre os meses de janeiro a abril, com redução da precipitação a partir do mês de maio.

A Tabela 1 apresenta as normais climatológicas de precipitação do período de 2001 a 2021 nos municípios estudados, as quais permitem compreender o comportamento das chuvas e sua influência potencial sobre a dinâmica das áreas queimadas.

Tabela 1 – Normal climatológica dos valores de precipitação dos municípios analisados

Municípios	Normal Climatológica da Precipitação (2001 - 2021)												Total
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
Ouricuri	112,5	114,2	114,2	75,9	35,6	8,8	9,4	2,2	0,9	13,1	34,0	88,1	608,7
Salgueiro	117,5	131,3	112,1	62,4	24,5	5,6	9,0	1,2	2,8	13,2	31,5	68,9	580,0
Serra Talhada	144,5	144,6	155,6	86,2	39,8	13,1	11,3	2,2	2,2	15,0	29,2	67,1	710,6
Custódia	111,9	134,5	139,5	71,0	36,5	14,9	10,1	2,7	3,2	18,1	26,1	74,8	643,4
Arcoverde	75,0	69,2	112,8	85,0	80,7	73,2	55,0	33,1	11,8	14,8	23,6	37,5	671,7
Petrolina	88,9	89,3	83,9	68,0	11,8	8,3	3,7	1,5	2,7	15,8	30,6	63,2	467,7
Santa Maria da Boa Vista	105,5	86,6	98,8	56,2	22,6	4,3	4,0	2,7	4,0	15,0	37,8	83,3	520,6
Cabrobó	85,1	97,0	112,3	56,0	30,8	6,5	9,2	4,2	2,0	12,6	32,6	62,4	510,6
Floresta	94,9	102,2	88,9	61,7	28,8	17,7	27,5	12,7	14,2	25,8	31,7	67,5	573,8
Tacaratu	104,4	126,6	133,0	64,5	28,2	14,1	27,0	17,9	16,5	34,7	39,2	87,4	693,5

Com o intuito de distinguir os anos dos municípios analisados anteriormente como “SECO”, “NORMAL” ou “CHUVOSO”, empregou-se a técnica de *Quantis* com fundamento nos dados de precipitação média anual exibidos na Tabela 1 referentes às Normais Climatológicas do período analisado. Sendo assim, foram utilizados os *Quantis* correspondentes a 0,33 e 0,66, os quais permitem estabelecer os limites estatísticos entre as diferentes classes de precipitação. A partir desses quantis, definiram-se as seguintes faixas de precipitação: menor ou igual a 548,7mm para os anos “SECOS”; acima de 548,7mm e abaixo de 629,7mm para os anos considerados “NORMAL”; e precipitação superior a 629,7mm e inferior a 710,6mm para anos classificados como “CHUVOSOS”. Com base nesses intervalos, apresenta-se na Tabela 2 a categorização dos municípios observados, em relação às divisões supracitadas.

Tabela 2 – Categorização dos municípios segundo a técnica de *Quantis* da série temporal de 2010 a 2021

Municípios	Anos					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ouricuri	CHUVOSO	CHUVOSO	SECO	NORMAL	CHUVOSO	CHUVOSO
Salgueiro	CHUVOSO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	SECO	SECO
Serra Talhada	CHUVOSO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	NORMAL	SECO
Custódia	CHUVOSO	CHUVOSO	SECO	NORMAL	NORMAL	SECO
Arcoverde	CHUVOSO	CHUVOSO	SECO	NORMAL	SECO	NORMAL
Petrolina	SECO	SECO	SECO	SECO	CHUVOSO	NORMAL
Santa Maria da Boa Vista	NORMAL	NORMAL	SECO	SECO	SECO	SECO
Cabrobó	SECO	NORMAL	SECO	SECO	SECO	SECO
Floresta	CHUVOSO	NORMAL	SECO	SECO	CHUVOSO	SECO
Tacaratu	CHUVOSO	CHUVOSO	SECO	SECO	CHUVOSO	SECO

Municípios	Anos					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ouricuri	SECO	SECO	NORMAL	SECO	NORMAL	NORMAL
Salgueiro	SECO	SECO	NORMAL	SECO	CHUVOSO	NORMAL
Serra Talhada	SECO	NORMAL	CHUVOSO	NORMAL	CHUVOSO	CHUVOSO
Custódia	SECO	SECO	SECO	SECO	CHUVOSO	CHUVOSO
Arcoverde	CHUVOSO	SECO	SECO	SECO	CHUVOSO	SECO
Petrolina	SECO	SECO	SECO	SECO	CHUVOSO	CHUVOSO
Santa Maria da Boa Vista	SECO	SECO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	CHUVOSO
Cabrobó	CHUVOSO	SECO	SECO	SECO	CHUVOSO	SECO
Floresta	SECO	SECO	NORMAL	SECO	CHUVOSO	CHUVOSO
Tacaratu	SECO	SECO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	CHUVOSO

A ocorrência de queimadas na Caatinga não se limita apenas a anos secos. A variabilidade intra-anual da chuva, o acúmulo de biomassa após períodos chuvosos e o uso do solo favorecem a ocorrência de fogo mesmo em condições pluviométricas consideradas favoráveis (ARGIBAY *et al.*, 2019; BELLO *et al.*, 2023; CARMO *et al.*, 2025). Evidencia-se que no período estudado apenas o ano de 2012 foi classificado como “SECO” em todos os municípios estudados, os outros anos se exibiram como “CHUVOSO” (com chuvas além do esperado) ou “NORMAL” (com chuvas dentro do previsto).

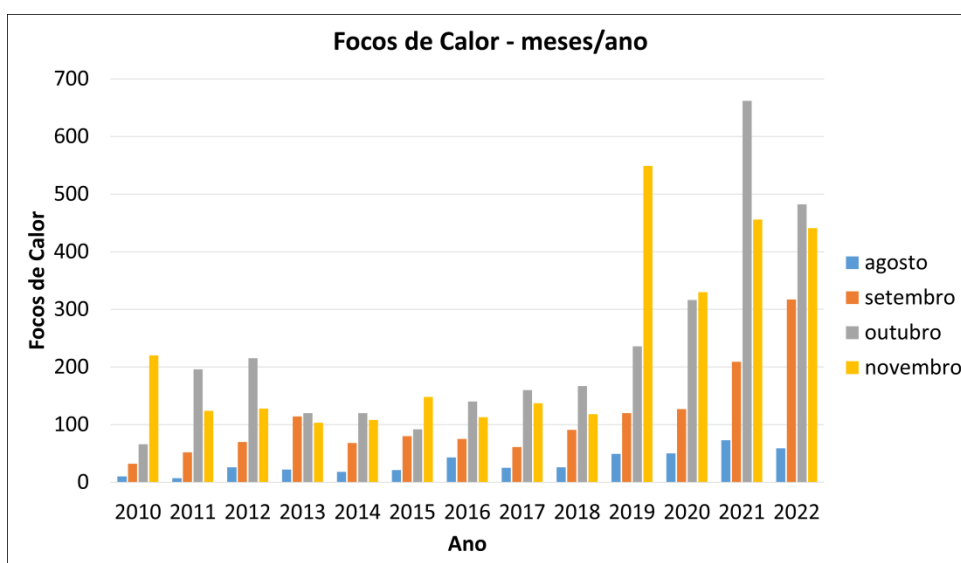
4.2. Focos de Calor

A partir da análise dos dados de focos de calor constantes no Gráfico 2, observa-se que os meses de agosto e setembro dos anos de 2010 a 2022 apresentaram as menores quantidades de incidência de focos de calor quando comparados com os meses de outubro e novembro dos mesmos anos. Esse padrão

sazonal é consistente, visto que ALVES *et al.* (2021) indicam que o pico de susceptibilidade ao fogo na Caatinga ocorre no final do ano, influenciado pelo déficit hídrico acumulado. Além disso, vale salientar que o mês de outubro apresentou as maiores quantidades de focos em relação aos meses de agosto, setembro e novembro.

