



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI – UFCA
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL
SUSTENTÁVEL – PRODER
DISSERTAÇÃO

**FOGO NA APA CHAPADA DO ARARIPE: RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS
CLIMÁTICAS, A OCORRÊNCIA DE QUEIMADAS E SEU GRAU DE SEVERIDADE**

MARIA CLARA DE LIMA SOUSA

CRATO
2023

MARIA CLARA DE LIMA SOUSA

FOGO NA APA CHAPADA DO ARARIPE: RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, A OCORRÊNCIA DE FOGO E SEU GRAU DE SEVERIDADE

Defesa apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Área de Concentração: Ciências ambientais;
Sublinha de Pesquisa: Gestão, monitoramento e manejo integrado dos recursos hídricos.

Orientadora: Profa. Dra Ana Célia Maia Meireles
Coorientador: Prof. Ph.D. Carlos Wagner Oliveira.

Autoriza-se a reprodução e a divulgação total ou parcial deste trabalho, por quaisquer meios convencionais ou eletrônicos, apenas para fins de estudos e pesquisas, desde que seja devidamente citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Cariri
Sistema de Bibliotecas

S725f

Sousa, Maria Clara de Lima.

Fogo na APA Chapada do Araripe: relação entre variáveis climáticas, a ocorrência de queimadas e seu grau de severidade / Maria Clara de Lima Sousa – 2023.

101 f. il. color.; 30 cm.

(Inclui bibliografia, p.83-93).

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Cariri, Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), Crato, 2023.

Orientação: Prof^a. Dr^a. Ana Célia Maia Meireles.

Coorientação: Prof. Ph.D. Carlos Wagner Oliveira.

1. Queimadas. 2. Variáveis climáticas. 3 Grau de severidade. I. Título.

CDD 634.9618

Bibliotecário: João Bosco Dumont do Nascimento – CRB 3/1355

MARIA CLARA DE LIMA SOUSA

FOGO NA APA CHAPADA DO ARARIPE: RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, A OCORRÊNCIA DE FOGO E SEU GRAU DE SEVERIDADE

Defesa apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Área de Concentração: Ciências ambientais;
Linha de Pesquisa: Meio ambiente.

Aprovada em: 11/08/2023

Banca examinadora

Ana Célia Maia Meireles

Prof.^a. Dr.^a. Ana Célia Maia Meireles (Orientadora/Presidente)

Carlos Wagner Oliveira

Prof. Ph.D. Carlos Wagner Oliveira (Coorientador)
Universidade Federal do Cariri – UFCA

Renato de Oliveira Fernandes

Prof. Dr. Renato de Oliveira Fernandes (Membro externo)
Universidade Regional do Cariri – URCA

Eliakim Martins Araújo

Prof. Dr. Eliakim Martins Araújo (Membro externo)
Instituto Federal do Ceará - IFCE

À minha família que foram a base para concretização deste sonho, especialmente ao meu esposo Iury Same e a minha filha Helena, dedico com amor este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos concedidas, desde a aprovação no momento certo determinado por Ele, até a conclusão deste trabalho. Muito obrigada Pai pela graça derramada e toda provisão durante a construção deste sonho, este trabalho é para honra e glória do seu nome.

Ao meu esposo Iury Same por todo o seu amor, compreensão, apoio e incentivo na caminhada até aqui, sem a sua paciência, suas conversas longas que me faziam se encontrar em meio aos momentos de incertezas, sem os seus conselhos eu não teria conseguido, você tornou a jornada mais leve com suas palavras e presença em minha vida, o meu muito obrigada.

A minha filha Helena a sua chegada a minha vida me fez enxergar o verdadeiro significado de se sentir realizada, você me tornou mãe, o papel mais desafiador e importante para mim. Você com a sua pureza e amor iluminou trazendo alegria aos meus dias me incentivando a continuar acreditando que seria capaz de concluir este sonho.

A minha mãe Maria Aid por suas orações e presença forte em meus dias que sempre me encorajou a estudar, a oferecer o meu melhor e não desistir dos meus objetivos, obrigada por tanto. Ao meu irmão Antônio Luiz por ser um incentivo para mim, me impulsionando a ser uma irmã melhor todos os dias, a quem ele possa se orgulhar e se espelhar.

Agradeço especialmente a minha orientadora Dra. Ana Célia, por toda a sua contribuição neste trabalho, por ter me desafiado a sair da zona de conforto e explorar uma área tão cheia de conhecimentos, que me proporcionou um crescimento profissional enriquecedor. Obrigada por todas as conversas e orientações na UFCA que me motivavam em momentos de desânimo em meio a jornada, sua amizade foi um presente para mim.

Agradeço também ao professor Dr. Carlos Wagner pelas suas contribuições tão importantes na construção deste trabalho, por todas as orientações que me instigavam a aprender mais e vencer os obstáculos de minha pesquisa.

O meu muito obrigada as amigas que construí no mestrado e que levarei para toda a vida, os meus girassóis: Angélica, Igliane, Lays, Tamyres e Ana Ruth. Sem vocês eu não teria conseguido chegar até aqui, nossa rede de apoio se tornou o meu lugar de descanso e compreensão em meio as cobranças internas que me acompanharam em alguns momentos do Mestrado, vocês foram essenciais.

Ao Serviço Geológico dos Estados Unidos pela política de distribuição gratuita de suas imagens de Sensoriamento Remoto.

A CAPES pelo auxílio financeiro e a bolsa de pesquisa.

A todos os professores e funcionários da UFCA que tiveram sua parcela de contribuição no meu desenvolvimento profissional, a todos que contribuíram de alguma maneira para a conclusão deste trabalho, o meu muito obrigada.

“EBENÉZER: Até aqui nos ajudou o Senhor”

(I Samuel 7.12)

RESUMO

O fogo é um processo do sistema ambiental que tem operado por milhões de anos, sendo reconhecido como uma ação recorrente. Esse processo resulta em regimes de fogo que têm efeitos ecológicos diretos e agem como forças seletivas. Além disso, esses regimes são importantes em múltiplos níveis de organização biológica, influenciando populações, comunidades e ecossistemas. No entanto, com o decorrer dos anos, a ação humana tem alterado esse processo natural do fogo, potencializando assim os efeitos climáticos, como a emissão de gases de efeito estufa, degradação florestal, degradação do solo e problemas de saúde humana. Neste sentido, o presente estudo analisa a relação existente entre as ocorrências de incêndios e as variáveis climáticas na APA da Chapada do Araripe no Ceará, utilizando de ferramentas geoespaciais na delimitação e caracterização de áreas com cicatrizes de queimadas de acordo com o grau de severidade, dentro de um cenário de 20 anos de análises, compreendidos entre 2002-2021. De acordo com as variáveis climáticas observadas, é provável estabelecer uma relação significativa existente entre as mesmas e o aumento gradativo dos focos de calor na região da APA no Ceará, onde a distribuição sazonal das médias favorecem de maneira direta a ocorrência de incêndios (temperatura e velocidade do vento, El Niño), e de maneira inversamente proporcional (precipitação, umidade relativa, La Niña). O mapeamento do grau de severidade na APA apresentou resultados relevantes quando associados aos eventos de queima registrados pelos principais meios de informações, onde foi possível visualizar a extensão da área acometida pelo fogo e demonstrar as cicatrizes deixadas sob o solo e como a regeneração ocorreu nos anos seguintes. As diversidades nas características vegetativas predominantes sobre a região destacam o quanto a relação clima-fogo e vegetação-fogo exercem um papel fundamental sobre o regime por ele adotado. Destaca-se a importância de analisar diversas variáveis em conjunto, bem como o emprego de uma série temporal ampla que contemple diferentes eventos climáticos.

Palavras-chave: Queimadas, variáveis climáticas, grau de severidade.

ABSTRACT

Fire is a system process that has operated for millions of years and is recognized as a recurrent action, resulting in fire regimes that have direct ecological effects and act as selective forces, and these regimes are important at multiple levels of organization. biological, influencing populations, communities and ecosystems. However, over the years, human action has altered this natural process of fire, thus enhancing climate effects, such as the emission of greenhouse gases, forest degradation, soil degradation and human health problems. In this sense, the present study analyzes the relationship between the occurrence of fires and climate variables in the APA of Chapada do Araripe in Ceará, using geospatial tools in the delimitation and characterization of areas with scars from fires according to the degree of severity, within a scenario of 20 years of analysis, between 2002-2021. According to the population parameters addressed on climate variables, it is likely to establish a significant relationship between them and the gradual increase in hot spots in the APA region of Ceará, where the seasonal distribution of means directly favors the occurrence of fires (temperature and wind speed, El Niño), and inversely proportional (precipitation, relative humidity, La Niña). The mapping of the degree of severity in the APA showed relevant results when associated with the burning events recorded by the main means of information, where it was possible to visualize the extent of the area affected by the fire and demonstrate the scars left under the soil and how the regeneration occurred in the years following. Diversities in the predominant vegetative characteristics of the region highlight how much the relationship climate-fire and vegetation-fire play a fundamental role in the regime adopted by him. The importance of analyzing several variables together is highlighted, as well as the use of a broad time series that covers different climatic events.

Keywords: Fires, climatic variables, degree of severity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Densidade de focos de calor em Terras Indígenas e em Unidades de Conservação Federais e Estaduais (2013).....	24
Figura 2 - Emissões setoriais do Brasil, em CO ₂ , de 1990 a 2020	27
Figura 3 - Focos de calor entre os anos de 2014 a 2018 na Região de entorno e dentro da Área de Proteção Ambiental da Chapada do Araripe.....	30
Figura 4 - Biomas brasileiros afetados por incêndios em 2020: (A) série histórica do número de focos de fogo, 1999–2020; (B) Área queimada (%) anualmente por bioma; (C) Biomas brasileiros e a densidade de focos de fogo em cada um.	31
Figura 5 - Comparação da resposta espectral de vegetação sadia e áreas queimadas.	38
Figura 6 - Ilustração da intensidade do fogo versus severidade da queima.	39
Figura 7 - Área de estudo - APA Chapada do Araripe, Ceará.	45
Figura 8 - Fluxograma da abordagem selecionada para o estudo (Primeira fase).....	47
Figura 9 - Focos de calor registrados pelo INPE distribuídos durante todos os meses do ano, eixo vertical estão os números dos focos de calor, e no eixo horizontal os anos compreendidos no período de 2002-2021.	50
Figura 10 - Fluxograma da abordagem selecionada para o estudo (Segunda fase).....	53
Figura 11 - Interface da tela inicial do QGIS, versão 3.16.....	58
Figura 12 - Gráfico de distribuição das médias de precipitação e focos de calor durante o período de 2002-2021.....	61
Figura 13 - Gráfico de distribuição das médias de temperatura média compensada e dos focos de calor durante o período de 2002-2021.	63
Figura 14 - Gráfico de distribuição das médias de Umidade relativa do ar (eixo vertical à direita) e focos de calor (eixo vertical à esquerda) durante o período de 2002-2021.....	65
Figura 15 - Gráfico de distribuição das médias da velocidade do vento (eixo vertical à direita) e focos de calor (eixo vertical à esquerda) durante o período de 2002-2021.	67
Figura 16 - Relação das médias mensais de todas as variáveis climáticas e os focos de calor no decorrer de 2002-2021.....	68
Figura 17 - Os valores da correlação existente para os fenômenos climáticos de El Niño, La Niña e Neutro, respectivamente, no período de 2002-2021 em relação aos focos.....	72
Figura 18 - Bloxplot da correlação de Pearson para as variáveis de precipitação, temperatura, umidade e vento respectivamente apresentados no gráfico.	73

Figura 19 - Mapa de classificação para os níveis de severidade de queima para o ano de 2003 na APA Chapada do Araripe.	75
Figura 20: Mapa de classificação para os níveis de severidade de queima para o ano de 2004 na APA Chapada do Araripe.	76
Figura 21 - Mapa de classificação para os níveis de severidade de queima para o ano de 2005 na APA Chapada do Araripe.	77
Figura 22 - Mapa de classificação para os níveis de severidade de queima para o ano de 2019 na APA Chapada do Araripe.	78
Figura 23 - Gráfico total de área queimada (km) de acordo com a classificação dNBR para Gravidade Alta dentro do cenário compreendido entre 2002 e 2021.	79
Figura 24 - Gráfico total de área queimada (km) de acordo com a classificação dNBR para as classes de rebrota aprimorada alta (A) e baixa(B) pós fogo dentro do cenário compreendido entre 2002 e 2021.	80
Figura 25 - Gráfico total de área queimada (km) de acordo com a classificação dNBR para as classes de gravidade baixa e gravidade moderada baixa, dentro do cenário compreendido entre 2002 e 2021.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de eventos de El Niño (vermelho), La Niña (azul) e neutro sem tonalidade usando ION, no período de 2002 a 2021, apresentado trimestralmente através das anomalias de TSM.	49
Tabela 2: Tipos de correlações e seus respectivos coeficientes.	52
Tabela 3: Comprimento de ondas e as respostas espectrais em cada objeto de visualização de acordo com a série LANDSAT 5.	54
Tabela 4: Comprimento de ondas e as respostas espectrais em cada objeto de visualização de acordo com a série LANDSAT 8.	55
Tabela 5: Níveis de gravidade das queimaduras obtidos calculando o dNBR.....	56
Tabela 6: Médias, desvios padrões, diferença de médias (Dif) e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e precipitação comparados no período de 2002-2021...	60
Tabela 7: Médias, desvios padrões, desvios absolutos e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e da temperatura média compensada mensal (C°) comparados no período de 2002-2021.....	62
Tabela 8: Médias, desvios padrões, desvios absolutos e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e umidade relativa do ar (%) comparados no período de 2002-2021.	64
Tabela 9: Médias, desvios padrões, desvios absolutos e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e velocidade média mensal do vento (m/s) comparados no período de 2002-2021.	66
Tabela 10: Médias, desvios padrões, desvios absolutos e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e El Niño comparados no período de 2002-2021.....	69
Tabela 11: Médias, desvios padrões, desvios absolutos e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e La Niña comparados no período de 2002-2021.	70
Tabela 12: Médias, desvios padrões, desvios absolutos e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e Neutro comparados no período de 2002-2021.	71

LISTA DE SIGLAS

CBMCE – Corpo de Bombeiros Militar do Ceará
CDS – Comissão do Desenvolvimento Sustentável
CIOPS – Coordenadoria Integrada de Operações de Segurança
CO – Monóxido de Carbono
CO² – Dióxido de Carbono
dNBR – Differenced Normalized Burn Ratio
ENSO – El Niño-Oscilação Sul
EUA – Estados Unidos da América
FBDS – Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável
FCs – Focos de Calor
FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Chuvas Artificiais
FWI – Fire Climate Index
GEE – Gases de Efeito Estufa
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDS – Indicadores de Desenvolvimento Sustentável
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
LPG – Licença Pública Geral
MCRs – Modelos Climáticos Regionais
MIF – Manejo Integrado do Fogo
MP – Materiais Particulados
NBR – Normalized Burned Ratio
NDVI – Normalized Difference Vegetation Index
NIR – Infravermelho Próximo
NLI – National Land Imaging
ODM – Objetivos do Desenvolvimento do Milênio
ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OLI – Operational Terra Imager
ONU – Organização das Nações Unidas

OSGeo – Open Source Geospatial Foundation
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PREVFOGO – Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais
QGIS – Quantum GIS
RBR – Índice de Queima Relativizada
RCPs – Rotas de Concentração Representativas
SCP – Semi-Automatic Classification
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SSPs – Caminhos Socioeconômicos Compartilhados
SWIR2 – Infravermelho-2 de Onda Curta
TIRS – Thermal Infrared Sensor
TOA – Topo da Atmosfera
UC – Unidades de Conservação
USGS – United States Geological Survey

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	21
2.1 GERAL	21
2.2 ESPECÍFICOS	21
3 REFERÊNCIAL TEÓRICO	22
3.1 A OCORRÊNCIA DO FOGO EM ÁREA FLORESTAL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 22	
3.2 RELAÇÃO DO CLIMA E O FOGO.....	26
3.3 RELAÇÃO DA VEGETAÇÃO E DO FOGO	31
3.4 RELAÇÃO DA ATIVIDADE ANTRÓPICA E O FOGO.....	34
3.5 SENSORIAMENTO REMOTO E A DETECÇÃO DO FOGO	36
3.6 O SEMIÁRIDO E A APA CHAPADA DO ARARIPE.....	41
4 MATERIAL E MÉTODOS	45
4.1 ÁREA DE ESTUDO	45
4.2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	46
4.2.1 <i>Primeira Etapa</i>	46
4.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS.....	47
4.3.1 <i>Variáveis climáticas</i>	47
4.3.2 <i>Classificação de eventos de el Niño e La Niña</i>	47
4.3.3 <i>Focos de calor (FC)</i>	49
4.3.4 <i>Análise estatística</i>	50
4.4 SEGUNDA ETAPA.....	52
4.4.1 <i>Imagens de satélite</i>	53
4.4.2 <i>Mapeamento de áreas de queimadas</i>	55
4.5 SOFTWARE QGIS.....	57
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.1 PARÂMETROS POPULACIONAIS SOBRE AS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS.....	59
5.2 FENÔMENOS DE EL NIÑO; LA NIÑA E NEUTRO E SUA INFLUÊNCIA SOBRE OS FOCOS DE CALOR.	68
5.3 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON.....	71

6 GRAU DE SEVERIDADE.....	74
6.1 ÁREA DE QUEIMA REGISTRADA	78
7 CONSIDERAÇÕES	82
8 RECOMENDAÇÕES.....	83
9 APÊNDICES – A MAPAS DE CLASSIFICAÇÃO PARA OS NÍVEIS DE SEVERIDADE DE QUEIMA NA APA CHAPADA DO ARARIPE	95

1 INTRODUÇÃO

O fogo, desde as épocas mais remotas da civilização, tem sido utilizado para diversos fins, dentre eles, para preparo de terreno visando atividades agrícolas (PEREIRA; SILVA, 2016). Contudo, o uso indiscriminado e a falta de conhecimento sobre o seu manejo tem sido os principais responsáveis por um sério problema ambiental: o incêndio florestal. O fogo causa danos à fauna, flora e ao homem, algumas consequências em destaque são econômicas e ambientais, como queima da madeira, altos custo para combate ao fogo, bem como, a destruição de habitats. O funcionamento dos ecossistemas é sensivelmente afetado pelo fogo, influenciando a sucessão vegetal, a composição e estrutura florestal, o acúmulo de serrapilheira, a ciclagem de nutrientes, a população de insetos, o banco de sementes no solo e a rebrota de espécies arbustivo-arbóreas (ANTUNES, 2013).