Além disso, os dados apontam para uma tendência de alta na série histórica recente. Tal incremento, especialmente nas áreas do Sertão e São Francisco, reflete a pressão antrópica sobre a vegetação nativa, conforme GOUVEIA *et al.* (2021), que identificou um aumento das cicatrizes de queimadas nessas mesmas mesorregiões associado ao uso e cobertura do solo. Um fato que contribui para esta constatação é que no mês de setembro de 2010, foram registrados 32 focos e no mesmo mês no ano de 2022, foram registrados 317. Apesar desta crescente, o mês de novembro apresentou um comportamento decrescente no ano de 2020, visto que no ano de 2019 foram registrados 549 focos de calor e no mesmo mês no ano de 2020, foram registrados 330. No entanto, novembro de 2021 voltou a exibir valores elevados de focos de calor, com 456 eventos. De todo modo, o pico crescente desses episódios ocorreu no mês de outubro de 2021 com 662 casos.

Gráfico 2 – Comparativo da quantidade de focos de calor em relação aos meses de agosto a novembro nos anos de 2010 a 2022



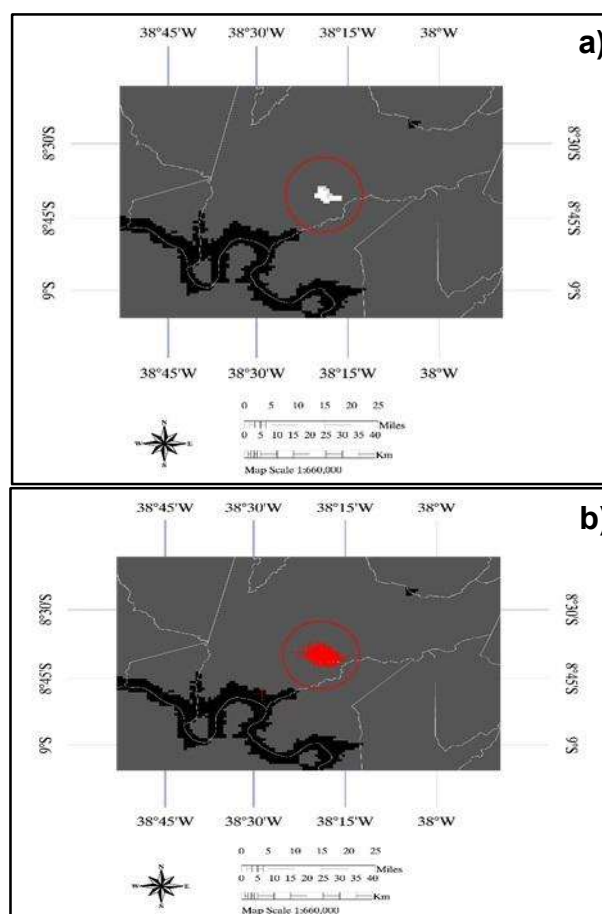
A Figura 2 apresenta a imagem MOD14A1 do dia 06/11/2019 do município de Floresta com os pixels detectados como área queimada, em escala de cinza mais clara (Figura 2a) e os 208 focos de calor disponibilizados pelo INPE sendo

coincidentes com as áreas detectadas como área queimada (Figura 2b) apenas para esse município.

Isso devido à vegetação local do município de Floresta que foi capaz de se regenerar completamente em um espaço considerável de tempo. De acordo com GOUVEIA e NASCIMENTO (2022), a vegetação expressou um comportamento uniforme com picos de pleno vigor vegetativo ocorrendo entre os meses de abril e maio, meses em que se determinou como sendo de período chuvoso da região, e o período de senescência acontecendo entre os meses de junho a setembro, com desenvolvimento da lavoura a partir de outubro.

Esta análise para o ano de 2019 possibilitou compreender a resposta vegetativa do município de Floresta, ocorrendo uma maior quantidade de focos no mês de novembro devido à rápida recuperação do local.

Figura 2 – Imagem MOD14A1 do dia 06/11/2019 do município de Floresta, destacando: a) os pixels identificados como área queimada; e b) os focos de calor detectados pelo INPE.



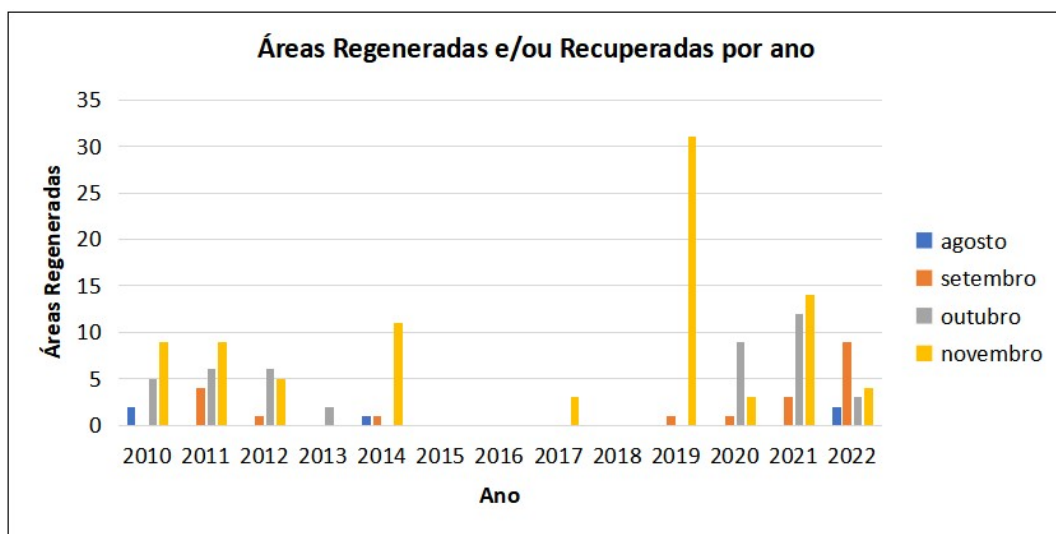
Fonte: A autora, 2025

4.3. Recuperação e/ou Regeneração Vegetal

Em seguida, para avaliar o poder de recuperação e/ou regeneração vegetal, foram utilizadas imagens do produto MOD13Q1 correspondentes ao período de 16 dias antes da queima e uma sequência de três imagens posteriores, abrangendo 48 dias após o evento. Essa abordagem possibilitou acompanhar a recuperação da vegetação por meio do índice NDVI, ao mesmo tempo em que se considerou a influência da precipitação local pois, de acordo com RODRIGUES *et al.* (2020) a vegetação da Caatinga responde às chuvas mesmo em ecossistemas secos: as coberturas vegetais mapeadas por NDVI mostraram aumento expressivo após períodos chuvosos.

O Gráfico 3 apresenta a quantidade de áreas que obtiveram regeneração e/ou recuperação vegetal após os focos de calor, distribuídas por município. Observa-se que, apesar de novembro de 2019 ter registrado um elevado número de áreas afetadas, também apresentou a maior quantidade de vegetação recuperada, resultado explicado pelo início da pré-estação chuvosa e pela resposta rápida da vegetação aos eventos pluviométricos (MEDEIROS *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2025). Da mesma forma, novembro de 2014 e outubro e novembro de 2021 apresentaram destaque em termos de regeneração vegetal, evidenciando a importância da disponibilidade hídrica.

Gráfico 3 – Quantidade de áreas regeneradas e/ou recuperadas de acordo com os índices NDVI e precipitação local



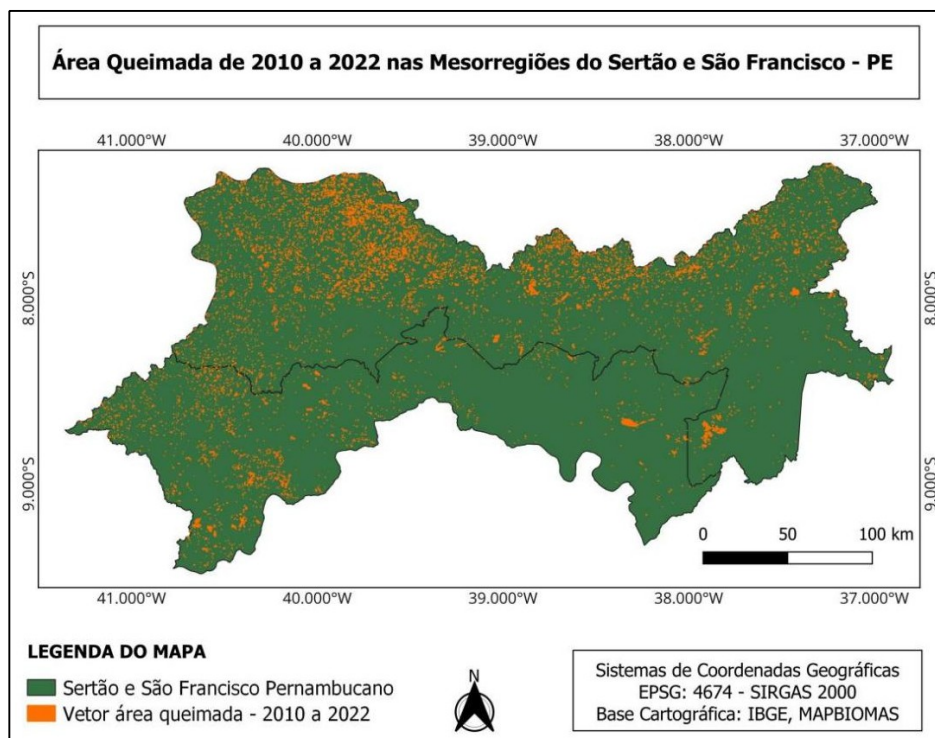
O início da pré-estação chuvosa na área de estudo ocorre em novembro, sendo esse o período mais chuvoso dentre os meses analisados, com o período principal de chuvas estendendo-se de janeiro a abril. Considerando que a análise contemplou dados de 16 dias antes da queima, no dia da queima e 48 dias após, fica evidente a relevância da precipitação local para o restabelecimento da vegetação (RODRIGUES, 2020).

4.4. Área Queimada

Com base nos dados mensais de área queimada da coleção MapBiomias Fogo, foi realizada a análise da extensão total de área queimada durante os meses mais secos do ano, comparando esses valores com os dados de focos de calor.

A Figura 3 mostra o mapa da localização e a extensão das áreas afetadas pelo fogo ao longo do período analisado, evidenciando os setores com maior recorrência de queimadas. É possível notar que a porção norte do mapa apresentou maior quantidade de área queimada quando comparada com a porção sul, respectivamente as mesorregiões Sertão e São Francisco Pernambucano. Segundo BELLO *et al.* (2023), o bioma Caatinga apresenta alta suscetibilidade ao fogo devido aos longos períodos de seca, baixa umidade e irregularidade das chuvas. A porção sul das mesorregiões são áreas especialmente influenciadas pelo Rio São Francisco, apresentando maior presença de agricultura irrigada, perímetros irrigados e mosaicos agrícolas intensivos. Segundo ALVES *et al.* (2021), meses com menor umidade relativa do ar e menor umidade do solo coincidem com aumento nos focos de calor no bioma Caatinga.

Figura 3 – Distribuição espacial da área queimada de 2010 a 2022



Fonte: Autora, 2025

O Gráfico 4 apresenta o total de área queimada em hectares. Conforme observado, assim como os dados de focos de calor, outubro e novembro concentraram a maior parte das queimadas, com um total queimado de 25.403,38ha e 20.840,07ha, respectivamente. Observou-se ainda que meses como agosto apresentaram as menores áreas queimadas em comparação a setembro a novembro, enquanto outubro teve áreas queimadas superiores aos demais. Destacam-se, sobretudo, outubro de 2010, novembro de 2019, outubro de 2020, outubro e novembro de 2021, bem como setembro e outubro de 2022, que apresentam em comum o fato de todos registrarem áreas queimadas superiores a 3.000 ha, caracterizando-se como eventos extremos dentro da série histórica analisada.