Em alguns ambientes, como as savanas, o fogo é um elemento natural, recorrente e essencial para o funcionamento dos ecossistemas e manutenção da biodiversidade. Muitas espécies têm adaptações que conferem resistência aos eventos, tendo floração, dispersão ou germinação de sementes favorecidas após a passagem do fogo. Contudo, em ambientes sensíveis como a floresta tropical úmida o fogo pode causar impactos negativos na diversidade ou mesmo aumentar a susceptibilidade da vegetação a queimadas, afetando significativamente o funcionamento e a diversidade biológica destes sistemas (SCHMIDT et al., 2016).

As características dos incêndios são afetadas pelas complexas interações entre a vegetação, clima e topografia, tendo as ações humanas potencializado seus efeitos ao longo do tempo. Em escalas regionais, o clima, por determinar o teor de umidade do combustível, além da quantidade de biomassa, é o principal controlador das características dominantes dos incêndios, bem como do tipo de vegetação encontrada. Além disso, uso do solo e topografia também afetam a frequência, velocidade de propagação e tamanho das áreas queimadas (CHANG *et al.*, 2015; TORRES et al., 2019).

O Brasil possui a maior diversidade de espécies vegetais no mundo, possuindo seis grandes biomas terrestres: Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado, Pantanal, Pampas e Caatinga. A ocorrência de incêndios na vegetação vem se tornando um problema recorrente, principalmente em biomas secos como caatinga e cerrado. Os desmatamentos e as queimadas são duas das maiores questões ambientais enfrentadas pelo país (MENEZES et al., 2019).

Para a proteção territorial dos ecossistemas florestais e demais formas de vegetação naturais foi criado em 1934 no Brasil, o código Florestal e, a partir deste, a criação de outros instrumentos e tipologias de áreas protegidas foram instituídos no país. Desse modo, em 1946,

tem-se a criação da primeira Floresta Nacional federal, a Floresta Nacional do Araripe-Apodi, no Ceará. E em 1981, tem-se a Lei de Criação das Áreas de Proteção Ambiental (APA). Todavia, somente em 1997 foi criada a APA Chapada do Araripe, que inclui 33 municípios distribuídos no encontro dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí. As APAs são espaços territorialmente demarcados cuja principal função é a conservação e/ou a preservação de recursos, naturais e/ou culturais, a elas associados (MEDEIROS, 2005).

Apesar da importância para ações de prevenção e combate aos incêndios florestais, não existe o registro atualizado de ocorrência de incêndios que permita conhecer o perfil dos incêndios florestais no Brasil. Somente algumas empresas florestais têm mantido registro confiável das ocorrências ao longo dos anos (TETTO *et al.*, 2015). Devido à dimensão da área, torna-se difícil fazer um monitoramento do desenvolvimento contínuo em todo o território, o uso de imagens de satélite que possibilita fazer o monitoramento da cobertura vegetal e pode colaborar com a fiscalização ambiental, tanto na identificação de ações antrópicas que contribuem para a incidência de queimadas, como na visualização de áreas isoladas acometidas pelo fogo.

O sensoriamento remoto é uma das tecnologias que permite estender medições em diferentes escalas temporais e espaciais (CARVALHO *et al.*, 2008). Apresenta-se como uma poderosa ferramenta de auxílio na identificação e compreensão dos fenômenos como o fogo, especialmente com o desenvolvimento de sensores com alta resolução temporal e espectral, e o estabelecimento de longas séries contínuas (SANTANA, 2019). A detecção de fogo a partir de sensoriamento remoto, em geral, é realizada de duas formas específicas, que pode ser através da identificação de focos de calor ou pelo mapeamento de cicatrizes de queimadas (GOUVEIA, 2021).

O mapeamento de cicatrizes é essencial para o conhecimento da extensão das queimadas bem como sua severidade, auxiliando na identificação dos diferentes impactos ambientais ocasionados pelo fogo. Porém em regiões com características específicas de vegetação, à exemplo do Nordeste Brasileiro, o mapeamento das queimadas apresenta grandes desafios (ALCÂNTARA; FERNANDES, 2020).

Existem diferentes metodologias empregadas para o mapeamento de áreas de queimadas com base em imagens de satélite. Porém o processo mais utilizado para a detecção de áreas queimadas incrementa duas operações algébricas: o cálculo do índice espectral, o Normalized Burned Ratio (NBR) (KEY e BENSON, 2006) e Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (ROUSE *et al.*, 1974); em conjunto com a diferença sazonal

analisando as imagens dos índices pré- e pós-queimada, dNDVI (KASISCHKE et al., 1993) e dNBR (KEY & BENSON, 2006).

Com o emprego de séries temporais de sensoriamento remoto, há a possibilidade do monitoramento contínuo dos fenômenos do fogo, de forma rápida auxiliando assim na melhor fiscalização pelos órgãos competentes, contribuindo também na estimativa dos seus impactos principalmente aqueles relacionados a danos a vegetação e a emissão de gases (SANTANA, 2016).

No estado do Ceará, nordeste do Brasil, a época de maior incidência de queimadas e incêndios florestais é o segundo semestre do ano, período de estiagem na região. As condições climáticas favoráveis como baixa umidade, alta temperatura do solo e do ar, vegetação seca e o uso intensivo do fogo na preparação das terras para os cultivos agrícolas, são fatores de maior influência no regime, intensidade e extensão das queimadas.

Na região do Cariri cearense, onde encontra-se a APA Chapada do Araripe, constitui-se, um ambiente provido de recursos naturais: água, solo e vegetação, com o aproveitamento inegavelmente necessário à economia da região. Possui uma vegetação com características bem diversificadas, com formações de Floresta Úmida, Cerradão e Carrasco e Caatinga, com climatologia, em algumas estações, distinta do restante da região do estado, dificultando a operação e caracterização climática na APA (DA SILVA, 2013).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar qual a relação existente entre as ocorrências de incêndios e as variáveis climáticas na APA da Chapada do Araripe no Ceará, bem como das cicatrizes de queimadas, de acordo com o grau de severidade, dentro de um cenário de 20 anos de análises, compreendidos entre 2002-2021.

2.2 Específicos

- Realizar o levantamento de dados históricos sobre a ocorrência de fogo na região de estudo;
- Correlacionar dados climáticos (variáveis e anomalias) com as ocorrências de fogo na região da APA da Chapada do Araripe no estado do Ceará durante os 20 anos de análises;
- Identificar os focos de incêndio via satélite, sobre a região no período selecionado e avaliar a sua relação com as variáveis climáticas: temperatura média compensada mensal (C°), precipitação total mensal (mm), umidade relativa do ar (%) e velocidade vento média mensal do vento (m/s);
- Comparar a incidência dos fenômenos de El Niño; La Niña e Neutro e sua relação com a ocorrência dos focos de calor dentro do cenário selecionado;
- Identificar e delimitar áreas pós-fogo através das cicatrizes de queimadas;
- Avaliar o total de área queimada na APA ao longo dos anos.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 A ocorrência do fogo em área florestal e o desenvolvimento sustentável

O fogo é reconhecido como um processo recorrente do sistema, que tem operado por muitos milhões de anos, resultando em regimes que têm efeitos ecológicos diretos e agem como forças seletivas, moldando traços de espécies vegetais ao longo das histórias de linhagens inteiras (HE; LAMONT; PAUSAS, 2019). Além disso, os regimes de fogo são importantes em múltiplos níveis de organização biológica, influenciando populações, comunidades e ecossistemas.

Há uma incrível diversidade de regimes de fogo na Terra. A heterogeneidade espacial e temporal dos regimes de fogo tem sido examinada em contextos ecológicos como biodiversidade funcional e teias alimentares (BOWMAN et al., 2016). No entanto, ainda restam uma série de questões sobre as causas e consequências ecológicas da variação dos regimes de fogo. Os regimes de fogo são descritos com uma série de métricas, incluindo frequência de incêndio (intervalos médios de retorno específicos ou períodos de rotação de fogo baseados em área), tamanho, sazonalidade, intensidade (a taxa de liberação de energia), gravidade (os impactos diretos do fogo), tipo (solo, superfície, coroa, misto) e modo de combustão (flamejante ou ardente; KEELEY; BOND; BRADSTOCK; PAUSAS; RUNDEL, 2012).

A ocorrência do fogo tem se apresentado de duas formas. Em primeiro lugar, muitos incêndios são planejados por pessoas, devido à importância tanto da manutenção de sistemas adaptados ao fogo, quanto da longa história de uso do fogo como ferramenta de gerenciamento (RYAN; KNAPP; VARNER, 2013). Em segundo lugar, o uso da terra e as mudanças climáticas contínuas estão alterando características dos incêndios individuais e mudando os regimes de fogo, em alguns casos empurrando-os para fora da faixa histórica de variabilidade em termos de frequência, tamanho, sazonalidade ou gravidade (MILLER et al., 2019; WALKER et al., 2018).

A atividade de fogo passado é interpretada a partir de fontes históricas, como registros observacionais e áreas de área queimada (MORGAN; LOSEY; TROUT, 2014). Poucos conjuntos de dados observacionais de fogo passado são espacialmente contíguos. Além da necessidade de maior cobertura espacial, períodos com anomalias climáticas podem fornecer importantes cenários de mudança da atividade do fogo. A detecção e quantificação da variação nos regimes de fogo é o primeiro passo para compreender e prever sua sensibilidade às mudanças ambientais e às consequências ecológicas associadas. A intensidade ou severidade

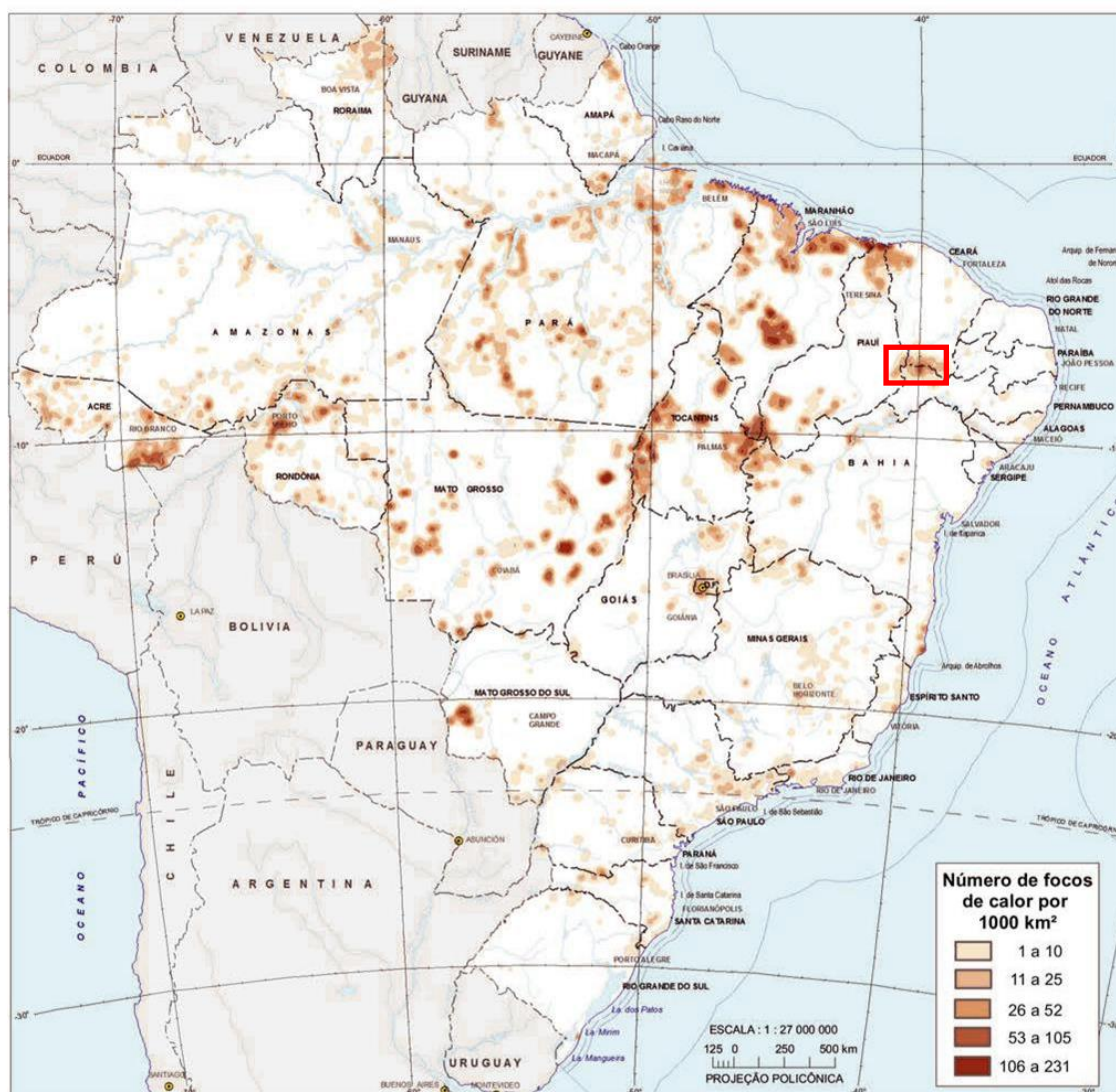
das queimadas está diretamente relacionada com os processos de degradação do solo como perdas por erosão e desequilíbrio na oferta de nutrientes o que pode ocasionar o comprometimento da capacidade de regeneração da biodiversidade (CAPECHE, 2012).

Nesse contexto, o desenvolvimento sustentável não se refere especificamente a um problema limitado de adequações ecológicas de um processo social, mas à uma estratégia ou um modelo múltiplo para a sociedade, que deve levar em conta tanto a viabilidade econômica como a ecológica (JACOBI, 2003). Um dos grandes desafios encontrados ao longo do tempo foi a criação de instrumentos de mensuração e acompanhamento do crescimento nas dimensões ambientais, sociais, econômicas e institucionais, surgindo assim a necessidade da implantação de uma ferramenta de avaliação do progresso alcançado, os indicadores de desenvolvimento sustentável (IDS).

Estudos desenvolvidos pelo IBGE (2015) buscando a construção desses instrumentos, tomam como base os indicadores apresentados pela CDS (Comissão do Desenvolvimento Sustentável), porém adaptando à realidade brasileira. Desde 2002 até 2015 foram criadas séries de dados estatísticos e descrições metodológicas de cada indicador, no total foram elaborados 63 indicadores. Dessa forma, os IDS são distribuídos em quatro dimensões: ambiental (19 indicadores), social (21 indicadores), econômica (11 indicadores) e institucional (12 indicadores).

As queimadas e incêndios florestais estão inseridos na dimensão ambiental como sétimo indicador. Neste indicador são disponibilizados dados comparativos e observados das variáveis focos de calor e os territórios de ocorrências dos incêndios, como pode ser observado na Figura 01. Na imagem identifica-se um número acentuado de focos para a região Sul do estado do Ceará, localização da Chapada do Araripe.

Figura 1 - Densidade de focos de calor em Terras Indígenas e em Unidades de Conservação Federais e Estaduais (2013).



Fonte: Adaptado de BRASIL, 2015.

Em suma, os indicadores são parâmetros que permitem aos gestores e a sociedade civil, avaliar o andamento e o impacto de determinados eventos ou ações em um ambiente, como também verificar se o desenvolvimento está ocorrendo de maneira sustentável sobre as diversas dimensões e áreas estabelecidas. De maneira interdisciplinar os IDS possibilitam o cruzamento de dados entre si, proporcionando uma visão ampla dos cenários discutidos em cada dimensão, estabelecendo assim orientações mais precisas.

Diante dos objetivos e temas destacados nesta pesquisa, pode-se apontar 2 objetivos aqui relacionados: ODS 13 – *Combate às alterações climáticas* e ODS 15 – *Vida sobre a terra*. De acordo com o documento elaborado para a Agenda 2030, um plano de ação colaborativo

com o intuito de discorrer todas as metas relacionadas aos 17 objetivos podemos estabelecer que:

Objetivo 13: Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e os seus impactos: intenta reforçar a recuperação e a capacidade de adaptação a riscos advindos do clima e de catástrofes naturais em todos os países; direcionar medidas políticas de planejamento nacional quanto às mudanças climáticas; aprimorar a educação dos povos sobre a mitigação, adaptação e redução de impactos da mudança climática; colocar em prática o compromisso assumido pelos países desenvolvidos sobre a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre mudança climática.
Objetivo 15: Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2016).

Os incêndios florestais têm uma vasta incidência ao longo dos diferentes biomas, das unidades de conservação (UC), das áreas de preservação, das áreas de reflorestamento, das fazendas, ou até mesmo margens de estradas e proximidades de aglomerados urbanos, ocasionando em muitos casos, diversos prejuízos ecológicos, paisagísticos e econômicos (Costa et al, 2009) tornando-se imprescindível o conhecimento e acompanhamento destes eventos.

O monitoramento e entendimento das ocorrências de focos de queimadas são essenciais para compreender a sua interação com os processos ecológicos e os impactos provenientes das atividades humanas em múltiplas escalas espaciais de análise, gerando informações que podem subsidiar alternativas estratégicas para a conservação da biodiversidade e do solo e, a redução das emissões de carbono (BARBOSA, 2022).