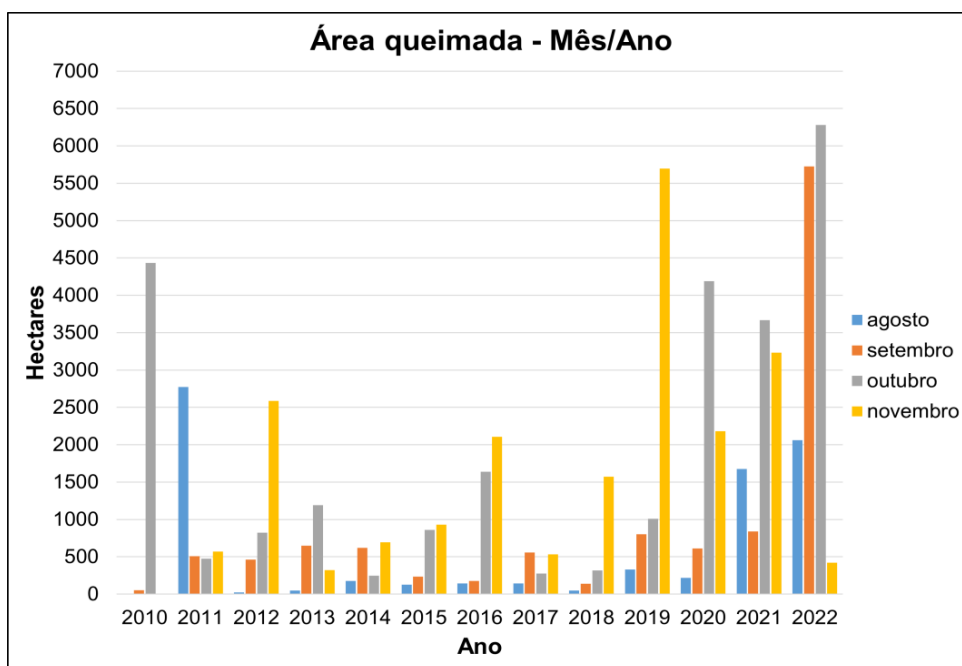
O ano de 2010 já se caracteriza por um evento extremo concentrado em outubro, que sozinho respondeu por 98,8% da área queimada do ano (4.434,75 ha de um total de 4.490,39 ha), evidenciando a ocorrência de um incêndio de grande extensão em curto intervalo de tempo. Em 2019, o padrão se repete, apenas o mês de novembro concentrou 72,7% da área total do ano (5.694,91 ha de 7.834,04 ha).

Em 2020, o pico ocorreu em outubro, com 4.189,64 ha, correspondendo a 58,2% da área queimada anual (7.200,20 ha), indicando a concentração do fogo no auge da estação seca. Já em 2021, observa-se um período prolongado de

queimadas, no qual outubro e novembro, juntos, totalizaram 6.902,07 ha, representando 73,3% da área queimada do ano (9.416,96 ha), o que sugere a persistência de condições ambientais favoráveis à propagação do fogo por mais de um mês consecutivo.

O ano de 2022 apresenta o evento mais extremo de toda a série. Apenas os meses de setembro e outubro concentraram 12.005,17 ha, correspondendo a 82,9% da área total queimada no ano (14.484,93 ha). O pico absoluto ocorre em outubro de 2022, com 6.279,04 ha, o maior valor mensal registrado em todo o período analisado, indicando um episódio excepcional de incêndios de grande escala.

Gráfico 4 – Área queimada em hectares nos meses de agosto a novembro dos anos de 2010 a 2022



Conforme o Gráfico 4, as maiores divergências entre número de focos e área queimada ocorreram em outubro de 2010, agosto de 2011 e 2022, e novembro de 2013 e 2016 — meses em que a área queimada ultrapassou 2.500 hectares, embora o número de focos fosse inferior a 200.

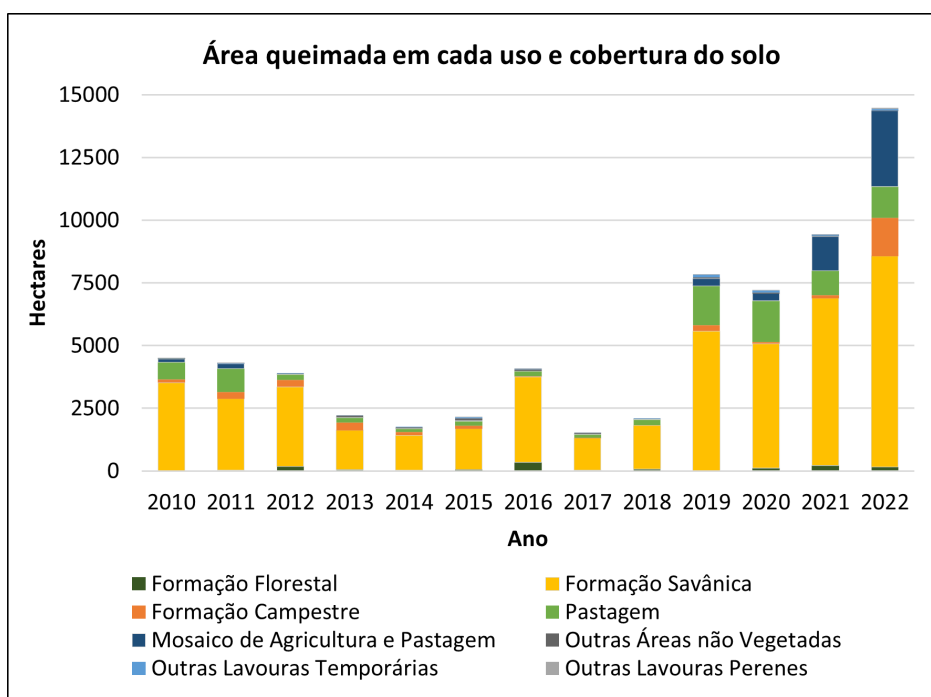
Segundo o IBAMA (2022), essa discrepância ilustra que a relação entre focos detectados por satélite e área efetivamente queimada nem sempre é direta, visto que um único foco pode abranger grandes áreas ou múltiplos focos podem corresponder a queimadas pequenas. De acordo com HANTSON *et al.*, (2013), a correlação entre o número de focos de calor e a área queimada pode variar

significativamente entre diferentes regiões e tipos de vegetação, sendo a inclinação da relação dependente das condições locais e da proporção entre focos detectados e a extensão dos incêndios.

4.5. Área Queimada para Uso e Cobertura do Solo

Posteriormente, a partir dos dados de área total queimada foi realizada conjuntamente, utilizando os mapas de Uso e Cobertura do Solo da Coleção 9 do MapBiomas, a quantificação em hectares do total de área afetada em cada uso e cobertura do solo.

Gráfico 5 – Área queimada em hectares para cada uso e cobertura do solo



De acordo com o Gráfico 5, pôde-se constatar que no período analisado as áreas se apresentaram com classificações diversas de utilização do solo. Porém, houve uma maior incidência de dois tipos que estiveram presentes em praticamente todos os meses verificados, que foram: Formação Savânica, com um total queimado de 46156,20 hectares, e de Pastagem com um total de 8347,82 hectares; o que corresponde, respectivamente, a 70,6% e 12,8% da área total queimada de 2010 a 2022. De acordo com KLINK *et al.* (2020), fisionomias savânicas e áreas de pastagem possuem maior disponibilidade de combustíveis finos, como gramíneas e vegetação herbácea, que secam rapidamente e aumentam a suscetibilidade ao fogo.

Além disso, práticas humanas associadas à pecuária, como limpeza de áreas e renovação de pasto, também contribuem para a maior frequência de queimadas nessas classes.

4.6. Árvore de Decisão

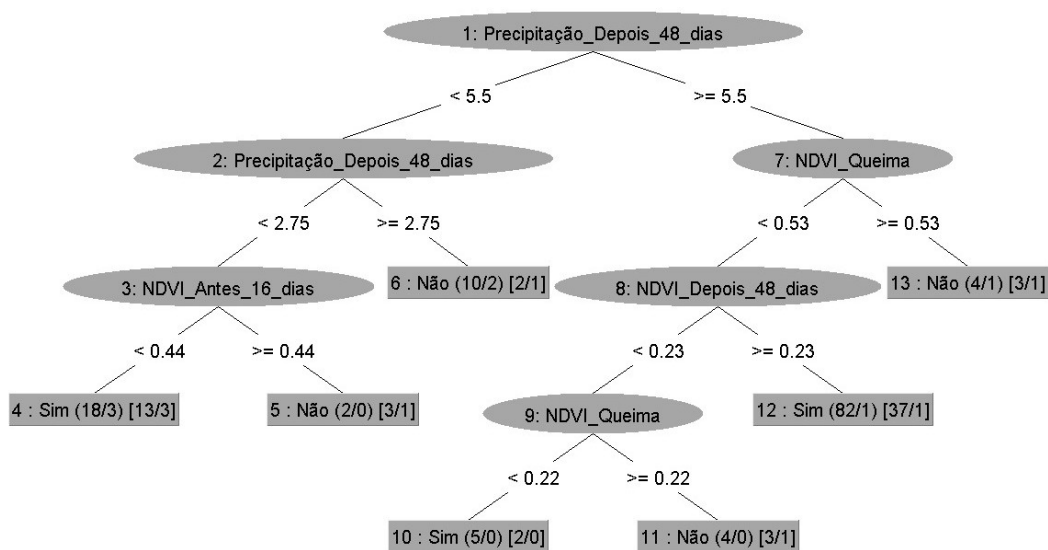
A árvore de decisão resultante foi elaborada a partir do cruzamento das variáveis em diferentes intervalos temporais (16 dias antes, durante a queima, e 16, 32 e 48 dias após o fogo). Essa análise evidenciou uma correlação de 92,02% entre os parâmetros avaliados, indicando uma relação significativa entre a dinâmica da vegetação e a disponibilidade hídrica.

Segundo LACOUTURE *et al.* (2020), áreas com valores mais baixos de NDVI após a queima apresentaram maior potencial de regeneração, enquanto áreas com cobertura mais densa mostraram menor capacidade de recuperação imediata. Conforme observado na Figura 4, o principal fator determinante para a regeneração vegetal foi o valor do NDVI durante o período da queima. Cenários nos quais esse índice apresentou valores inferiores a 0,22 mostraram maior potencial de recuperação e/ou regeneração da vegetação.

Adicionalmente, verificou-se que a precipitação acumulada 48 dias após a queima desempenha papel igualmente relevante, estabelecendo diferentes possibilidades para o restabelecimento da vegetação. A análise da árvore de decisão permitiu destacar três situações distintas:

- I. Se a precipitação depois de 48 dias da queima for menor que 2,75mm e o NDVI 16 dias antes da queima for menor que 0,44;
- II. Se a precipitação depois de 48 dias da queima for maior ou igual a 5,5mm, o NDVI no dia da queima for menor do que 0,53 e o NDVI depois de 48 dias da queima for igual ou superior a 0,23;
- III. Se a precipitação depois de 48 dias da queima for maior ou igual a 5,5mm, o NDVI no dia da queima for menor do que 0,53, o NDVI depois de 48 dias da queima for menor que 0,23 e o NDVI no dia da queima menor 0,22.

Figura 4 – Árvore de decisão: Avaliação da Regeneração Vegetal



De acordo com a Figura 4, foi realizada uma interseção entre os valores limites do padrão que satisfazem as três condições propostas acima. Sendo assim, percebe-se que áreas de maior densidade vegetal não obtiveram capacidade de regeneração e/ou recuperação vegetal, já nas áreas avaliadas com os valores de NDVI no dia da queima menores que 0,22 e o de NDVI 16 dias antes da queima menores que 0,44 satisfazem as condições impostas para que haja a regeneração e/ou recuperação vegetal.

5. CONCLUSÃO

A partir das análises realizadas dos dados obtidos de diferentes fontes: USGS, INPE, BDQ, IBGE e os demais banco de dados, foi possível mapear e quantificar os focos de calor entre 2010 e 2022, especialmente nos meses mais secos, nas mesorregiões do Sertão e do São Francisco de Pernambuco, definidas a partir da técnica de *Quantis*.

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, foi possível identificar os tipos de uso e cobertura do solo mais impactados pelo fogo, quantificar a área total queimada, calcular a extensão queimada em cada classe e determinar a frequência das ocorrências de queimadas.

Além disso, a análise dos dados de NDVI e precipitação possibilitou avaliar a capacidade de regeneração ou recuperação da vegetação nas unidades da paisagem afetadas pelo fogo. Esses dados também foram utilizados na aplicação de técnicas de mineração de dados, por meio do método de árvore de decisão, permitindo identificar padrões nos pixels correspondentes às áreas queimadas e subsidiar a compreensão do comportamento da vegetação frente aos eventos de fogo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Acesso aos Estados – PE: **Estatísticas**, 2024a. Disponível em: <<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estatisticas/index.jsp?siglaUF=PE>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Acesso aos Estados – PE: **Pesquisa de dados meteorológicos**, 2024b. Disponível em: <<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=PE>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

ALMEIDA, A.F.A.; SANTOS JUNIOR, J.B.; LEÃO, F.M.; ANDRADE, T.C.G.R. **Incêndios em Vegetação no Perímetro Urbano de Altamira, PA, no Período de 2011 à 2020**. Revista GeoAmazônia [online] 10, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.ufpa.br/index.php/geoamazonia/article/view/13400>>. Acesso em: 09 mai. 2025.

ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M.; ARAÚJO, F. C.; SILVA, L. L. **Um Estudo de Focos de Calor no Bioma Caatinga e suas Relações com Variáveis Meteorológicas**. Revista Brasileira de Meteorologia [online], 36(3 supl.), 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-77863630015>>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ARAKI, H. **Fusão de Informações Espectrais, Altimétricas e de dados auxiliares na classificação de Imagens de Alta Resolução Espacial**. 2005. 136 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ARGIBAY, D. S.; SPARACINO, J.; ESPÍNDOLA, G. M. de. **Linking research and management: studying the fire regime of Caatinga-Cerrado ecotone (Piauí, Brazil) to**

propose orientations for policymakers of protected areas. *Biodiversidade Brasileira* [online] 9(1), 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v9i1.981>>. Acesso em: 02, abr. 2025.

BELLO, J. P.; FREITAS, A. C. V.; VIEIRA, E. M. **Uma Análise do risco de fogo para o bioma Caatinga**. *Revista Brasileira de Climatologia* [online] 32, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16693>>. Acesso em: 02, abri. 2025.