Diversos impactos estão diretamente relacionados com os focos de incêndios, dentre eles destaca-se a alteração da estrutura da vegetação, mortalidade de espécies, perda de biodiversidade e em casos recorrentes de queimada, a degradação permanente da área (ARAÚJO et al., 2013).

Conforme Bento-Gonçalves et al., (2012):

Os impactos do fogo também são verificados no solo, aqueles com baixa severidade podem trazer benefícios como a renovação da vegetação dominante ao eliminar espécies indesejadas e o aumento de pH e nutrientes, porém as queimadas de alta intensidade ou com alta recorrência podem causar alterações físicas, físico-químicas, mineralógicas e biológicas do solo, tornando-o menos capaz de absorver água e aumentando a erosão além de eliminar a matéria orgânica e nutrientes.

Além disso é relevante destacar a relação clima-fogo nesse processo, identificando áreas mais sensíveis às queimadas provocada pelo tipo de material combustível, estando associado diretamente ao tipo de floresta, uma vez que os ecossistemas podem ser arrançados em um gradiente de nível de aridez ao longo do qual o fogo é restringido pela disponibilidade

de combustível e pelo potencial da ocorrência da queima causado pela seca (BEDIA et al, 2015).

3.2 Relação do clima e o fogo

O comportamento do fogo pode ser determinado pelos fatores de influência sobre ele, como o tipo de ecossistema, a topografia do relevo, os combustíveis e o clima predominante na região. Destes fatores, o clima é considerado o mais dinâmico (JOLLY et al., 2015). Diversos estudos confirmam que o clima é o fator preponderante na propagação dos incêndios florestais, destacando os demais elementos como fatores demasiadamente influenciados também pelo clima (TORRES, DA SILVA JÚNIOR; LIMA, 2019).

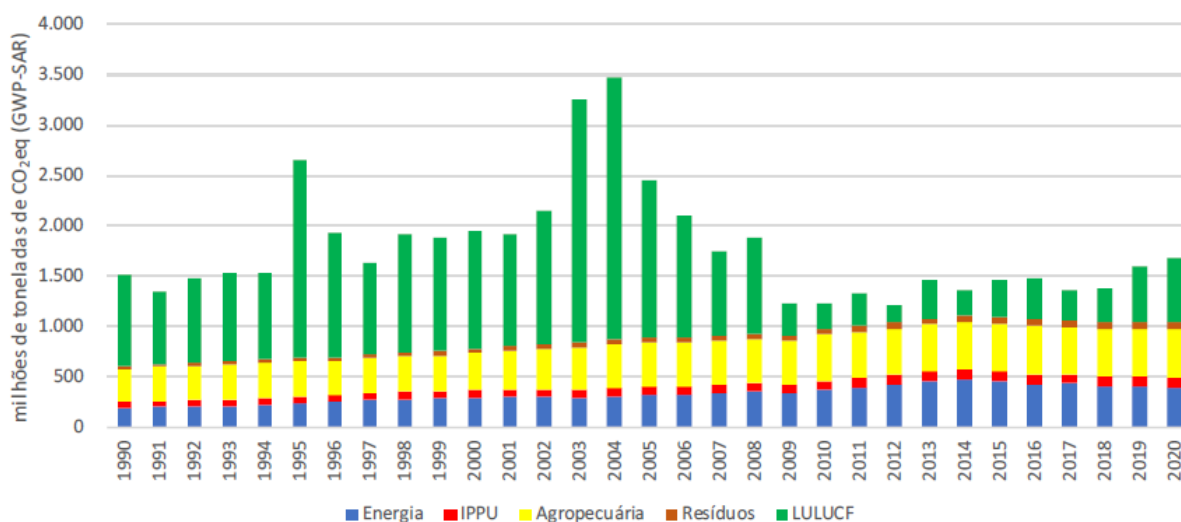
As queimadas contribuem para o agravamento das mudanças climáticas (IPCC, 2019). A incidência de incêndios graves provavelmente aumentará no futuro, isso devido aos efeitos das mudanças climáticas, ocasionando eventos climáticos mais extremos, como temperaturas altas e secas. Estudos apontam que as alterações climáticas afetarão a vida das pessoas e ecossistemas em todo o planeta surtindo efeitos nos mais diversos setores - na saúde, na economia, na biodiversidade, na disponibilidade de recursos naturais, energia, entre outros (CGEE, 2016).

Durante o processo de queima alguns gases são emitidos como o Dióxido de Carbono (CO₂), influenciando a capacidade da atmosfera em reter calor, modificando assim o padrão climático do planeta (BOWMAN et al., 2009). Aproximadamente 40% das emissões globais de carbono negro são resultantes da queima de biomassa (BOND et al., 2004), sendo considerado como o segundo maior contribuinte para o aquecimento global depois do dióxido de carbono (RAMANATHAN E CARMICHAEL, 2008). Outros exemplos de elementos emitidos são o monóxido de carbono (CO) e os materiais particulados (MP) que causam impactos severos na saúde humana quando respirados em grandes quantidades (RIBEIRO & ASSUNÇÃO, 2002).

O Brasil é considerado o quinto maior país em extensão territorial, e tem chamado a atenção global pela prevalência de incêndios e emissões de gases de efeito estufa (GEE), ocupando a quarta posição no ranking dos países emissores, (FBDS, 2022). Este é um dos fatores determinantes para a perda da biodiversidade, que impacta significativamente as funções do ecossistema, como regulação climática regional, estabilidade hidrológica e ciclos biogeoquímicos (ALENCAR et al., 2020). Dentre as atividades humanas que mais contribuem com as emissões de GEE, destaca-se a queima de biomassa resultante da conversão de florestas e savanas para outros usos da terra e da queima de resíduos de práticas agrícolas, e pecuárias (LOMBARDI, 2009). De acordo com MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação), o

setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF) são considerados os maiores emissores de gases ao longo dos anos, Figura 2.

Figura 2 - Emissões setoriais do Brasil, em CO₂, de 1990 a 2020



Fonte: MCTI, 2022.

Práticas insustentáveis afetam negativamente a capacidade dos ecossistemas, indivíduos, sociedades e comunidades de se adaptarem às alterações no clima. As mudanças climáticas, incluindo aumentos na frequência e intensidade de eventos extremos, reduziram a segurança dos ecossistemas, dificultando os esforços para atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (IPCC, 2022).

Diversas pesquisas buscam encontrar estratégias adaptativas que possam colaborar na compreensão dos fenômenos do fogo e os seus impactos sobre os seres vivos. Porém, torna-se necessário uma sensibilidade quanto aos diferentes caminhos e mecanismos a serem empregados de acordo com cada região, ou seja, para entender e modelar futuros processos ecossistêmicos, riscos naturais e ciclos biogeoquímicos sob um clima em mudança (HESSL, 2011) é necessário uma compreensão dos diferentes ambientes e como as variáveis de influência sob o regime do fogo se comportam.

Pesquisas apontam que desde 1990 estudos que avaliem a relação existente entre o incremento das mudanças climáticas e a incidência de incêndios são desenvolvidos no intuito de gerar modelos empíricos de risco de incêndio futuro. Esses modelos projetam relações empíricas entre o clima passado e a atividade do fogo, aplicam essas relações às condições climáticas projetadas para cenários futuros de simulação através dos modelos climáticos regionais reduzidos (RM_sC) (HESSL, 2011).

Nos Estados Unidos, resultados apresentados por Westerling et al., (2006), apontaram um aumento gradativo da atividade de fogo no final do século 20, diretamente relacionado a temperaturas mais elevadas, derretimento de neve, e uma estação de fogo mais longa. Em um estudo feito no Brasil por Silva et al. (2016) foi realizada uma avaliação da sensibilidade do regime de incêndios florestais em biomas brasileiros às mudanças no clima regional durante o século XXI, para um cenário intermediário (RCP4.5) utilizando o modelo EC-Terra.

LI et al., (2021) analisou a ocorrência de incêndios no ano de 2015 no Brasil e sua relação com as mudanças climáticas induzidas pelo homem, através do índice de clima de incêndio (FWI), concluíram que a mudança climática antropogênica é, de fato, um impulsionador das condições meteorológicas propícias ao forte clima de incêndio no Cerrado e na transição sul da Amazônia.

Para validar os diferentes modelos empíricos para a identificação do regime de incêndios são necessários longos períodos de dados, porém o acesso a esses dados torna-se um desafio, devido a limitação no registro de ocorrências. Nesse sentido, os estudos de mudanças climáticas e do fogo devem levar em consideração essas variáveis de influência sobre as análises (HESSL, 2011).

Os impactos do fogo provavelmente se tornarão mais intensos sob condições de mudanças climáticas e com fatores antropogênicos mais fortes, subjacente à necessidade de desenvolver estratégias de gestão (PIVELLO, 2021). Nesse sentido, as pesquisas científicas assumem um papel importantíssimo na compreensão desses fenômenos e na elaboração de ferramentas que contribuam na construção de um planejamento estratégico preventivo.

Segundo Macedo e Sardinha (1985), a determinação do período mais propício aos incêndios é considerada como uma ferramenta indispensável na construção de estratégias de prevenção para a diminuição de prejuízos, riscos e custos em seu combate. Nesse sentido, a variabilidade climática durante as estações do ano pode influenciar de maneira positiva ou negativa sobre a ocorrência de incêndios.

Um estudo realizado por Silva et al. (2021), constatou que existe uma relação direta entre a ocorrência de incêndios florestais e as condições meteorológicas, ambientais e culturais das comunidades cearenses, indicando que o problema é sazonal e passível de mitigação por parte das autoridades competentes.

No Brasil, o maior registro de incidência de focos de calor (FCs), ou “focos de queimadas”, acontece de junho a outubro, esta ocorrência pode estar diretamente relacionada com índices baixos de precipitação na região Nordeste do País, característico dessa época. Segundo Justino, Souza e Setzer, (2002):

Nestas condições, parte da vegetação em seu ciclo fenológico tende a perder as folhas, reduzindo assim a evapotranspiração. Com a queda das folhas abre-se no dossel espaço para a penetração da radiação solar que seca ainda mais gravetos, galhos e folhas, aumentando a flamabilidade da floresta. Provocando alterações climáticas que aumentam o potencial de risco de queimadas e incêndios acidentais na cobertura vegetal.

A variabilidade da precipitação na região do Nordeste brasileiro tem sido associada às anomalias de Temperatura de Superfície do Mar (TSM) do Pacífico equatorial que, onde na fase positiva (El Niño), favorece a redução da precipitação pluviométrica sobre esta região, enquanto na fase negativa (La Niña) contribui para a ocorrência de chuvas, algumas vezes acima da média histórica (ANDREOLI E KAYANO, 2007).

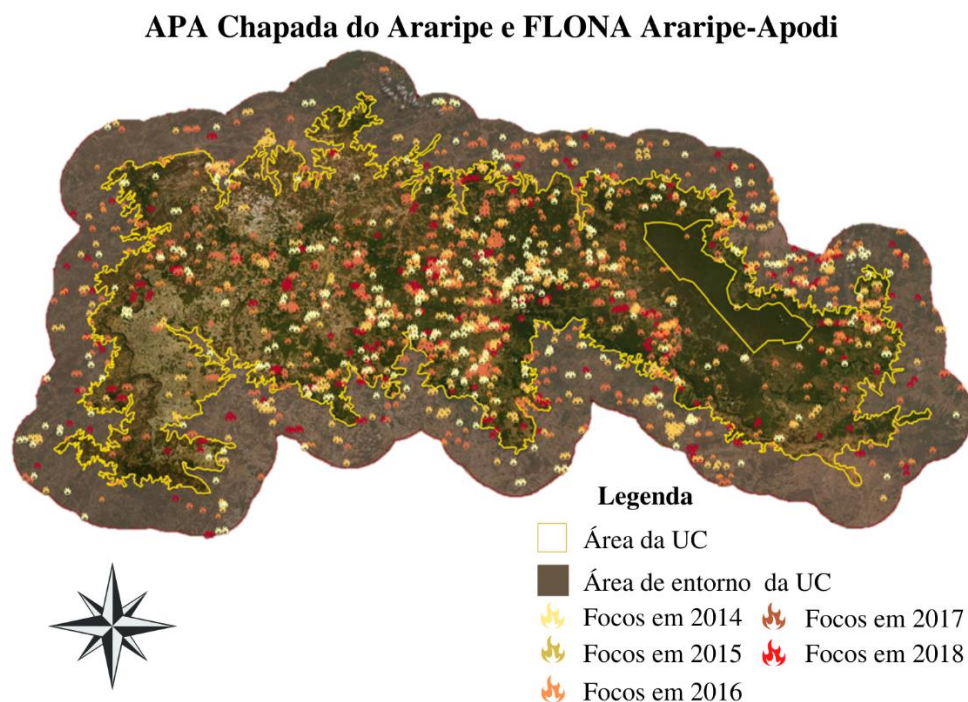
De acordo com Teodoro et al. (2022), os fenômenos El Niño-Oscilação Sul (ENSO) estão diretamente relacionados com as tendências de focos de incêndios, devido a sua contribuição nas alterações climáticas como precipitação, temperatura da superfície terrestre e índice de precipitação padronizado.

Esta influência é caracterizada pelas variações ocorridas dentro de cada fenômeno. Menezes et al. (2008) afirmam que a união do El Niño com a Oscilação Sul (ENOS) e o Dipolo do Atlântico Tropical afetam diretamente o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que, por sua vez, influencia na distribuição das chuvas sobre o Nordeste do Brasil, ocasionando uma redução nas estações chuvosas.

Marcuzzo e Romero (2013) afirmaram que os fenômenos El Niño e La Niña exercem um papel importante nas anomalias de distribuição temporal de precipitação pluviométrica ocasionando um aumento ou diminuição da precipitação em períodos de variação acentuada na temperatura média do oceano Pacífico. Para Sousa et al. (2015), o impacto causado pelo fenômeno El Niño ou La Niña, dependendo da sua intensidade pode resultar em secas, enchentes severas, interferindo de forma significativa nas atividades econômicas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, aumentando a vulnerabilidade da população.

A precipitação é considerada como uma das variáveis de maior influência na ocorrência de focos incêndios. De acordo com Benjamin et al., (2019) em uma análise realizada sobre as Unidades de Conservação (UC) do Brasil, observou-se que no bioma da Caatinga, os focos de calor e a precipitação são inversamente proporcionais, principalmente no mês de Outubro, período comumente de seca na região. O estudo destacou a Área de Proteção Ambiental da Chapada do Araripe como a UC de maior incidência focos, totalizando 1.281 entre 2014 e 2018 (Figura 3).

Figura 3 - Focos de calor entre os anos de 2014 a 2018 na Região de entorno e dentro da Área de Proteção Ambiental da Chapada do Araripe.



Fonte: Adaptado (BENJAMIN et al., 2019)

Ecosistemas caracterizados pela baixa umidade, períodos longos de estiagem e temperaturas elevadas são ambientes propícios a propagação de incêndios (ARGIBAY, SPARACINO, ESPINDOLA, 2020). Quando a temperatura ambiente se eleva e a umidade relativa do ar diminui, o poder evaporativo nos vegetais é intensificado, tornando-os mais secos e, conseqüentemente, mais combustíveis. Desta forma, cria-se um cenário propício à propagação de incêndios, onde os ventos alimentam a combustão e direcionam os incêndios (TORRES, 2006).

O cenário crítico propício ao fogo é caracterizado principalmente pela baixa umidade relativa do ar, que proporciona uma maior propagação de incêndios; já a variável de temperatura, quanto maior o registro de elevação nas taxas de temperatura, mais favorável o ambiente para incidência de queima.

Contudo, observa-se que, por mais que uma variável tenha mais influência sobre o regime do fogo, não se pode atrelar o comportamento do mesmo à apenas uma variável

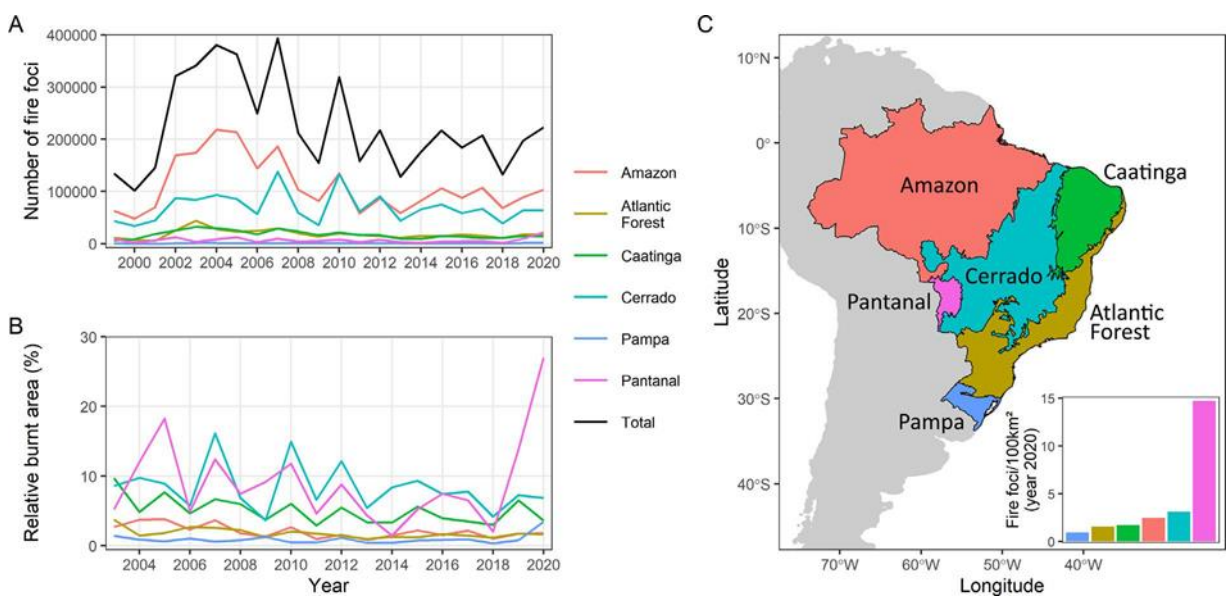
climática, de maneira isolada, esta compreensão depende da atuação conjunta de todas as variáveis (TORRES, DA SILVA e LIMA, 2019).