BENFICA, N.S.; SILVA, D.P.; DELGADO, R.C. **Dinâmica de áreas queimadas através de dados orbitais do sensor modis e influência climática no parque nacional da Chapada Diamantina**. *Brazilian Journal of Development* [online] 7, 2021. Disponível: <<https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-014>>. Acesso: 19 jul. 2025.

CARVALHO, W. S.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; SANTOS, T. L. **Uso e cobertura do solo utilizando a Plataforma Google Earth Engine (GEE): Estudo de caso em uma Unidade de Conservação**. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, p. 15280-15300, 2021.

CARMO, I. R. F.; SILVA Júnior, A. R.; ARAÚJO, P. S.; SILVA Júnior, C. H. L. **Desmatamento, Incêndios Florestais e Secas Extremas no Bioma Caatinga, Brasil**. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 18(5), 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.26848/rbgf.v18.05.p3543-3557>>. Acesso em: 02 abr. 2025.

CAVALCANTE, J. C.; ALMEIDA, C. A.; CASTELO, T. B. **Análise de NDVI e Temperatura da Superfície Terrestre Utilizando a Plataforma do Google Earth Engine em Área de Savana Amazônica e Floresta Secundária, no Município de Vigia-PA**. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 6, n. 1, p. 64-70, 2020.

CEMADEN. Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. Unidade de pesquisa do MCTI. **Risco de Propagação de Fogo**, 2025. Disponível em: <<https://produtos.cemaden.gov.br/fogo/>>. Acesso em: 22 dez. 2025.

CERQUEIRA, M.A., RODRIGUES, F.M., ALMEIDA, G.V.L. Susceptibilidade a desertificação para o estado de Pernambuco. *Geosul* [online] 35, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5007/2177-5230.2020v35n76p151>>. Acesso em: 19 set. 2024.

CHAVES, M.E.D.; MARTINS, F.C.M.; MATAVELI, G.A.V.; CONCEIÇÃO, K.V.; BARROS, K.O.; GUERRERO, J.V.R. **Focos de calor no Cerrado e na Caatinga de Minas Gerais identificados por sensor orbital**. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto* [online] 2, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.5281/zenodo.4743931>>. Acesso em: 19 jul. 2025.

COCHRANE, M. **Tropical fire ecology: Climate change, land use and ecosystem dynamics**. New York, NY: Springer, 2009.

CORREIA, T.P. **Aplicação de Geotecnologias na Elaboração de Índices Socioeconômicos Associados às Ocorrências de Desastres Naturais no Entorno da Ferrovia entre as Estações Caieiras e Francisco Morato, SP**.

Dissertação (Mestre em Ciências). São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2021.

COSTA, D. P.; SANTOS, J. J.; CHAVES, J. M.; ROCHA, W. J. S. F.; VASCONCELOS, R. N. **Novas tecnologias e sensoriamento remoto: aplicação de uma oficina didática para a disseminação das potencialidades dos produtos e ferramentas do mapbiomas**. Sustainability, Agri, Food and Environmental Research, v. 6, n. 3, p. 6-46, 2018.

CRUZ, C. L. Z.; CRUZ, C. B. M. **Avaliação da Exatidão Temática da Cobertura e Uso da Terra Representada através do Mapbiomas no Rio de Janeiro**. GEOgraphia, v. 23, n. 50, 2021.

DUARTE, M.L. **Previsão da suscetibilidade à incêndios e queimadas utilizando um modelo baseado em inteligência artificial e sistema de inferência fuzzy**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Sorocaba, Universidade Estadual Paulista, 2022.

ERMIDA, S. L.; SOARES, P.; MANTAS, V.; GÖTTSCHE, F. M.; TRIGO, I. F. **Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series**. Remote Sensing, v. 12, n. 9, p. 1471, 2020.

FRUEHAUF, A.L.; SILVA, P.V.; LOMBARDO, M.A. **O uso da geotecnologia e análise estatística dos incêndios florestais na Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, Rio Claro, São Paulo, Brasil**. Brazilian Journal of Development [online] 8, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv8n1-030>>. Acesso em: 14 mai. 2025.

GAFUROV, A.; PROKHOROV, V.; KOZHEVNIKOVA, M.; USMANOV, B. **Forest Community Spatial Modeling Using Machine Learning and Remote Sensing Data**. Remote Sensing [online], 16, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs16081371>>. Acesso em: 25 ago. 2025.12.

GERVÁSIO, D. R. V. P. **Análise da variação de áreas de vegetação em imagens NDVI em diferentes bandas espectrais da plataforma SENTINEL-2A**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geografia). Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2021.

GHORBANIAN, A.; MOHAMMADZADEH, A.; JAMALI, S. **Linear and non-linear vegetation trend analysis throughout Iran using two decades of MODIS NDVI imagery**. Remote Sensing [online], 14, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs14153683>>. Acesso em: 11 jun. 2025.

GOUVEIA, J.R.F.; NASCIMENTO, C.R.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.G.; MOURA, G.B.A.; LOPES, P.M.O. **Caracterização de Cicatrizes de Queimadas nas Mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano a partir de dados do Sensor MODIS**. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 14, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p881-996>>. Acesso em: 29 mai. 2025.

GOUVEIA, J. R. F.; NASCIMENTO, C. R.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. G.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O. **Correlação entre área plantada x queima da cana-de-açúcar no Litoral e Zona da Mata de Pernambuco**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 02, p. 841-855, 2022.

GOUVEIA, J. R. F.; NASCIMENTO, C. R. **Uso e cobertura do solo após eventos de queimadas no município de Floresta em Pernambuco**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 06 p. 3121-3135, 2022.

HANTSON, S.; PADILLA, M.; CORTI, D.; CHUVIECO, E. **Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence**. Remote Sensing of Environment, [online] 131, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.004>>. Acesso em: 03 jan. 2026.

HERRMANN, P. B.; NASCIMENTO, V. F.; FREITAS, M. W. D. **Sensoriamento Remoto Aplicado à Análise de Fogo em Formações Campestres: Uma Revisão Sistemática**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 74, n. 2, p. 437-458, 2022.

IBAMA. **Monitoramento de focos de queimadas em imagens de satélites**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/servicos/consultas/incendios-florestais/monitoramento-de-focos-de-queimadas-em-imagens-de-satelites>>. Acesso em: 08 ago. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE**, 2025. Cidades e Estados. Disponível em: <cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 jun. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **INMET**, 2024. Banco de Dados Meteorológicos. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 20 jun. 2024.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2025. **BDQUEIMADAS**. Disponível em: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>>. Acesso em: 09 mai. 2025.

JARDIM, R. O. **Mudança na Cobertura Vegetal do Município de Brejo (MA): uma análise a partir do cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)**. Ensaios de Geografia [online], 7, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.22409/eg.v7i14.45855>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

KLINK, C. A.; SATO, M. N.; CORDEIRO, G. G.; RAMOS, M. I. M. **The Role of Vegetation on the Dynamics of Water and Fire in the Cerrado Ecosystems: Implications for Management and Conservation**. Plants [online], 9(12), 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/plants9121803>>. Acesso em: 25 jul. 2025.