Dessa forma, a correta compreensão da associação existente entre a ocorrência de incêndios e sua resposta às condições climáticas, poderão antecipar situações perigosas ou impactos de grande magnitude, antecipando estratégias adequadas sobre a gestão de combustíveis e dos incêndios (LINN et al., 2012). Nesse sentido, análises que considerem estas variáveis de influência (precipitação, umidade relativa e temperatura máxima) se tornam indispensáveis na compreensão do comportamento dos processos de queima e na construção de medidas preventivas e adaptativas ao fogo.

3.3 Relação da vegetação e do fogo

Queimadas em diferentes biomas brasileiros tem sido alvo no debate público e nas mídias sociais, onde na maioria das vezes a Amazônia tem lugar de destaque como símbolo desse desmatamento. Porém, existem outras regiões que são bastante afetadas pelas consequências que o fogo ocasiona. A exemplo do Pantanal, que recentemente sofreu um triste recorde de queima da maior área registrada nos últimos 20 anos: quase 30% da área do bioma estava em chamas (PIVELLO et al, 2021). A Figura 4 apresenta a intensidade e a gravidade das áreas afetadas pelas queimadas em cada bioma, através de uma série histórica de 20 anos.

Figura 4 - Biomas brasileiros afetados por incêndios em 2020: (A) série histórica do número de focos de fogo, 1999–2020; (B) Área queimada (%) anualmente por bioma; (C) Biomas brasileiros e a densidade de focos de fogo em cada um.



Fonte: PIVELLO et al., 2021.

A sensibilidade e a dependência ao fogo são elementares quanto ao grau de vulnerabilidade do ecossistema, sendo determinados pelo regime do fogo que podem ser naturais ou modificados por ações antrópicas. Segundo Pivello et al, (2021) os biomas e ecossistemas diferem em sua resposta ao fogo, onde:

Ecossistemas caracterizados pela dominância de gramíneas - campos e savanas - coevoluíram com o fogo, e suas plantas e animais apresentam diversas adaptações e sinergias com o fogo; portanto, são considerados como dependentes do fogo do ponto de vista ecológico. O oposto é verdadeiro para as florestas tropicais do país que não são adaptadas ao fogo e não queimam facilmente, a não ser quando sofrem secas extremas ou degradação que podem torná-las mais vulneráveis ao fogo. Quando essas florestas queimam, o fogo pode causar graves efeitos negativos em sua biodiversidade e, portanto, são consideradas sensíveis ao fogo. Em geral, os ecossistemas dependentes do fogo se beneficiam dos incêndios para a manutenção de sua biodiversidade e processos ecológicos, enquanto o oposto ocorre no caso de ecossistemas sensíveis ao fogo.

Dessa forma, compreende-se que um ecossistema é impactado pelo fogo através do regime existente, no qual a intensidade, o padrão, a frequência e a extensão das queimadas são fatores de maior influência na gravidade, assim algumas regiões são consideradas mais susceptíveis aos impactos ocasionados pelos incêndios, em contrapartida outras necessitam do equilíbrio entre o uso adequado fogo em seus biomas.

A concentração de incêndios na América do Sul, bem como na África e Austrália, está associada com seus vastos ecossistemas de savana, caracterizados por longas estações secas, altas temperaturas e baixa precipitação. Em contraste, a diversidade e o tamanho das espécies vegetais encontradas em florestas tropicais, bem como seu período mais curto de seca, tendem a reduzir a frequência de fogo e se espalhar (GANASSOLI NETO, 2018).

No bioma Cerrado, os incêndios são parte integrante da sua evolução, e ocorrem com muito maior intensidade nesse bioma do que na Caatinga. O Cerrado é um bioma com formação vegetal aberta, rica em biomassa e situado em áreas com clima caracterizado pela ocorrência de estação seca bem definida, portanto sujeito à ação do fogo natural – ou a uma maior propagação do fogo, uma vez sendo iniciado por fatores antrópicos, sejam propositais, sejam acidentais.

Na Amazônia, esta não conta com combustão espontânea ou provocada por fatores naturais para a ocorrência de incêndios, uma vez que esta é uma floresta pluvial, onde a copa fechada da mata, bem como a serrapilheira úmida, impedem a proliferação do fogo, que só existe se for artificialmente instalado.

A Caatinga, por sua vez, situa-se em clima Semiárido, e poderia contar com uma maior ocorrência de incêndios na sua evolução, face à condição de permanente baixa umidade do ar e temperaturas elevadas. Tal fato no entanto não ocorre, provavelmente porque a vegetação é rala. Assim, tanto quanto a Amazônia, a Caatinga não conta com combustão espontânea na sua evolução histórica e cotidiana (SALES, 2019).

A Caatinga apresenta, assim, focos de incêndios associados com o uso e ocupação a que está sujeita. São resultantes sobretudo das queimadas para a limpeza de terreno, visando o plantio para um novo ano de cultivo. A queimada é uma técnica de limpeza do solo, diferente do incêndio propriamente dito, que é caracterizado por fogo descontrolado. Com frequência, no Brasil, incluindo o Nordeste, esses dois processos acham-se associados (SALES, 2019).

Na Caatinga, é ainda o homem simples do campo, sem alternativas tecnológicas por falta de apoio dos organismos de gestão do território e pela carência pessoal de recursos para investir em outras alternativas, que produz a maior parte dos focos de incêndio, a partir da limpeza do terreno com fogo (SALES, 2019).

Existe ainda, os incêndios produzidos por caçadores, bem como em setores de mineração, em áreas de preservação ambiental (por meio do descarte de pontas de cigarro por usuários, por exemplo), e ainda incêndios causados por combustão oriunda de veículos em margens de estradas. Com certeza, ocorre também o incêndio simplesmente criminoso, visando destruição da cobertura vegetal.

Maciel (2010) ressalta que a Caatinga é o bioma mais ameaçado do Brasil, depois da Mata Atlântica e do Cerrado, e que as poucas áreas não alteradas formam arquipélagos. As queimadas são recorrentes em todo o Brasil, de acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, dos 5075 focos de queimadas registrados em dezembro de 2018, o Bioma Caatinga concentrou 31% desses focos, ficando em terceiro lugar de destaque nesses eventos de queimadas. Ressalta-se que o Ceará emplacou a marca de 723 focos de incêndios nesse mesmo mês do ano de 2018 (INPE, 2019).

Os incêndios são desastrosos, pois matam a fauna, ou obriga animais a abandonarem seus habitats. Em adição, empobrecem os solos – e os solos, tanto na Amazônia quanto na Caatinga, já são naturalmente pobres e pouco desenvolvidos, necessitando de longo período de tempo para se recomponem, se isso um dia vier a acontecer.

Os incêndios também destroem pastos e outros cultivos, além de cercas, infraestruturas e equipamentos diversos. Causam ainda poluição do ar, com graves consequências para a saúde humana, implicando em gastos hospitalares e acidentes diversos, inclusive com fatalidades.

As potenciais diferenças nas características do fogo, entre regiões diferentes, precisam ser consideradas quando do planejamento otimizado e adoção de medidas geograficamente específicas de prevenção de incêndios (ZUMBRUNNEN et al., 2011). Para Chang et al. (2015), as características dos incêndios florestais geralmente incluem frequência, tamanho e padrão do fogo. Frequência é o número de eventos dentro de uma área especificada durante um determinado período de tempo; tamanho refere-se à extensão da área queimada; e padrão de fogo é a distribuição espacial das ocorrências. Para os autores, estes fatores são afetados pelas complexas interações entre a vegetação, clima, topografia e atividades antrópicas ao longo do tempo.

Nesse sentido, as pesquisas científicas assumem um papel importantíssimo na compreensão desses fenômenos e na elaboração de ferramentas que contribuam na construção de um planejamento estratégico preventivo.

3.4 Relação da atividade antrópica e o fogo

Acredita-se que a prática de atear fogo para preparo do solo resulta das *plantations*, que passaram a dominar a agricultura brasileira a partir da colonização, entre elas o algodão, a cana de açúcar, o café e a soja (LEONEL, 2000). Desta forma, as práticas agrícolas são uma das principais precursoras do fogo.

Dentre as atividades relacionadas a agricultura, a queima é uma das práticas culturais mais presentes e difundidas no Brasil, sendo utilizada em sistema de produção primitivo ou convencionais por indígenas, caboclos, ribeirinhos, populações pobres rurais, pequenos produtores, em sistema de agricultura familiar, e também em sistemas de alto níveis de tecnicidade.

De acordo com Redin et al. (2011), no Brasil, queimadas podem estar diretamente correlacionadas com a pecuária e a agricultura. Esse processo de desmatamento é geralmente empregado em regiões onde o conhecimento técnico é precário, no qual este método é suficiente devido a sua praticidade, rapidez e baixo custo.

O regime natural do fogo é constantemente alterado pelas ações humanas, onde a sua influência direta está ligada as práticas existentes em seu manejo, no qual devido à falta de conhecimento prévio para sua execução ocasionam diversos efeitos negativos, impactando não apenas a biodiversidade, mas também os processos e serviços ecossistêmicos para as populações humanas (PIVELLO et al, 2021).

Uma contextualização pertinente é a diferenciação entre queimadas e incêndios. As queimadas são práticas utilizadas para limpeza em áreas de fácil contenção, em proporções menores onde o controle do fogo é viável, também são destinadas para manejar sistemas agrícolas ou de pastagem, ou como parte de sistemas de corte e queima. No Brasil, são consideradas legais, desde que possuam a devida autorização. Já os incêndios florestais, podem ser iniciados por ações naturais, através dos raios solares sobre o solo, descargas elétricas ou por intermédio de ações antrópicas ocasionadas de maneira direta ou indireta.

A necessidade de um meio-termo, entre o controle das queimadas e a prevenção de incêndios florestais, refere-se à uma problemática que ultrapassou a linha temporal, isto é, mesmo com a criação de sistemas de monitoramento, políticas e leis que instituem medidas preventivas para o combate de incêndios, existe uma lacuna na aplicação efetiva da lei no combate ao desmatamento e ao fogo (CARDIL et al., 2020).

Um passo importante na construção de um equilíbrio no uso adequado do fogo e no controle e monitoramento dessas atividades, é a devida compreensão do que difere queimadas de incêndios. Uma vez que, o uso do fogo como técnica para determinadas atividades em algumas regiões do país não é considerado um ato ilegal, desde que haja uma licença e um rigoroso monitoramento para isso, as queimadas são admitidas para garantir um crescimento econômico. Enquanto os incêndios florestais, são considerados crimes ambientais, pois não possuem autorização para sua prática.

De acordo com a lei número 12.651/12 do novo código florestal (Brasil, 2012), é proibido o uso do fogo em vegetações, porém com algumas exceções é permitida com a devida autorização do órgão competente, como: em locais ou regiões cujas peculiaridades justifiquem o emprego do fogo; emprego da queima controlada em unidades de conservação para conservar a vegetação nativa, como no caso de ecossistemas dependentes do fogo, e para atividades de pesquisa científica.

Diante deste cenário, as queimadas são legais, porém dependem de uma gestão adequada do fogo, sendo admitidas na perspectiva de um desenvolvimento sustentável, levando em consideração o respeito a biodiversidade. Os direitos resguardados da humanidade só podem ser garantidos a longo prazo, se houver um comprometimento da geração atual na conservação e proteção da diversidade na natureza (SACHS, 2002).

No Brasil, há uma necessidade urgente de um monitoramento adequado da atividade do fogo e de uma participação ativa da política nacional de incêndio, tanto na definição de diretrizes quanto na implementação de estratégias para planos de manejo do fogo, uma vez que esse tema ainda é pouco considerado no âmbito das políticas de conservação brasileiras

(ALVES E CABELLO, 2017). Apesar da implantação de programas de prevenção e combate aos incêndios florestais, não existe um registro atualizado que permita conhecer o perfil dos incêndios florestais no Brasil. Somente algumas empresas florestais têm mantido registro confiável das ocorrências ao longo dos anos (TETTO et al., 2015).

3.5 Sensoriamento Remoto e a detecção do fogo

O sensoriamento remoto apresenta-se como uma poderosa ferramenta de auxílio na identificação e compreensão dos fenômenos como o fogo, especialmente com o desenvolvimento de sensores com alta resolução temporal e espectral, e o estabelecimento de longas séries contínuas (SANTANA, 2019). A detecção de fogo a partir de sensoriamento remoto, em geral, é realizada de duas formas específicas, que pode ser através da identificação de focos de calor ou pelo mapeamento de cicatrizes de queimadas.

Um desafio na construção de metodologias de controle de incêndios, é a quantificação do tamanho das regiões afetadas. De acordo com Vedovato (2015), conhecer a extensão da região queimada é de extrema necessidade para mensurar as proporções do impacto causado pelos incêndios, principalmente em áreas florestais.

Avanços na resolução temporal e espacial de imagens de satélite de observação da Terra levaram a descrições sem precedentes da recente atividade de fogo na escala global. Esses métodos utilizam observações por satélite de atividade de fogo ou imagens pré e pós-incêndio, com diferentes níveis de observações de campo para verificação do solo. A detecção diária de incêndios forneceu novas percepções sobre a sazonalidade das queimadas (GIGLIO; CSISZAR; JUSTICE, 2006; ROY; BOSCHETTI; JUSTICE; JU, 2008), e a influência da duração da temporada no tamanho do fogo bem como na área total queimada (ANDELA et al., 2019). A extensão global dos produtos baseados em satélite permite a medição da atividade de fogo de regiões remotas onde poucos dados estavam disponíveis anteriormente, avançando no estudo da ecologia de incêndios em escalas globais.

Diversos trabalhos vêm apresentando em sua metodologia (SILVA et al., 2021; LOTUFO et al., 2020; WHITE e WHITE, 2016; MÉLO et al., 2011), o uso de ferramentas SIG (Sistema de Informação Geográfica) na compreensão e caracterização dos processos de queima, considerando os impactos e as contribuições das variáveis climáticas sobre este cenário e principalmente em ambientes florestais.

O sensoriamento remoto é uma fonte essencial na aquisição de informações, onde a delimitação das áreas queimadas por satélite apresenta vantagens em áreas extensas e de difícil acesso, servindo para mensuração dos efeitos do fogo como a severidade da queimada (LUTZ

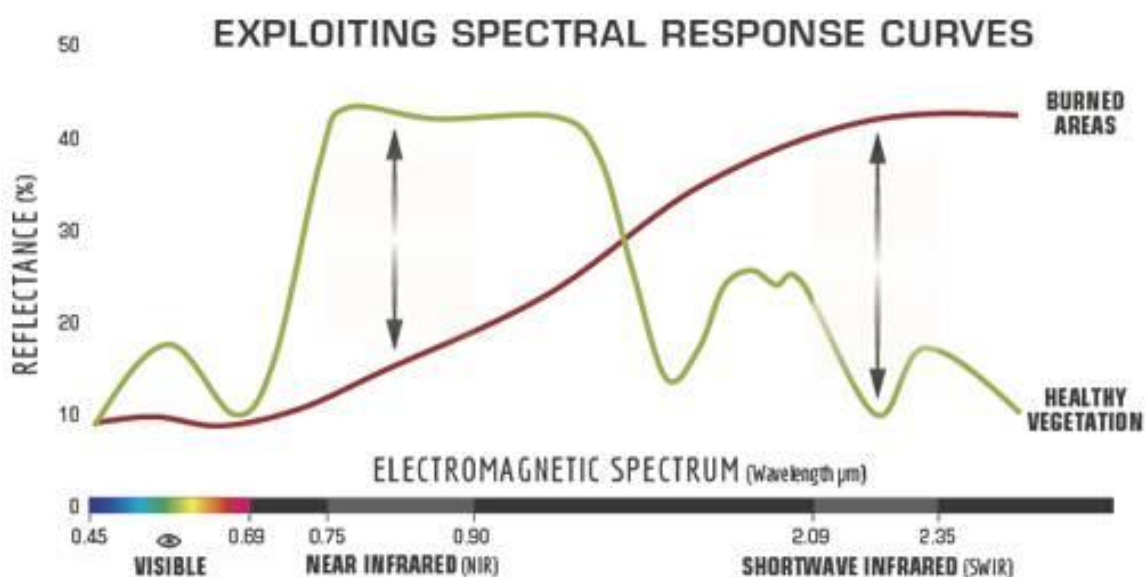
et al., 2011) ou para a estimativa de liberação de gases de efeito estufa em diferentes escalas espaciais e temporais para uma melhor compreensão do alvo analisado (ALENCAR, 2006; SILVESTRINI, 2011), servindo como uma ferramenta importante de controle e monitoramento.

Diversos estudos globais e regionais, com o intuito de analisar as florestas, a geologia, os recursos hídricos e o clima, têm se utilizado destas tecnologias para representar a diversidade dos recursos terrestres e caracterizar a influência do ser humano nos processos naturais (JENSEN, 2009). Dessa maneira, as séries temporais de imagens orbitais podem ser aplicadas para análises fenológicas, monitoramento de desmatamentos, monitoramento de queimadas, uso e ocupação do solo, entre muitos outros.

As técnicas de sensoriamento remoto aplicadas a análise de queimadas podem ser subdivididos em duas abordagens: identificação de focos ativos de incêndios ou o mapeamento das áreas pós-fogo evidenciadas pela deposição de cinzas e carvão e pela modificação da estrutura e biomassa da vegetação (SANTANA, 2019).

Essa divisão pode ser compreendida da seguinte forma, as informações espectrais e temporais como a detecção de focos ativos através da captura da emissão da energia (Figura 05), fornecem informações a respeito do local e do momento da ocorrência do fogo, no entanto não permite a quantificação da área afetada pelos incêndios detectados (ROY *et al.*, 2005; GIGLIO *et al.*, 2009). Em contrapartida, a abordagem de mapeamento de áreas de pós-fogo permite obter perímetro, área e estimativa de danos causados por incêndios florestais (SANTANA, 2019).

Figura 5 - Comparação da resposta espectral de vegetação sadia e áreas queimadas.



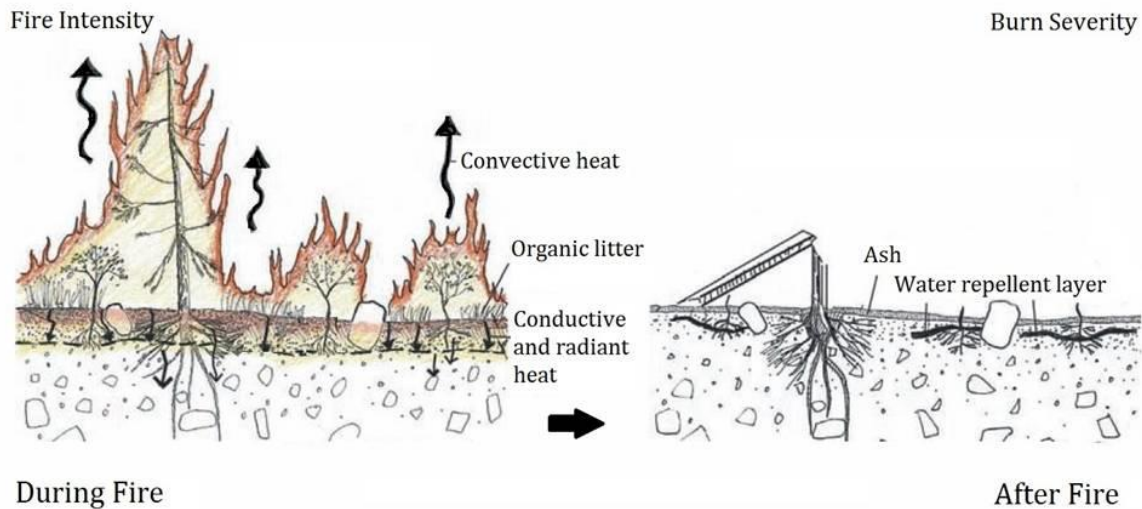
Fonte: USDA, 2022.

Desta forma, estudos que empreguem análises de sensores com alta resolução temporal, que possibilitam a aquisição de imagens com boa qualidade atmosférica, conciliados com os métodos estatísticos são essenciais para o monitoramento de incêndios florestais (LENTILE et al., 2006; MOUILLOT et al., 2014; HUESCA et al., 2014).

O mapeamento de cicatrizes de queimadas é essencial para estudos de emissões de gases, regime do fogo e manejo ambiental (LENTILE et al., 2006; MOUILLOT et al., 2014). O sensoriamento remoto é uma ferramenta essencial na geração de informações sistemáticas em diferentes escalas espaciais e temporais onde fornece cobertura global e uma avaliação multitemporal, apoiando estudos pré e pós-fogo que vão desde a geração de modelos de risco (CHUVIECO et al., 2010; MAEDA et al., 2009) à análise de processos de regeneração (RÖDER et al., 2008; VAN LEEUWEN et al., 2010).

Quando a matéria orgânica passa pelo processo de combustão durante a queima, é liberada uma energia, no qual a mesma representa a intensidade do fogo (KEELEY, 2009). Por outro lado, a gravidade da queima, está relacionada como a intensidade do fogo, afetando o funcionamento do ecossistema na área que foi queimada, variando de acordo com a dependência de cada ecossistema dentro da área. A Figura 06 apresenta a diferença entre a intensidade do fogo e a gravidade da queima.

Figura 6 - Ilustração da intensidade do fogo versus severidade da queima.



Fonte: USDA, 2022.

Há um crescente corpo de literatura que emprega longas séries temporais de imagens de resolução espacial fina para a análise de históricos de incêndios, estudos que incorporam diversos métodos estatísticos na compreensão dos fenômenos em muitas regiões brasileiras, com enfoque na floresta Amazônia (ALENCAR et al., 2011; MORTON et al., 2011) e nas áreas núcleo do Cerrado (DALDEGAN et al., 2014; LEMES et al., 2014).

O atributo espectral é essencial na identificação do alvo, as faixas dos espectros em cada banda são essenciais na interpretação das características e no processamento da imagem, ou seja, de acordo com a representação das cores e como cada banda reage aos corpos, é possível identificar as aplicações de cada banda e assim realizar composições que melhor representem a realidade (FLORENZANO, 2016).

As faixas dos espectros em cada banda são essenciais na interpretação das características e no processamento da imagem (LIU, 2015), ou seja, de acordo com a representação das cores e como cada banda reage aos corpos, é possível identificar as aplicações de cada banda e fazer composições que melhor representem a realidade presente na imagem. Neste sentido quanto maior for o banco de dados para obtenção das imagens maior será a visualização e interpretação dos elementos presentes na mesma.

A série Landsat foi o primeiro lançamento de satélites de sensoriamento remoto, pelos norte-americanos em 1972, desde então foram criados 8 satélites da série, todos com imagens multiespectrais. Diversas pesquisas ao longo dos anos utilizam os dados disponibilizados das séries, e Lentile et al., (2006) afirma que as informações mais precisas e aceitáveis para o

manejo da terra em escala local/regional são derivadas da série Landsat. O Landsat 8 é o satélite da série que se encontra ativo desde 2013, com imagem do sensor OLI (Operational Terra Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor) 15 a 30 metros de dados multiespectrais. Embora a resolução temporal para cada sensor seja de 16 dias, existe uma sobreposição de tempo de operação de pelo menos dois sensores, ocasionando uma disponibilidade de registros Landsat a cada 8 dias (ALVES E CABEDELO,2017).

Algumas pesquisas de detecção de áreas acometidas com processo de queimadas tem adotado em suas metodologias o emprego dos sensores multiespectrais e hiperespectrais de média resolução espacial (ex. DA SILVA e BAPTISTA, 2015 e KEELEY, 2009). Entre os diversos sensores aplicados, é possível destacar aqueles que estão a bordo da série de satélites Landsat, onde é possível obter informações mais precisas e adequadas, porém a principal limitação das imagens Landsat é a dificuldade em encontrar uma série temporal adequada para mapear com precisão o regime de fogo (DALDEGAN et al., 2015).

Para que a imagem possa conter o maior conteúdo de informações temáticas é necessário que se agregue a ela os melhores atributos possíveis, os critérios de escolha dependem de alguns fatores que influenciam na obtenção de uma imagem de qualidade, como a cobertura de nuvem, a representação adequada da área de estudo e a variação temporal das imagens, que neste caso correspondem as datas do período registrados ao longo dos anos de queimadas na região.

Existem diversas metodologias que auxiliam na compreensão e obtenção de informações das áreas acometidas por incêndios, dentre as principais está o índice de queimada normalizada (NBR - Normalized Burn Ratio), uma ferramenta poderosa para determinar a extensão e a gravidade de um incêndio.

Baseado na noção de que a vegetação saudável tem alta refletância espectral no infravermelho próximo (NIR) e baixa refletância espectral no visível, este índice procura destacar regiões queimadas usando este contraste ocasionado pelas chamas (VHENGANI et al., 2015) e (KEY e BENSON, 1999). A vegetação é considerada saudável quando o valor encontrado é considerado alto, por outro lado um valor baixo indica solo nu e áreas queimadas recentemente. As áreas não queimadas são normalmente atribuídas a valores próximos de zero.

A gravidade do fogo ou da queima não é empregado apenas para avaliar a extensão das áreas ou a severidade da queima, mas pode ser compreendida pelas respostas do ecossistema, ou seja visualização da erosão do solo, regeneração da vegetação, restauração da estrutura da comunidade, recolonização da fauna entre outras respostas relacionadas (KEELEY, 2009).

Nesse contexto, os níveis de intensidade do fogo medida através da classificação de gravidade das queimaduras podem ser consideradas como ferramentas preditivas para antecipar os efeitos pós-fogo. Estudos com aplicação no sensoriamento remoto encontraram uma boa correlação com o emprego do NDVI, e estimativas de severidade do fogo com base na perda de biomassa (por exemplo, TURNER *et al.*, 1994; CONARDE *et al.*, 2002; MILLER E YOOL 2002; FORRAE *et al.*, 2004).

Grande parte dos trabalhos foram feitos em florestas e bosques, e estudos com amostragem mais ampla descobriram que o tipo de vegetação influencia marcadamente a detecção da severidade do fogo (Hammill e Bradstock 2006).

Nesse sentido os incêndios florestais podem ser benéficos para algumas funções ecológicas, destacando a importância do monitoramento e o estudo de focos de incêndios em áreas florestais (KEELEY, 2009).

3.6 O Semiárido e a APA Chapada do Araripe

O semiárido brasileiro apresenta a maior concentração populacional em regiões semiáridas do mundo (MARENGO, 2008) com mais de 22 milhões de habitantes, abrange uma área de 980.133,079 km² que representa 11,53% do território nacional (IBGE, 2010), sendo considerado como uma das regiões que mais sofre os impactos sociais e econômicos ocasionados pela alta variabilidade climática da região.

O semiárido apresenta desequilíbrios entre a precipitação acumulada na maioria dos meses, inferior a 800 mm/ano (Marengo *et al.*, 2011). Conforme Sampaio (1991), a estação mais favorável ao fogo corresponde justamente ao período do ano em que as variáveis climáticas apresentam baixa precipitação pluviométrica, fatores climáticos que combinados facilitam o aumento na ocorrência dos incêndios florestais. Prado (2003) afirma que a Caatinga tem se caracterizado como um dos biomas mais afetados por incêndios e desmatamentos.

Segundo alguns estudos ao longo dos anos, a Caatinga, bioma existente somente no Brasil, foi classificada como independente do fogo, sob o regime e condições naturais do fogo (PIVELLO, 2011). No entanto, devido às recentes atividades humanas, a Caatinga tem sido cada vez mais afetada por incêndios que a submetem à degradação estando sujeita a se transformar em um sistema sensível ao fogo.

Este bioma é predominante sob a Região do Cariri, localizada no estado do Ceará, formada por nove municípios: Barbalha, Caririaçu, Crato, Farias Brito Jardim, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri, perfazendo um total de 5.025,6 Km².

Nesta região está inserida a primeira floresta nacional criada no Brasil, a Floresta Nacional do Araripe situada na Chapada do Araripe. Uma unidade de conservação brasileira integrante do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), administrada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), associada ao Ministério do Meio Ambiente (MACIEL, 2016).

Área de Proteção Ambiental (APA) é uma categoria de Unidade de Conservação (UC) da Biodiversidade que compreende em geral, extensas áreas, com um certo grau de ocupação humana, conforme a Lei 9.985/2000 (BRASIL, 2000). Tendo como objetivos fundamentais proteger a diversidade biológica, regularizar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

A APA Chapada do Araripe foi criada pelo decreto de 04 de julho de 1997 (BRASIL, 1997) com o objetivo de proteger a fauna e flora, especialmente as espécies ameaçadas de extinção afim de garantir a conservação e sustentabilidade dos recursos naturais da região. A APA fica localizada dentro de três Estados do Nordeste Brasileiro, no Estado do Ceará são um total de 15 Municípios, dentre eles: Missão Velha, Abaiara, Brejo Santo, Porteiras, Jardim, Jati, Penaforte, Barbalha, Crato, Nova Olinda, Santana do Cariri, Araripe, Potengi, Campos Sales e Salitre. No Estado do Pernambuco: Araripina, Trindade, Ouricuri, Ipubi, Exu, Santa Cruz, Bodocó, Cedro, Moreiândia, Granito, Serrita. E no Estado do Piauí: Fronteira, Padre Marcos, Simões, Paulistana, Pio IX, Caldeirão Grande e Curral Novo.

A APA Chapada do Araripe ainda contribui para o agrupamento de 20 unidades de conservação da biodiversidade na região, nas esferas federal, estadual, municipal e particulares. Como a exemplo a FLONA (Floresta Nacional do Araripe), esta UC possui grande importância no ciclo natural da região, sua manutenção leva ao equilíbrio hidrológico, climático, ecológico e edáfico do ambiente no entorno da Bacia Sedimentar do Araripe.

A topografia local é uma das responsáveis pela caracterização da diversidade da flora nativa na Chapada do Araripe, acompanhando as variações altimétricas. Apresentando um relevo tabular, com altitudes que variam entre 840 e 920 metros, de leste para oeste suas altitudes decrescem em torno de 300m, o que levou Cavalcanti e Lopes (1994) a dividi-la em duas regiões: oriental e ocidental, com uma zona de transição central.

Apresentando média pluviométrica de 1033 mm por ano, concentrada nos meses de janeiro a maio, sendo o restante do ano seco ou com alguma precipitação sem regularidade. A temperatura varia de 18 a 34° C (IBAMA, 2006).

Diante destas diferenças, ocorrem as seguintes formações vegetais: mata úmida, que contorna as bordas mais chuvosas; o cerradão e uma área de transição de cerradão/carrasco, na

posição central do planalto; áreas de transição entre carrasco e cerradão e caatinga arbórea. Dessa forma a chapada abrange quatro biomas, podendo ser considerada como um resumo da biodiversidade do Nordeste.

Segundo Jacomine et al. (1973), e Cavalcanti e Lopes (1994), no setor oriental da Chapada encontra-se: a floresta úmida semiperenifólia, caracterizada pela alta densidade e elevado porte das árvores, sem gramíneas no sub-bosque; o cerradão, caracterizado pela redução na densidade arbórea e no porte das árvores, com gramíneas no sub-bosque; o cerrado, com árvores esgalhadas, retorcidas e distantes umas das outras; e as áreas antropizadas.

Por todas essas características a região é conhecido como o “Oásis do Sertão”, devido a sua contribuição na formação de ecossistemas como o brejo e o pé-de-serra, considerados como áreas propícias para o cultivo da cana-de-açúcar, e com isso conferindo à região semelhanças com a Zona da Mata pernambucana ou com os brejos paraibanos (MACIEL, 2016).

A Chapada do Araripe exerce uma influência não apenas climática, possibilitando um clima diferenciado para o estado com chuvas regulares numa vasta área do semiárido nordestino, mas pode ser consagrada também como referência geográfica (orientação espacial), influenciando no clima e na fertilidade do solo, características de grande relevância no semiárido nordestino (SILVA, 2014).

A grande biodiversidade concentrada na região abrange diversas espécies, dentre elas dezesseis ameaçadas de extinção, sendo o soldadinho-do-araripe (*Antilophia bokermanni*) classificado como criticamente ameaçado, e agora recentemente foi descrita uma nova espécie de caranguejo (*Kingsleya attenboroughi*), o caranguejo marinho também em situação crítica de extinção (PINHEIRO e SANTANA, 2016).

A APA Chapada do Araripe – Ceará guarda um dos mais importantes patrimônios arqueológico e paleontológico do Brasil, abrigando Geossítios do único GeoPark da América Latina, o Geopark Araripe, criado pela a Rede Global de Geoparks Networks – GGN, com atuação nos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri. Sua localização no Ceará é de grande importância para a região, por fomentar o desenvolvimento socioeconômico e sustentável dos seus territórios, através da proteção do patrimônio geológico e da promoção do geoturismo (UNESCO, 2023).

Nesse contexto de regionalidade, em 2019 foi idealizado pelo Sistema Fecomércio Ceará, por meio Serviço Social do Comércio (SESC), e a Fundação Casa Grande, um projeto com a perspectiva de transformar a Chapada do Araripe em Patrimônio da Humanidade, com a percepção do território como platô capaz de movimentar as relações sociais. O projeto considera

a terra como algo que move os gestos e as memórias, assim como o seu reconhecimento acrescenta valores e sentidos a história.

A Chapada do Araripe, oferece alternativas socioeconômicas à população local, através da exploração de produtos e atividades para fins alimentícios, como o pequi, caju, mangaba, araçá, cambuí, pitanga, murta, maracuja e medicinais: janaguba, fava d'anta, catuaba, candeeiro etc (MACIEL, 2016). Essas práticas permitidas na região, caso não tenham o devido monitoramento podem desencadear queimadas descontroladas e ocasionar incêndios na floresta, como os registrados nos últimos anos à exemplo do ocorrido no início de 2020 onde impactou diretamente na plantação, cerca de 80% da produção foi atingida.

Dessa forma estudos que visem compreender e analisar áreas afetadas ao longo dos anos por incêndios, principalmente em unidades de conservação, são de suma importância na construção de desenvolvimento sustentável para a região, afim de garantir o as práticas socioeconômicas existentes, e fornecer segurança às gerações que ainda irão usufruir desse ecossistema.

A APA Chapada do Araripe – Ceará, abrange um patrimônio cultural que transcende pela floresta e pelos desenhos rupestres nas rochas, sua história representa um conjunto complexo enfatizado pela necessidade de conservação e proteção deste patrimônio, onde deve ser levado em consideração as necessidades ambientais, sociais e econômicas para um desenvolvimento sustentável regional.