LACOUTURE, D. L.; BROADBENT, E. N.; CRANDALL, R. M. **Detecting Vegetation Recovery after Fire in A Fire-Frequented Habitat Using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)**. Forests [online], 11(7), 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/f11070749>>. Acesso em: 27 set. 2025.

LI, Q.; QIU, C.; MA, L.; SCHMITT, M.; ZHU, X. X. **Mapping the Land Cover of Africa at 10 M Resolution from Multi-Source Remote Sensing Data with Google Earth Engine**. Remote Sensing, v. 12, n. 4, p. 602, 2020.

LI, Y.; GONG, J.; ZHANG, Y.; GAO, B. **NDVI-Based Greening of Alpine Steppe and Its Relationships with Climatic Change and Grazing Intensity in the Southwestern Tibetan Plateau**. Land [online], 11, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/land11070975>>. Acesso em: 11 jul. 2025.

LOTUFO, J. B. S.; MACHADO, N. G.; TAQUES, L. M.; MÜTZENBERG, D. M. S.; LOTUFO NETO, N.; BIUDES, M. S. **Índices Espectrais e Temperatura de Superfície em Áreas Queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 2, p. 648-663, 2020.

KUMAR, B. P.; BABU, K. R.; ANUSHA, B. N.; RAJASEKHAR, M. **Geo-environmental Monitoring and Assessment of Land Degradation and Desertification in the Semi-arid regions using Landsat 8 OLI/TIRS, LST, and NDVI approach**. Environmental Challenges [online], 8, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100578>>. Acesso em: 11 jun. 2025.

MACHADO NETO, A. de P.; RIBEIRO, D.; DALL'OGGIO, O. T.; OLIVEIRA, A. T. M.; SILVA, J dos SANTOS. **Mapas de risco de incêndios florestais para o Parque Natural Municipal Florestal de Sinop, Mato Grosso, Brasil**. Scientific Electronic Archives, Vol. 16 (1), 2023.

MABUNDA, I. R. S.; GUASSELLI, L. A.; NHONGO, E. J. S.; BANDEIRA, B. **Estimativa da biomassa florestal para fins energéticos utilizando índices de vegetação e dados de campo, Distrito de Mabalane–Moçambique**. Revista Brasileira de Cartografia [online], 73, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14393/rbcv73n1-46828>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias – Coleção 9 (1985-2024) da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, 2025a. **O Projeto**. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/o-projeto>>. Acesso em: 04 jun. 2025.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias – Coleção 9 (1985-2024) da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, 2025b. **Códigos das classes da legenda e paleta de cores utilizadas na Coleção 9 do MapBiomias**. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/codigos-de-legenda>>. Acesso em: 04 jun. 2025.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias – Coleção 9 (1985-2024) da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, 2025c. **Produtos**. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/produtos>>. Acesso em: 04 jun. 2025.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias Fogo – Coleção 4 (1985-2024) da Série de Mapeamento de cicatrizes de fogo no Brasil, 2025d. **Códigos de legenda e de dados da Coleção 4 do MapBiomias Fogo**. Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/downloads/CODIGO_DE_LEGENDA_FOGO_COLECAO_4>. Acesso em: 04 abr. 2025.

MEDEIROS, R. L. B.; SOUSA, G. M.; FIGUEIREDO, C. F. V.; FORMIGA, A. C. S.; OLIVEIRA, F. F. D.; OLIVEIRA, P. A. T.; NASCIMENTO, R. R. A.; MONTEIRO, A. O.; LEITE, A. C. N. **Resposta espectral do comportamento do NDVI e NDWI diante de diferentes intensidades pluviométricas na cidade de Patos – PB**. Research, Society and Development, v. 11, n. 3, 2022.

MEDEIROS, R.; ANDRADE, J.; RAMOS, D.; MOURA, M.; PÉREZ-MARIN, A. M.; DOS SANTOS, C. A. C.; SILVA, B.; CUNHA, J. **Remote Sensing Phenology of the Brazilian Caatinga and Its Environmental Drivers**. Remote Sens [online], 14(11), 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs14112637>>. Acesso em: 08, set. 2025.

MOLENA, C.; GAVIOLI, F. R.; MOLIN, P. G.; MELILLO, R. C. S. **Análise das Mudanças do Uso e Cobertura do Solo entre 1985 e 2018 da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim–Jundiá/São Paulo**. Geografia, v. 46, n. 1, p. 1-22, 2021.

MONTEIRO, J.B., ROCHA, A.B., ZANELLA, M.E. Técnica dos quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980-2009). Revista do Departamento de Geografia [online] 23, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0023.0010>. Acesso em: 19 mai. 2024.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **NASA**, 2025. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer): About. Disponível em: <<https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>>. Acesso em: 11 mai. 2025.

OLIVEIRA, B.G.; ANUNCIÇÃO, V.S. **Focos de calor, queimadas e problemas respiratórios na cidade de Campo Grande (MS) no período de 2014-2020**. Revista Estrabão [online] 3, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.53455/re.v3i.26>>. Acesso em: 10 mai. 2025.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. G.; SANTOS, J. M.; POLYCARPO, J. S. M.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A.; NASCIMENTO, C. R. **Mapeamento Espectral de Cicatrizes de Queimadas na Caatinga através de dados Orbitais MODIS e LANDSAT**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada [online], 15, 2021. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.7127/rbai.v1501164>>. Acesso em: 09 ago. 2025.

PASSOS, A. O. **Índices de Reflectância, NDVI e EVI como Indicadores de Níveis de Degradação das Pastagens Tropicais**. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo). Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2021.

PIRALILOU, S.T.; EINALI, G.; GHORBANZADEH, O.; NACHAPPA, T.G.; GHOLAMNIA, K.; BLASCHKE, T.; GHAMISI, P. **A Google Earth Engine Approach for Wildfire Susceptibility Prediction Fusion with Remote Sensing Data of Different Spatial Resolutions**. Remote Sensing [online] 14, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs14030672>>. Acesso em: 11 mai. 2025.

PISANI, R. J.; SOUZA, L. P. B. de. **Análise de conflito de uso e cobertura da terra em áreas de preservação permanente – APP, em regiões urbanas e periurbanas de Nepomuceno-MG**. Caderno de Geografia, v. 33, n. esp. 1, p. 427, 2023.

PIVELLO, V. R. **The use of fire in Brazil: past and present**. Fire Ecology, 7 (1), 24-39, 2011.

ROCHA, M.I.S.; NASCIMENTO, D.T.F. **Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo**. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 14, 2021 Disponível em: <<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1220-1235>>. Acesso em: 09 mai. 2025.

ROCHA, K. S.; ARAÚJO, A. A.; DUETI, L. S. M. **Focos de calor no sudoeste da Amazônia: indicador do efeito da Ação Civil Pública – ACP do “fogo zero”**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 5, p. 30597-30609, 2020.

RODRIGUES, J. A. de M.; LOPES, P. M. O.; SILVA, J. L. B.; ARAÚJO, H. L.; SILVA, M. V. da; SANTOS, A.; BATISTA, P. H. D.; MOURA, G. B. A. **Spatial-temporal dynamics of Caatinga vegetation cover by remote sensing in the Brazilian semiarid region**. DYNA [online], 87(215), 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.15446/dyna.v87n215.87851>>. Acesso em: 30 ago. 2025.

ROST, E.; CABRAL, R.M.G.; SILVA, T.A.R. **As Dinâmicas Ambientais e Sociais das queimadas do Cerrado na microrregião do Meia Ponte**. Brazilian Journal of Development [online] 7, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv7n5-133>>. Acesso em: 09 mai. 2025.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHEEL, J. A.; DEERING, D.W. **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS**. Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium., v. 1, p. 48-62. 1974.

SACRAMENTO, I. F.; MICHEL, R. F. M.; SIQUEIRA, R. G. **Análise bitemporal de áreas queimadas na Mata Atlântica**. Sociedade & Natureza, v. 32, p. 565-577, 2020.

SALES, G.M.; PEREIRA, J.L.G.; THALÊS, M.C.; POCCARD-CHAPUIS, R.; ALMEIDA, A.S. **Emprego dos focos de calor na avaliação das queimadas e em incêndios florestais em Paragominas, Pará, Brasil**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais [online] 14, 2019. Disponível: <<https://doi.org/10.46357/bcnaturais>>.v14i1.140. Acesso: 13 mai. 2025.

SANTOS, K.S.; SILVA, D.D.; GUIMARÃES, R.J.P.S. **Análise Multitemporal de Focos de Queimadas e Variáveis Climáticas, no Estado do Pará**. Revista Geográfica Acadêmica [online] 14, 2020. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/rga/article/view/6228>>. Acesso em: 08 mai. 2025.

SANTOS, W.A.; SANTANNA, N.C.R. **Comparativo da Proporção de Focos de Queimadas do Noroeste de Minas Gerais em Relação ao Cerrado Brasileiro entre 2015 e 2019**. Anais do 2º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma, 2020.

SENA, A.F.S.; RODRIGUES, C.C.; PINHEIRO, K.A.O.; ARAÚJO, S.C.A.; BRAGA, E.O.; AMARAL, A.P.M.; CHAGAS, G.F.B.; BEZERRA, M.G.S.; MINORI, S.B.; CARNEIRO, F.S. **Distribuição dos focos de queimadas no município do Acará em uma década**. Research, Society and Development [online] 11, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.35403>>. Acesso em: 15 mai. 2025.

SHARMA, M.; BANGOTRA, P.; GAUTAM, A. S.; GAUTAM, S. **Sensitivity of normalized difference vegetation index (NDVI) to land surface temperature, soil moisture and precipitation over district Gautam Buddh Nagar, UP, India**. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment [online], 36, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00477-021-02066-1>>. Acesso em: 21 jul. 2025.

SILVA, A. C.; JUVANHOL, R. S.; MIRANDA, J. da R. **Variabilidade espaço-temporal de ocorrência e recorrência de fogo no Bioma Caatinga usando dados do sensor MODIS**. Ciência Florestal [online], 33(1), 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/1980509870195>>. Acesso em: 29 set 2025.

SILVA, A. C.; JUVANHOL, R. S.; MIRANDA, J. R.; SANTOS, A. R. **Análise Espaço-Temporal da Regeneração da Vegetação Pós-Fogo no Bioma Caatinga – Brasil, no Período de 2002-2021**. Revista Brasileira de Cartografia [online] 74, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.26848/rbgf.v18.05.p3790-3805>>. Acesso em: 08 out. 2025.

SILVA, A.D. **Conhecimento sobre o papel do fogo: No olhar multifacetado do saber e fazer dos sujeitos sociais**. Dissertação (Mestrado Profissional). Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2020.

SILVA, D. S.; ANDRADES-FILHO, C. O. **Uso do fogo nos campos de altitude do sul do Brasil: análise do licenciamento ambiental a partir de geotecnologias**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 9, n. 1, p. 146-164, 2021.

SILVA JÚNIOR, J. A.; PACHÊCO, A. P. **Avaliação de índices espectrais e Classificação Normal Bayes usando imagens OLI e TIRS para o mapeamento de áreas queimadas no Cerrado**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 10, n. 3, p. 132-147, 2022.

SIQUEIRA, J.R.; CARVALHO, B.M. **Temporal analysis of hotspots in the municipalities of Macae-RJ and Campos dos Goytacazes-RJ during the period 2014-18**. Research, Society and Development [online] 11, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.36643>>. Acesso em: 09 mai. 2025.

SOUZA JR, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; FERREIRA NETO, L. C.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. **Reconstructing three decades of land use and land cover**

changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. Remote Sensing, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020.

SOUZA NETO, L.T.; SILVA, M.T.; VALE, W.K.S.; GRIGIO, A.M. **O Uso do Mapa de Kernel como Subsídio para Identificação da Dispersão dos Focos de Queimadas no Município de Mossoró (RN).** Revista de Geografia (Recife) [online] 38, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.51359/2238-6211.2021.247425>>. Acesso em: 09 mai. 2025.

TEIXEIRA, A. L. S. **Correlação entre índices espectrais de verdor, umidade e senescência e ocorrências de queimadas no Parque Nacional de Brasília.** 2020. 94 p. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) Universidade de Brasília, Brasília.

TEIXEIRA, N.C.; DANELICHEN, V.H.M.; PEREIRA, O.A.; SEIXAS, G.B. **Dinâmica de Queimadas no Município de Cuiabá-MT por Sensoriamento Remoto.** Revista Brasileira de Geografia Física [online] 14, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p607-618>>. Acesso em: 04 mai. 2025.

UNIVERSITY OF WAIKATO. **Weka 3 – Machine Learning Software in Java,** 2025. Disponível em: <<https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/index.html>>. Acesso em: 15 de mai. de 2025.

WALDER, M.T., ALVES, D.B. **Mapeamento dos Padrões Espaço-Temporais de Incidência do Fogo no Enclave de Cerrado dos Campos Amazônicos.** REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA [online] 15, 2021. Disponível: <<http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/689>>. Acesso: 04 mai. 2025.

XIAO, J.; HUANG, K.; LIN, Y.; REN, P.; ZU, J. **Assessing Vegetation Phenology across Different Biomes in Temperate China—Comparing GIMMS and MODIS NDVI Datasets.** Remote Sensing [online], 14, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs14236180>>. Acesso em: 11 ago. 2024.

YANG, L.; DRISCOI, J.; SARIGAI, S.; WU, Q.; CHEN, H.; LIPPITT, C.D. **Google Earth Engine and Artificial Intelligence (AI): A Comprehensive Review.** Remote Sensing [online] 14, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs14143253>>. Acesso em: 11 mai. 2025.

ZHOU, L., WANG, Y., CHI, Y., WANG, S., WANG, Q. **Contrasting post-fire dynamics between Africa and South America based on MODIS Observations.** Remote Sensing [online] 11, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs11091074>>. Acesso em: 04 mai. 2025.