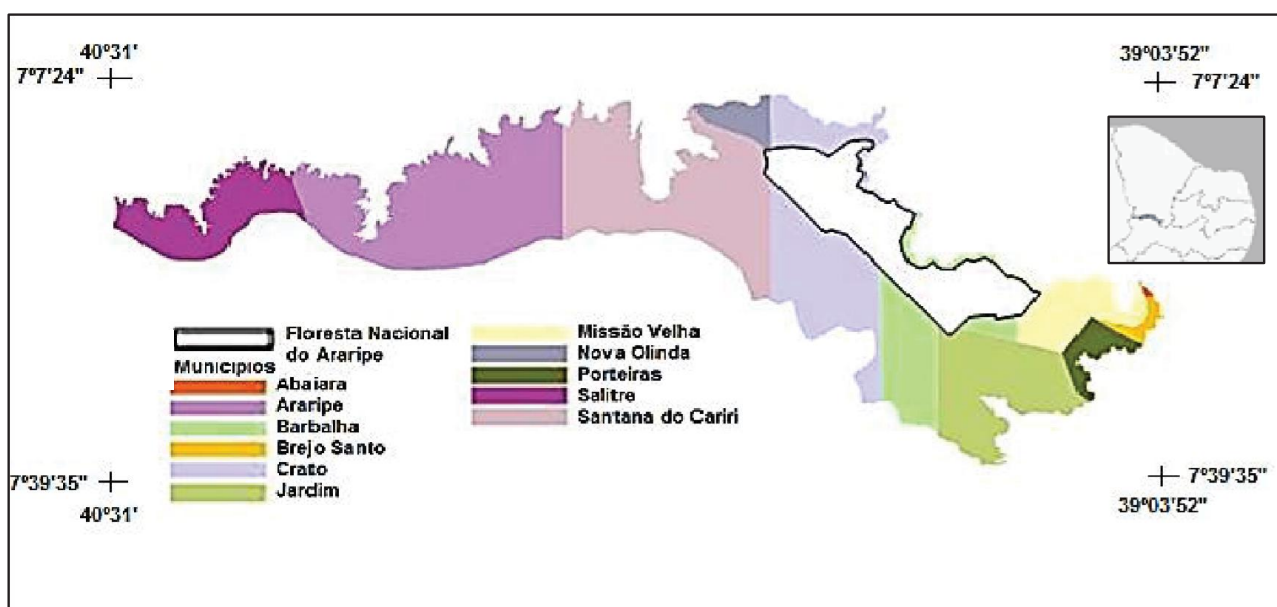
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A área selecionada para o presente estudo (Figura 7) compreende as coordenadas entre 7°07'24" e 7°39'35" de Latitude Sul e entre 39°03'52" e 40°31'00" de Longitude Oeste, distribuída em cerca de 261.204ha, correspondentes a APA Chapada do Araripe nas delimitações do Estado de Ceará em 15 municípios: Missão Velha, Abaiara, Brejo Santo, Porteiras, Jardim, Jati, Penaforte, Barbalha, Crato, Nova Olinda, Santana do Cariri, Araripe, Potengi, Campos Sales e Salitre.

A Chapada do Araripe tem como principal característica sua biodiversidade, abrangendo em suas formações vegetais quatro dos principais biomas do Nordeste, a mata úmida, que contorna as bordas mais chuvosas; o cerradão e uma área de transição de cerradão/carrasco, na posição central do planalto; áreas de transição entre carrasco e cerradão e caatinga arbórea.

Figura 7 - Área de estudo - APA Chapada do Araripe, Ceará.



Fonte: Adaptado (Basílio, 2013).

A Chapada do Araripe possui uma forma retangular, com extensão variável de 35 a 60 km no sentido norte-sul e de, aproximadamente, 180 km de leste para oeste, com um desnível da superfície cimeira, do oriente para o ocidente, de cerca de 300 metros, sua altitude máxima

atinge 1005 metros e a mínima 690 metros (SANTOS et al, 2009). Ela constitui um divisor de águas das Bacias do São Francisco, Jaguaribe e Parnaíba.

A umidade na região da chapada é mais resfriada devido a contribuição dos ventos alísios, se elevando nas encostas e se expandindo com a diminuição da pressão; onde é condensada, gerando chuvas ou névoas. Isso intensifica a atividade biológica, gerando uma vegetação mais exuberante nos brejos de piemonte e de altitude (BASÍLIO, 2013).

Por todas essas características a região é conhecido como o “Oásis do Sertão”, devido a sua contribuição na formação de ecossistemas como o brejo e o pé-de-serra, com uma forte condição climática sobre a região proporcionando estações chuvosas mais duradouras para os municípios em torno da zona de floresta, favorecidos pela orientação espacial.

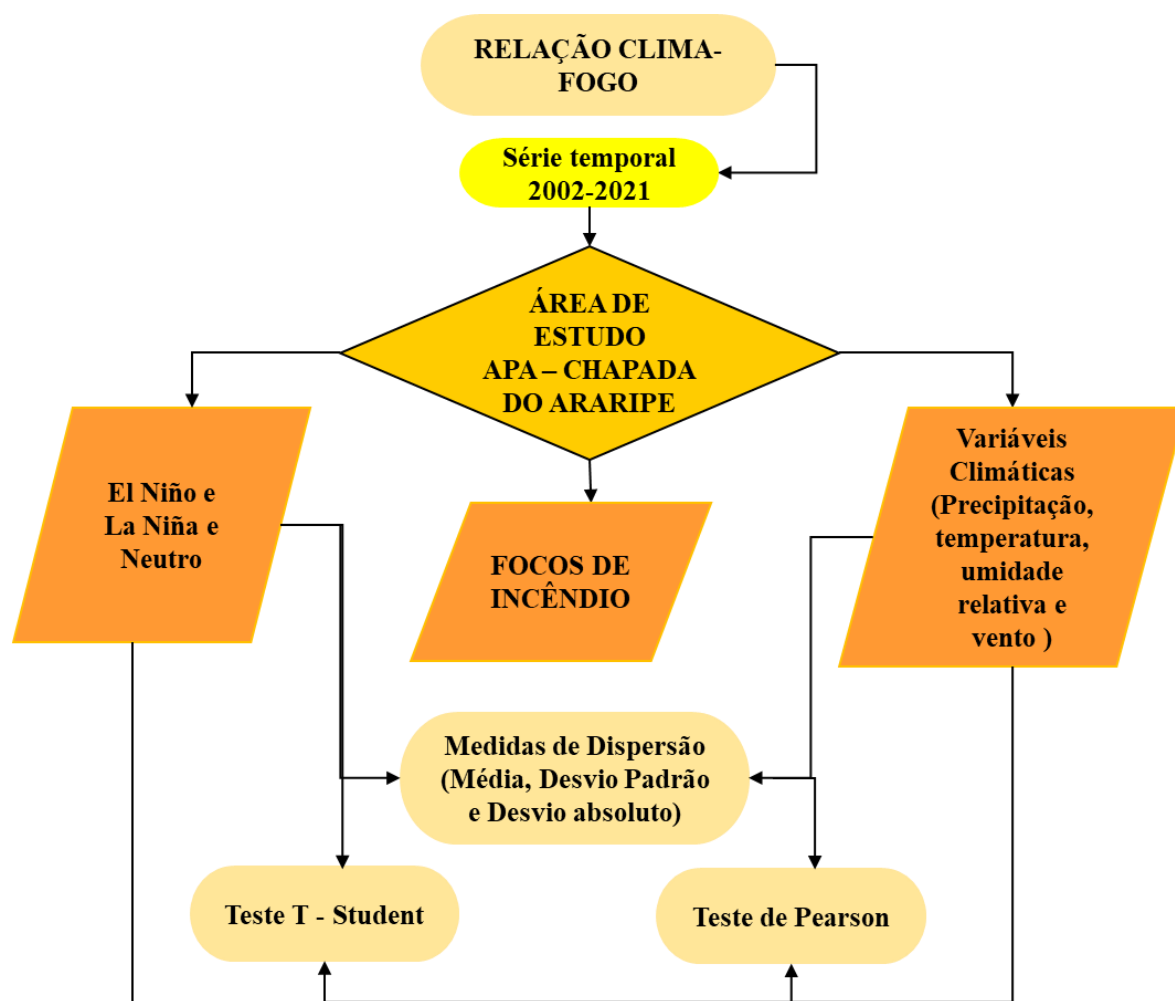
4.2 Etapas de desenvolvimento do trabalho

O estudo se desenvolveu em duas etapas. A primeira corresponde a fase de análise das correlações dos fenômenos climáticos e suas variáveis com a ocorrência dos focos de calor na região da APA na Chapada do Araripe. Já a segunda etapa está relacionada às metodologias geoespaciais para identificação das cicatrizes deixadas pelo fogo.

4.2.1 Primeira Etapa

Foi realizado o levantamento bibliográfico da área, para caracterização do meio físico, levantamento dos dados climáticos com a avaliação das incidências de El Niño e La Niña e a ocorrência de focos de incêndio e, ainda, análise estatística com uma avaliação da correlação entre os dados, conforme mostra a Figura 8 e é descrito a seguir.

Figura 8- Fluxograma da abordagem selecionada para o estudo (Primeira fase).



Fonte: Autora, 2022.

4.3 Levantamento dos dados

4.3.1 Variáveis climáticas

A precipitação foi adquirida através do banco de dados históricos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2023), a umidade relativa, a temperatura máxima e a velocidade do vento foram obtidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023).

4.3.2 Classificação de eventos de el Niño e La Niña

A variabilidade da precipitação na região do Nordeste brasileiro tem sido associada às anomalias de Temperatura de Superfície do Mar (TSM) do Pacífico equatorial que, onde na fase positiva (El Niño), favorece a redução da precipitação pluviométrica sobre esta região, enquanto na fase negativa (La Niña) contribui para a ocorrência de chuvas, algumas vezes acima da média histórica (ANDREOLI E KAYANO, 2007).

Considerando o pressuposto de que estas variações contribuem para a propagação e o favorecimento da origem de cenários propícios à incêndios, em alguns ecossistemas brasileiros, surge a necessidade de incrementar análises mais robustas na compreensão destes fenômenos, com estudos e propostas mais eficazes, integradas e sustentáveis.

Dessa forma a classificação do período selecionado para análise dos eventos, foi representada por meio do cálculo de intensidade do ENOS, através dados mensais do Índice Oceânico do Niño (ION), oriundos do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) dos Estados Unidos da América (EUA).

O ION, é um índice que identifica médias móveis trimestrais de anomalias da TSM na região do Niño 3.4 (5° N–5° S, 120°–170° W, correspondente ao Pacífico tropical equatorial), esta região tem sido a principal forma de monitoramento, avaliação e previsão do ENOS, que é um fenômeno que provoca alterações bastante expressivas na circulação atmosférica regional e global, afetando diretamente a temperatura do ar e causando modificações no regime de precipitação pluviométrica em diferentes regiões do Brasil e do mundo (Trenberth, 1997; Berlatto e Fontana, 2003).

Como pode ser observado trimestralmente na Tabela 01 quando a diferença de TSM, em relação à média histórica, for superior a 0,5 °C por pelo menos cinco trimestres móveis consecutivos, o evento é considerado um El Niño. Por outro lado, se a diferença for inferior a 0,5 °C por pelo menos cinco trimestres móveis consecutivos, tratasse de um La Niña. Diferenças inferiores a $\pm 0,5$ °C correspondem à condição de neutralidade. Esses eventos também podem ser classificados como fracos (com anomalia de TSM entre 0,5 e 0,9°C), moderados (1,0 a 1,4°C), fortes (1,5 a 1,9°C) e muito fortes ($\geq 2,0$ °C), Tabela 01 (TEODORO, 2022).

Tabela 1- Classificação de eventos de El Niño (vermelho), La Niña (azul) e neutro sem tonalidade usando ION, no período de 2002 a 2021, apresentado trimestralmente através das anomalias de TSM.

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	FILHO	OND	NDJ
2002	-0,1	0	0,1	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1	1.2	1.3	1.1
2003	0,9	0,6	0,4	0	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
2004	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,6	-0,8
2006	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0	0,1	0,3	0,5	0,8	0,9	0,9
2007	0,7	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6
2008	-1,6	-1,5	-1,3	-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7
2009	-0,8	-0,8	-0,6	-0,3	0	0,3	0,5	0,6	0,7	1	1,4	1,6
2010	1,5	1,2	0,8	0,4	-0,2	-0,7	-1	-1,3	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
2011	-1,4	-1,2	-0,9	-0,7	-0,6	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1	-1,1	-1
2012	-0,9	-0,7	-0,6	-0,5	-0,3	0	0,2	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,2
2013	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
2014	-0,4	-0,5	-0,3	0	0,2	0,2	0	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7
2015	0,5	0,5	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,9	2,2	2,4	2,6	2,6
2016	2,5	2,1	1,6	0,9	0,4	-0,1	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6
2017	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	-0,1	-0,4	-0,7	-0,8	-1
2018	-0,9	-0,9	-0,7	-0,5	-0,2	0	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,8
2019	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5
2020	0,5	0,5	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-0,9	-1,2	-1,3	-1,2
2021	-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-1	-1

Fonte: Adaptado:

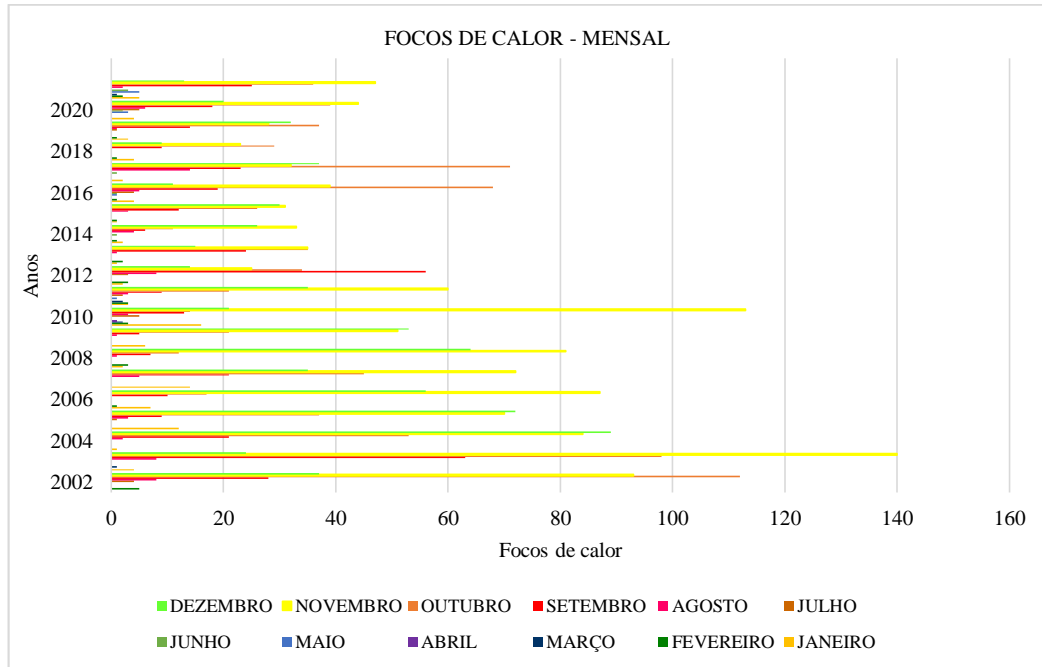
https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php, 2022.

4.3.3 Focos de calor (FC)

Os dados de focos de calor usados no estudo são do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponíveis mensalmente para todo território brasileiro, desde 1998, através do site do INPE, sendo o número de focos de calor inferidos por satélites em órbita polar em uma dimensão espacial cobrindo o território brasileiro de 1 km².

O cenário selecionado para o estudo está compreendido entre 2002-2021, na figura 9 observa-se a distribuição dos focos durante os 20 anos de análises sobre a APA Chapada do Araripe. De acordo com o site do INPE (2019) são utilizados todos os satélites que possuem sensores óticos operando na faixa termal-média de 4 microns, que o INPE consegue receber, usando imagens do sensor AVHRR/3 dos satélites polares NOAA National Oceanic Atmospheric Administration - 15, NOAA-18, NOAA-19 e METOP-B, as do MODIS, as dos NASA TERRA e AQUA, as do VIIRS do NPP-Suomi, e as imagens dos satélites geoestacionários, GOES-13 e MSG-3, estas imagens geram o número de focos de incêndios.

Figura 9 - Focos de calor registrados pelo INPE distribuídos durante todos os meses do ano, eixo vertical estão os números dos focos de calor, e no eixo horizontal os anos compreendidos no período de 2002-2021.



Fonte: Autora, 2022.

Neste sentido para detecção dos focos de calor na área de estudo foram considerados os dados gerados pelo satélite de referência, de 01/junho/1998 a 03/julho/2002, utilizado como satélite de referência o NOAA-12 (sensor AVHRR, passagem no final da tarde), e a partir de então o AQUA_M-T (sensor MODIS, passagem no início da tarde).

4.3.4 Análise estatística

Medidas de dispersão foram empregadas para o tratamento das estatísticas básicas, a fim de mostrar as características mensais e sazonais, foram a média, desvio padrão (DP), diferença entre as médias (Dif) e a relação de significância entre as médias através do teste T Student.

O teste de significância, tem como objetivo principal, analisar tabelas de contingência com amostras de qualquer tamanho (AGRESTI, 1992) e de recusar a hipótese considerando uma melhor representação dessa significância dada pelo valor de 5% de correlação, onde a

hipótese nula é de que não exista diferença significativa entre as médias analisadas e a hipótese alternativa é justamente o inverso desta afirmação, ou seja para valores menores que p-valor 0,05 rejeita-se a hipótese nula, e para p-valor > 0,05 aceita-se a hipótese nula e rejeita-se a hipótese alternativa.

As relações existentes entre duas variáveis são comumente utilizadas usando um fator de correlação. Dessa forma, a partir da obtenção das variáveis climáticas e o registro dos focos de incêndio na APA Chapada do Araripe, foi realizado o tratamento dos dados para a modelagem da associação existente entre eles, dentro do cenário observado de 20 anos (2002-2021), a partir do teste de hipóteses criado por Pearson.

O coeficiente de correlação de Pearson (Equação 01), é classificado como uma medida de associação linear entre variáveis quantitativas. De acordo com Chen e Popovich (2002) o método de Pearson é considerado como a medida de associação mais utilizada em diferentes áreas da pesquisa científica.

$$r_{xy} = \frac{\sum z_x z_y}{N} \quad (1)$$

Onde:

r_{xy} – Correlação de Pearson

Σ – Somatório

Z_x – Desvio padrão da variável x

Z_y – Desvio padrão da variável y

N – número de dados

A Tabela 02 apresenta os valores de coeficientes de correlação variando entre -1 e 1. Esta variação indica a direção da correlação, ou seja se é negativa ou positiva, enquanto que o valor indica a magnitude. Quanto mais próximo de 1 mais forte é o nível de associação linear entre as variáveis, FILHO et al., 2014.

Tabela 2 - Tipos de correlações e seus respectivos coeficientes.

Coeficientes de correlações de Pearson	Tipos de correlações
$R = 1$	Perfeita positiva
$0,8 \leq R < 1$	Forte positiva
$0,5 \leq R < 0,8$	Moderada positiva
$0,1 \leq R < 0,5$	Fraca positiva
$0 < R < 0,1$	Íntima positiva
0	Nula
$0,1 < R < 0$	Íntima negativa
$-0,5 < R \leq -0,1$	Fraca negativa
$0,8 < R \leq -0,5$	Moderada negativa
$-1 < R \leq -0,8$	Forte negativa
$R = -1$	Perfeita negativa

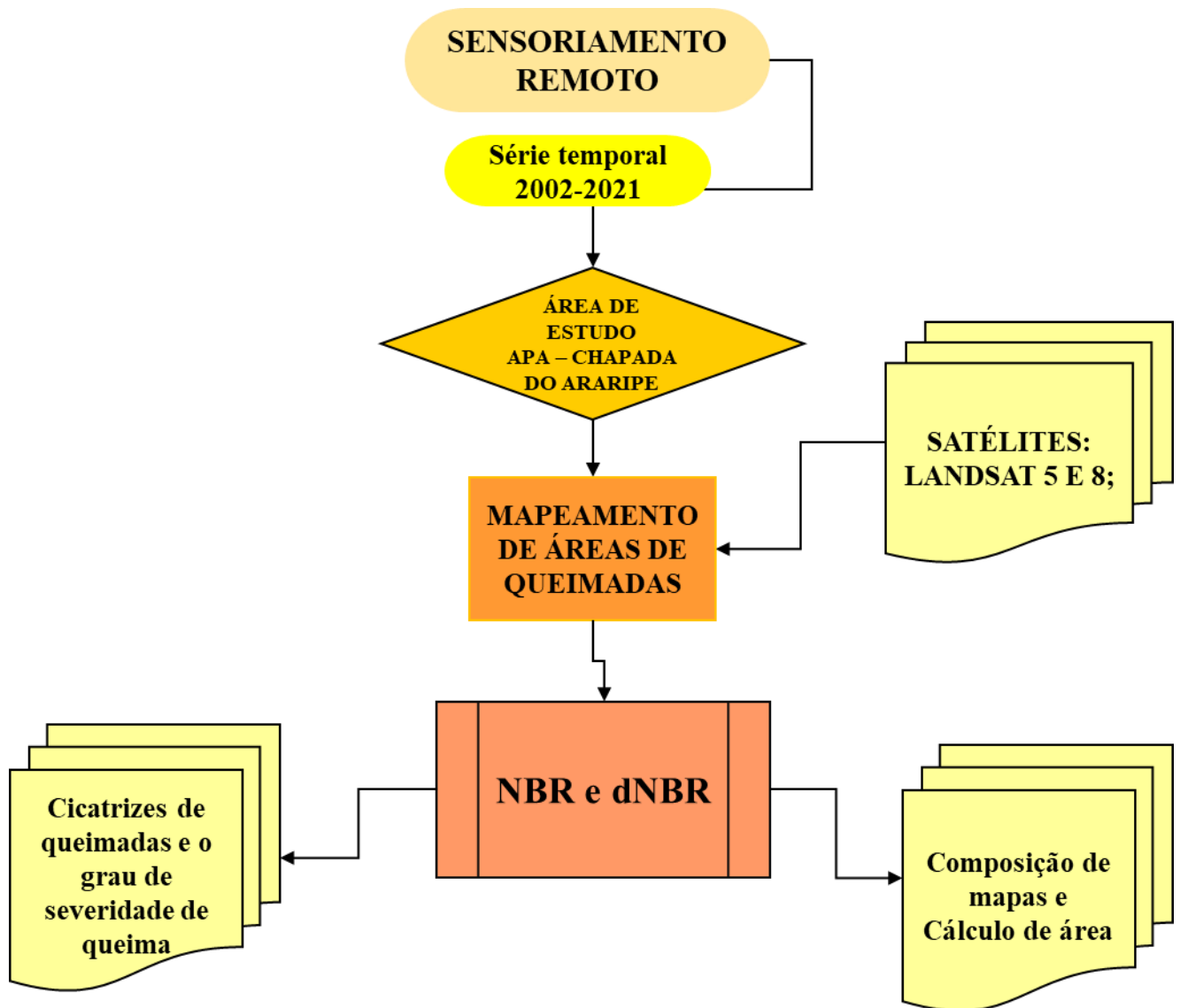
Fonte: Adaptado de Francisco e Neto ,2021.

Dessa forma, uma correlação positiva indica as variáveis são proporcionais, ou seja quando x aumenta, y também aumenta. Por outro lado, uma correlação quando é negativa indica que quando x aumenta, y diminui, ou seja, valores altos de x então associados a valores baixos de y , sendo inversamente proporcionais. E tratando de valores zero significa ausência de correlação entre as variáveis analisadas.

4.4 Segunda etapa

Foi realizada a aquisição das imagens, identificação do banco de dados de registros de incêndios (disponibilizado pelo corpo de bombeiros), identificação das datas correspondentes à incêndios registrados pelos principais canais de informação e do reconhecimento e delimitação das áreas pós-fogo, através das cicatrizes como também a avaliação do grau de regeneração da vegetação na APA, conforme a Figura 10, e descrito a seguir.

Figura 10 - Fluxograma da abordagem selecionada para o estudo (Segunda fase).



Fonte: Autora, 2022.

4.4.1 *Imagens de satélite*

Para aquisição de imagens existem duas fontes de dados reconhecidas. De maneira mundial, fazendo a cobertura de todo o globo, existe o portal de serviços geológicos dos Estados Unidos, o USGS (United States Geological Survey) através do Earth Explorer, de forma menos abrangente tem o catálogo de imagens do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) apresentando dados referentes ao Brasil e a América Latina. Para obtenção das cenas sobre a área de estudo selecionada serão utilizadas neste estudo as imagens disponibilizadas pelo USGS Earth Explorer.

Nesse sentido, para alcançar uma maior visualização da área selecionada e conseguir um número maior de cenas registradas pelos satélites, as camadas adicionadas foram obtidas pelos satélites da série Landsat5 (Tabela 3) e Landsat8 (Tabela 4). O incremento dos dois satélites se aplica como uma alternativa estratégica para suprir os déficits e falhas nas imagens encontrados durante o período selecionado, compreendido nos 20 anos de cenário sobre a APA da Chapada do Araripe.

As bandas que foram utilizadas para calcular o Normalized Burn Ratio (NBR) são do sensor Sensor TM e TM+, o Infravermelho Próximo (NIR) e o Infravermelho-2 de Onda Curta (SWIR2), que correspondem à banda 4 e banda 7 da série Landsat5, e do Sensor OLI LAND IMAGER bandas 5 e 7 na série Landsat8. De acordo com Morton et al. (2011) esta é a melhor alternativa para a detecção de cicatrizes de incêndio, uma vez que permite a estimativa de diferenças de imagem, facilitando a identificação e a precisão das áreas queimadas.

Tabela 3: Comprimento de ondas e as respostas espectrais em cada objeto de visualização de acordo com a série LANDSAT 5.

LANDSAT 5	Sensor TM e TM+	Visualização de objetos
Banda 1	0,45 – 0,52 (azul)	Águas costeiras
Banda 2	0,52 – 0,60 (verde)	Vegetação; Qualidade da água
Banda 3	0,63 – 0,69 (vermelho)	Áreas urbanas; uso do solo; Agricultura
Banda 4	0,76 – 0,90 (Infravermelho próximo)	Áreas de queimadas; Áreas úmidas; Corpos d'água
Banda 5	1,55 – 1,75 (Infravermelho médio)	Medidas de umidade de vegetação; Diferenciar nuvens de neve
Banda 6	10,4 – 12,5 (Infravermelho termal)	Estresse Térmico em plantas; Propriedades termais do Solo
Banda 7	2,08 – 2,35 (Infravermelho médio)	Mapeamento Hidrotermal

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 4: Comprimento de ondas e as respostas espectrais em cada objeto de visualização de acordo com a série LANDSAT 8.

LANDSAT 8	BANDAS ESPECTRAIS	RESOLUÇÃO
OLI OPERATIONAL LAND IMAGER	B1: azul costeiro	0,43 – 0,45
	B2: azul	0,45 – 0,51
	B3: verde	0,53 – 0,59
	B4: vermelho	0,64 – 0,67
	B5: Infravermelho próximo	0,85 – 0,88
	B6: Infravermelho médio	1,57 – 1,65
	B7: Infravermelho médio	2,11 – 2,29
	B8: pancromática	0,5 – 0,68
	B9: cirrus	1,36 – 1,38
TIRS TERMAL INFRARED SENSOR	B10: Infravermelho termal	10,6 – 11,19
	B11: Infravermelho termal	11,5 – 12,51

Fonte: Autora, 2022.

Dessa forma o período selecionado para a obtenção das imagens está compreendido no levantamento dos registros de incêndios dos últimos 20 anos de ocorrência, compreendidos entre 2002 a 2021, de modo que as datas de obtenção sejam antes e após a ocorrência das queimadas noticiadas pela imprensa. Um conjunto de dados foi elaborado com todas as informações relacionadas aos incêndios na Chapada do Araripe dentro do cenário de análise.

As cenas selecionadas para construção do mapeamento estão inseridas dentro do cenário de ocorrência dos incêndios na região, as datas escolhidas levaram em consideração o mês com maior e menor incidência nos registros de maneira afim de identificar as imagens que contenham cenas de pré e pós-fogo, para a construção de uma validação adequada e uma visualização correta das imagens.

4.4.2 Mapeamento de áreas de queimadas

O mapeamento das cicatrizes deixadas pelo processo de queima, é determinado através da assinatura espectral das áreas queimadas, utilizando imagens multiespectrais com o uso de sensores multiespectrais e hiperespectrais de média resolução espacial, com validação através da classificação supervisionada.








O NBR utiliza a razão entre as bandas NIR (0,63 a 0,69) e SWIR (0,9 a 1,7), uma forma de se beneficiar da magnitude da diferença espectral, (equação 2).

$$NBR = \frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR} \quad (2)$$

Porém, somente a identificação da área não é suficiente para quantificá-la, para avaliar a extensão e a severidade da área queimada é comumente empregado o índice diferenciado de queimada por razão normalizada dNBR - Differenced Normalized Burn Ratio, após ser classificado de acordo com as faixas de gravidade das queimaduras (Tabela 5) por meio da relação entre o NBR (Equação 3).

$$dNBR = NBR_{pré_{fogo}} - NBR_{pós_{fogo}} \quad (3)$$

Tabela 5: Níveis de gravidade das queimaduras obtidos calculando o dNBR

Nível de severidade	dNBR intervalo (dimensionado por 10 ³)
 Rebrotada melhorada alta (pós fogo)	-500 a -251
 Rebrotada melhorada baixa (pós fogo)	-250 a -101
 Não queimado	-100 a +99
 Gravidade baixa	+100 a +269
 Gravidade moderada baixa	+270 a +439
 Gravidade moderada-alta	+440 a +659
 Gravidade alta	+660 a +1300

Fonte: Adaptado: USGS, 2022.

No entanto, alguns estudos tem destacado a desvantagem em utilizar este índice devido o mesmo confundir a assinatura espectral de áreas queimadas com a de água e sombras (VHENGANI et al., 2015) e dificuldade na detecção de mudanças quando a imagem pré-incêndio apresenta baixa cobertura vegetal, bastante comum no semiárido brasileiro (ALCÂNTARA E FERNANDES, 2020).

Neste sentido, Parks, Dillon e Miller (2014) desenvolveram uma metodologia que minimizava a dificuldade na detecção de mudanças quando a cobertura vegetal antes do incêndio, propondo uma relativização do dNBR, o índice de queima relativizada (RBR). Dessa forma o RBR consegue detectar os efeitos de severidade em toda a faixa de cobertura vegetal pré-incêndio, (Equação 4).

$$RdNBR = \frac{dNBR}{|(NBR_{pré_fogo})|^{0.5}} \quad (4)$$

Neste sentido a metodologia desenvolvida pelo Portal do Conhecimento do Escritório para Assuntos do Espaço Sideral UN-SPIDER, foi a adotada nesta pesquisa com o uso da ferramenta SIG o Quantum GIS, (QGIS), na versão 3.16 licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU, tratando-se de um software de código aberto e livre. Foi empregado um passo a passo na identificação e quantificação das áreas de queimadas ao longo dos anos selecionados para o cenário de análise.

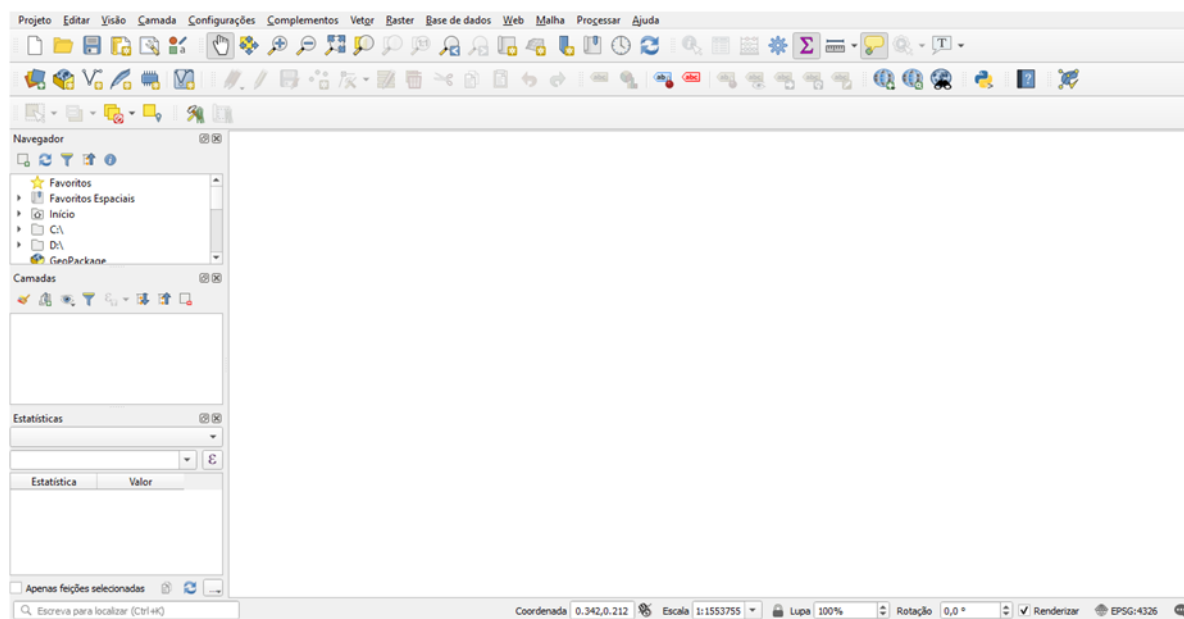
O *software* também possui ferramentas externas (plugin) que auxiliam na manipulação dos diversos métodos introduzidos dentro do QGIS, como o plugin *Semi-Automatic Classification* (SCP), desenvolvido por Congedo (2020), utilizado dentro do *software* QGIS, onde possui distintas ferramentas que facilitam as etapas de processamento e pré-processamento, como a etapa das correções atmosféricas no pré-processamento das imagens de satélites, etapa seguinte à aquisição das imagens.

A correção atmosférica ou correção do Topo da Atmosfera (TOA) é um método para corrigir o provável erro na medição da energia captada pelo sensor do satélite. A radiação é medida diretamente por instrumentos de sensoriamento remoto, e essa radiação depende da iluminação, orientação e posição do alvo. O Cálculo do TOA corrige os prováveis erros de direção que o caminho da luz através da atmosfera pode ocasionar ao passar pela Terra.

O QGIS foi utilizado tanto no processamento das imagens, método de visualização, manipulação através da composição de imagens, gerenciamento, edição e análise dos dados, como também na composição do mapeamento das cicatrizes deixadas pelo fogo e quantificação da área queimada dada pelos intervalos de classes.

4.5 Software QGIS

O QGIS é um software de Sistema de Informação Geográfica de Código Aberto licenciado sob a GNU, um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Tem se apresentado nos últimos anos como uma poderosa ferramenta metodológica no geoprocessamento, devido ao seu fácil acesso sendo capaz de suportar vários formatos e funcionalidades vetoriais, raster e de banco de dados (Figura 11).

Figura 11- Interface da tela inicial do QGIS, versão 3.16.

Fonte: Autora, 2023.

O software também possui ferramentas externas (plugin) que auxiliam na manipulação dos diversos métodos introduzidos dentro do QGIS, como o plugin Semi-Automatic Classification (SCP), desenvolvido por Congedo (2020), utilizado dentro do software QGIS, onde possui distintas ferramentas que facilitam as etapas de processamento e pré-processamento, como a etapa das correções atmosféricas no pré-processamento das imagens de satélites, etapa seguinte à aquisição das imagens.

A correção atmosférica ou correção do Topo da Atmosfera (TOA) é um método para corrigir o provável erro na medição da energia captada pelo sensor do satélite. A radiação é medida diretamente por instrumentos de sensoriamento remoto, e essa radiação depende da iluminação, orientação e posição do alvo. O Cálculo do TOA corrige os prováveis erros de direção que o caminho da luz através da atmosfera pode ocasionar ao passar pela Terra.

O QGIS foi utilizado tanto no processamento das imagens, método de visualização, manipulação através da composição de imagens, gerenciamento, edição e análise dos dados, como também na composição do mapeamento das cicatrizes deixadas pelo fogo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Parâmetros populacionais sobre as variáveis climatológicas

Os resultados apresentados nesta seção estão relacionados as análises climatológicas compreendidas de (2002-2021). A partir dos dados das 4 variáveis climáticas (precipitação, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento), foram aferidas as principais medidas de tendência central como média, desvio padrão (DP), diferença entre as médias (Dif) e o coeficiente de significância estatística das diferenças, através do p-valor.

Cada variável climática foi analisada em relação aos números de ocorrência de focos de calor durante os anos de forma isolada, para uma visualização unificada de cada uma, porém destaca-se que apenas a interpretação isolada não caracteriza influência de ambas. Devido os intervalos presentes em cada variável possuírem uma grande diferença na escala dos números, foi aplicada a normalização dos dados com o objetivo de modificar os valores das colunas numéricas no conjunto de dados para usar uma escala comum, sem distorcer as diferenças nos intervalos de valores nem perder as informações.

A Tabela 6 apresenta os dados normalizados para as variáveis de precipitação em relação aos focos de calor. Devido a série de dados ser extensa e compreender 20 anos de análises, foi realizada a média aritmética de todos os meses afim de evidenciar nas análises todo o período selecionado. Por mais que a média possa camuflar os valores de alguns anos de anomalias, através do cálculo do desvio padrão é possível averiguar se os valores amostrais estão bem distribuídos em torno da média.

Tabela 6: Médias, desvios padrões, diferença de médias (Dif) e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e precipitação comparados no período de 2002-2021.

Mês	Média Prec. (2002-2021)	Média Focos (2002-2021)	D.P Prec	D.P Focos	Dif	P- valor
JAN	0,306	0,033	0,198	0,032	0,01	6,04e ⁰⁶
FEV	0,357	0,010	0,196	0,010	0,347	1,86e ⁰⁷
MAR	0,458	0,002	0,228	0,005	0,456	3,03e ⁰⁸
ABR	0,258	0,000	0,145	0,002	0,257	1,94e ⁰⁷
MAI	0,127	0,004	0,115	0,009	0,123	1,34e ⁰⁴
JUN	0,037	0,003	0,064	0,006	0,034	2,93e ⁰²
JUL	0,022	0,009	0,040	0,013	0,013	1,92e ⁰¹
AGO	0,003	0,028	0,005	0,025	-0,025	2,67e ⁰⁴
SET	0,002	0,140	0,005	0,109	-0,138	2,02e ⁰⁵
OUT	0,032	0,291	0,075	0,197	-0,260	1,09e ⁰⁵
NOV	0,057	0,424	0,048	0,231	-0,367	7,72e ⁰⁷
DEZ	0,130	0,248	0,092	0,157	-0,117	6,98e ⁰³

Fonte: Autora, 2022.

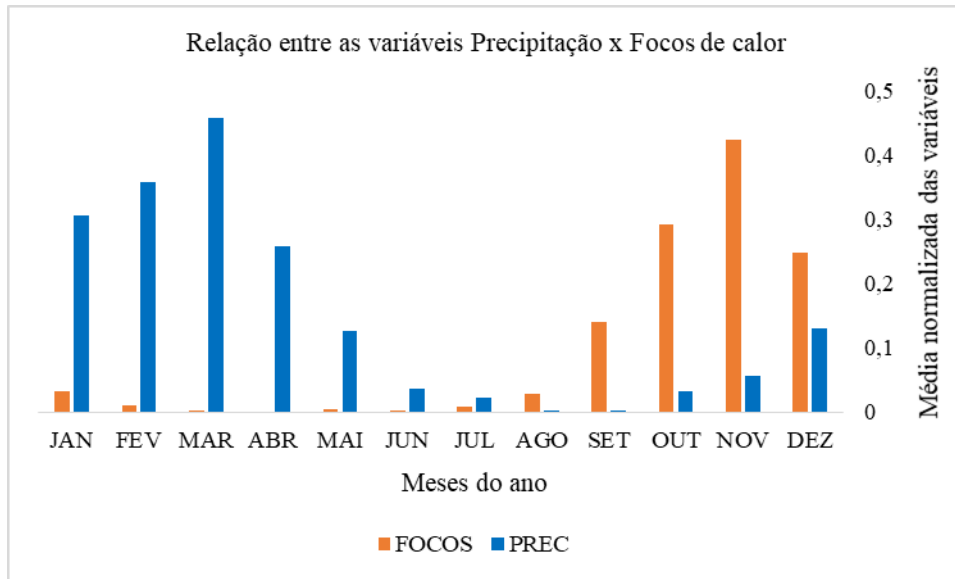
Em um estudo apresentado por Silva et al., (2021) sobre a relação entre as ocorrências de incêndios em vegetação e a climatologia das chuvas no Ceará podemos destacar nas discussões que o período de estiagem é o período de maior ocorrência dos registros de queimada na região, onde associadas a prática de atear fogo na vegetação, e as condições meteorológicas, ambientais e culturais das comunidades cearenses propicia a grande quantidade de queimadas neste período, caracterizando o problema de maneira sazonal.

Para regiões onde há predominância de pequenos produtores, o fogo é considerado como uma alternativa barata e de fácil acesso no manejo do solo em períodos de cultivo, a falta de conhecimento prévio e de uma assistência técnica adequada são fatores de grande relevância na formação de incêndios florestais, à exemplo do ocorrido no início de 2020 onde o fogo impactou diretamente os produtores de Pequi (*Caryocar brasiliense*) na região da FLORA dentro da APA Chapada do Araripe, onde cerca de 80% da produção foi atingida (GOMES e AZEVEDO, 2020).

É possível observar que durante os meses de estação chuvosa na região, existe uma proporção inversa sobre a média dos focos de calor, refletindo assim na provável influência inversa que a variável precipitação exerce sobre os focos. Durante os meses de Janeiro a Maio foram registradas as médias mais altas de precipitação, principalmente no mês de março, porém para os focos de calor ocorre o inverso, na medida que a precipitação registra uma redução os focos aumentam gradativamente (Figura 12). Dessa forma o “Dif” registrado entre as médias apresenta uma diferença significativa para a maioria dos meses, rejeitando assim a hipótese nula

de que não existe diferença significativa entre as médias, onde para a maioria dos meses o p-valor se encontra abaixo do nível de 5% de significância estatística.

Figura 12: Gráfico de distribuição das médias de precipitação e focos de calor durante o período de 2002-2021.



Fonte: Autora ,2022.

Apesar dos números representarem uma forte correlação entre ambas as variáveis, não se pode atribuir apenas à precipitação a contribuição na construção de um cenário propício ao fogo, sendo necessário assim uma contextualização sobre o regime natural do fogo que pode ser alterado de duas formas: de maneira indireta (através da influência que as variáveis climáticas exercem) e de maneira direta (pelas ações antrópicas proporcionada pelo homem). Essa influência direta está ligada as práticas existentes no manejo do fogo, no qual devido à falta de conhecimento prévio para uma execução adequada ocasionam diversos efeitos negativos, impactando não apenas a biodiversidade, mas também os processos e serviços ecossistêmicos para as populações humanas (PIVELLO et al, 2021).

Na Tabela 7 os parâmetros apresentados correspondem a temperatura média compensada mensal (C°) em relação aos focos de calor. Para esta variável observa-se que os meses com média compensada superior a 0,5° correspondem aos meses de maior ocorrência de focos de calor, ou seja, é possível visualizar uma relação de proporcionalidade entre as variáveis, o mês de maior registro de temperatura retribui ao mês de maior incidência de focos

na região. Isto é possível quando olhamos para o mês de Novembro onde as temperaturas são mais elevadas chegando a média compensada de 0,683 de temperatura e 0,311 focos de calor, esse fato pode estar associado às queimadas feitas para o cultivo agrícola e preparação do solo no entorno da APA que podem atingir a área. Os desvios padrões são consideravelmente baixos na maioria dos meses, dando a amostra uma característica de homogeneidade.

Tabela 7: Médias, desvios padrões, desvios absolutos e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e da temperatura média compensada mensal (C°) comparados no período de 2002-2021.

Mês	Média Tem. (2002-2021)	Média Focos (2002-2021)	D.P Tem	D.P Focos	Dif	P- valor
JAN	0,480	0,033	0,123	0,032	0,447	2,75e ¹³
FEV	0,379	0,010	0,096	0,010	0,369	3,65e ¹³
MAR	0,353	0,002	0,107	0,005	0,351	7,75e ¹²
ABR	0,321	0,000	0,077	0,002	0,320	1,06e ¹³
MAI	0,290	0,004	0,091	0,009	0,286	1,36e ¹¹
JUN	0,203	0,003	0,102	0,006	0,200	4,15e ⁰⁸
JUL	0,195	0,009	0,111	0,013	0,186	3,98e ⁰⁷
AGO	0,346	0,028	0,079	0,025	0,318	1,77e ¹⁴
SET	0,537	0,140	0,067	0,109	0,397	6,44e ¹⁵
OUT	0,710	0,291	0,089	0,197	0,419	3,32e ⁰⁹
NOV	0,719	0,424	0,151	0,231	0,295	3,60e ⁰⁵
DEZ	0,627	0,248	0,149	0,157	0,379	1,87e ⁰⁹

Fonte: Autora, 2022.

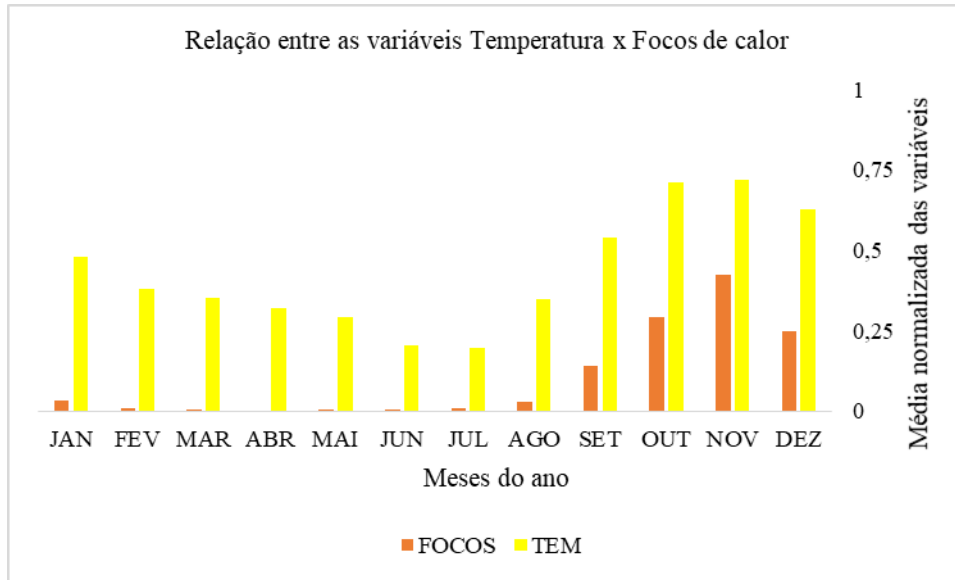
A temperatura apresenta valores mais baixos no primeiro semestre com destaque para o mês de março apresentando o menor valor de todos os meses, este fato pode ser usado como condição para esclarecer a necessidade de avaliar não apenas a relação entre duas variáveis, pois a contribuição deste evento pode ser atribuída à outras variáveis e fenômenos climáticos.

Em concordância com os resultados encontrados, um estudo realizado por Torres et al., (2018) sobre o comportamento do fogo e suas correlações com os fatores ambientais associados ao clima, os resultados mostraram que a temperatura do ar foi a variável mais correlacionada com a intensidade do fogo, embora não teve correlação alguma com a velocidade de propagação, provavelmente devido a topografia da área de estudo, ressaltando a importância de se entender o comportamento do fogo em nível local.

Na Figura 13 a distribuição dos meses nos auxilia na visualização da relação existente entre o aumento da temperatura e a incidência dos focos de calor, mostrando uma contribuição direta entre ambas, em que o primeiro semestre é característico por apresentar poucos focos de

incêndio, já no segundo semestre a partir do mês de agosto é notório um crescimento gradativo no decorrer dos meses a seguir.

Figura 13: Gráfico de distribuição das médias de temperatura média compensada e dos focos de calor durante o período de 2002-2021.



Fonte: Autora, 2023.

A temperatura apresenta valores mais baixos no primeiro semestre com destaque para o mês de março apresentando o menor valor de todos os meses, este fato pode ser usado como condição para esclarecer a necessidade de avaliar não apenas a relação entre duas variáveis, pois a contribuição deste evento pode ser atribuída à outras variáveis e fenômenos climáticos.

A umidade relativa do ar (%) é a variável climática com maior predominância de p-valor abaixo de 0,05, em que estes valores resultam na aceitação da hipótese alternativa afirmando que a diferença entre as médias da variável climática e dos focos são significativas em quase todos os meses do ano (Tabela 8).

Tabela 8: Médias, desvios padrões, desvios absolutos e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e umidade relativa do ar (%) comparados no período de 2002-2021.

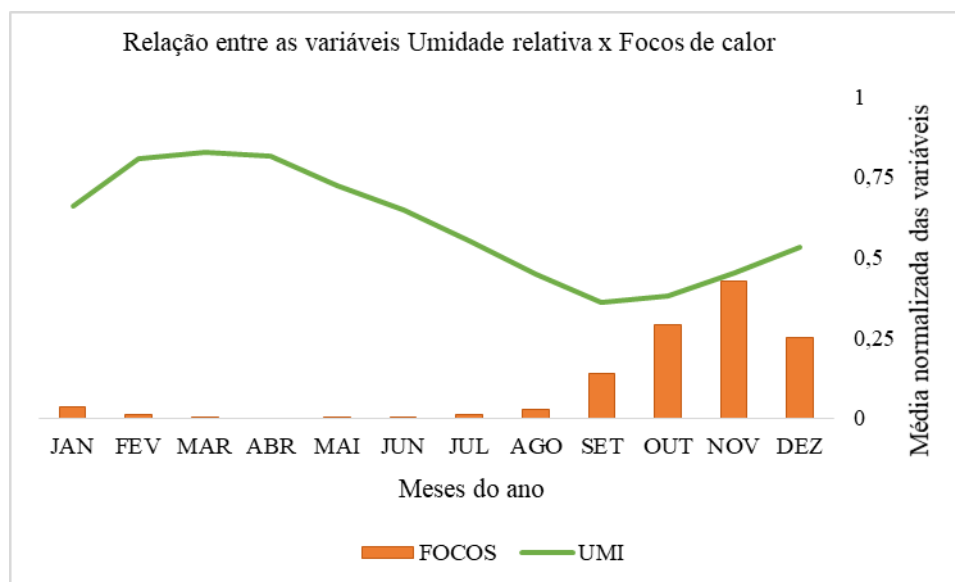
Mês	Média UR. (2002-2021)	Média Focos (2002-2021)	D.P Umi	D.P Focos	Dif	P- valor
JAN	0,657	0,033	0,187	0,032	0,624	3,14e ¹²
FEV	0,807	0,010	0,120	0,010	0,797	1,53e ¹⁷
MAR	0,827	0,002	0,095	0,005	0,825	1,35e ¹⁹
ABR	0,815	0,000	0,108	0,002	0,815	1,86e ¹⁸
MAI	0,729	0,004	0,140	0,009	0,725	1,92e ¹⁵
JUN	0,645	0,003	0,169	0,006	0,642	5,84e ¹³
JUL	0,552	0,009	0,194	0,013	0,543	1,17e ¹⁰
AGO	0,449	0,028	0,215	0,025	0,421	3,82e ⁰⁸
SET	0,361	0,140	0,212	0,109	0,221	2,76e ⁰⁴
OUT	0,381	0,291	0,248	0,197	0,090	2,12e ⁰¹
NOV	0,452	0,424	0,238	0,231	0,028	7,06e ⁰¹
DEZ	0,530	0,248	0,221	0,157	0,283	4,63e ⁰⁵

Fonte: Autora, 2022.

Na tabela 8 a distribuição em alguns dos meses indica uma proporção inversa de ambas as variáveis, em que a predominância de médias mais baixas de umidade coincidem com os meses de maior frequência de registro de focos de incêndio, principalmente nos meses de estação chuvosa na região, intensificados pela influência da precipitação. Isso indica que umidade relativa com valores abaixo da média, em geral, associaram-se com focos de calor com valores acima da média.

Na Figura 14 podemos observar na distribuição dos meses o comportamento das variáveis analisadas e a relação existente entre ambas, os dados das amostras revelam um comportamento inverso principalmente nos meses de maiores registros de umidade relativa, porém é possível notar que também exista uma proporção positiva no aumento das taxas registradas para um mesmo período em ambas as variáveis, esta característica pode estar associada com a influência que as relações entre os elementos meteorológicos e a umidade do material combustível podem estabelecer.

Figura 14: Gráfico de distribuição das médias de Umidade relativa do ar (eixo vertical à direita) e focos de calor (eixo vertical à esquerda) durante o período de 2002-2021.



Fonte: Autora, 2023.

Alves et al., (2021) ao analisarem a relação de variáveis meteorológicas com focos de calor na área do bioma Caatinga, afirmaram que a umidade atmosférica é o elemento decisivo nos incêndios florestais, tendo efeito direto na inflamabilidade dos combustíveis florestais. A interação fogo-clima é tão intensa que estudos recentes (Littell e Gwozdz, 2011; Morton *et al.*, 2013) consideram essa junção como uma variável biofísica independente, que oferece uma ligação mais direta às variáveis do comportamento do fogo do que qualquer variável meteorológica sozinha.

Na Tabela 9 a variável de velocidade do vento está associada a incidência de focos de calor distribuídos durante os meses de 2002-2021, onde a mesma implica em anomalias positivas sobre a região, podendo favorecer a ocorrência de focos de calor. É possível observar que na estação chuvosa distribuída principalmente entre os meses de fevereiro a maio, os números apontam para os menores valores na média de velocidade do vento, onde ocorre uma redução dos focos de incêndio na APA, como pode ser observado no mês de abril.

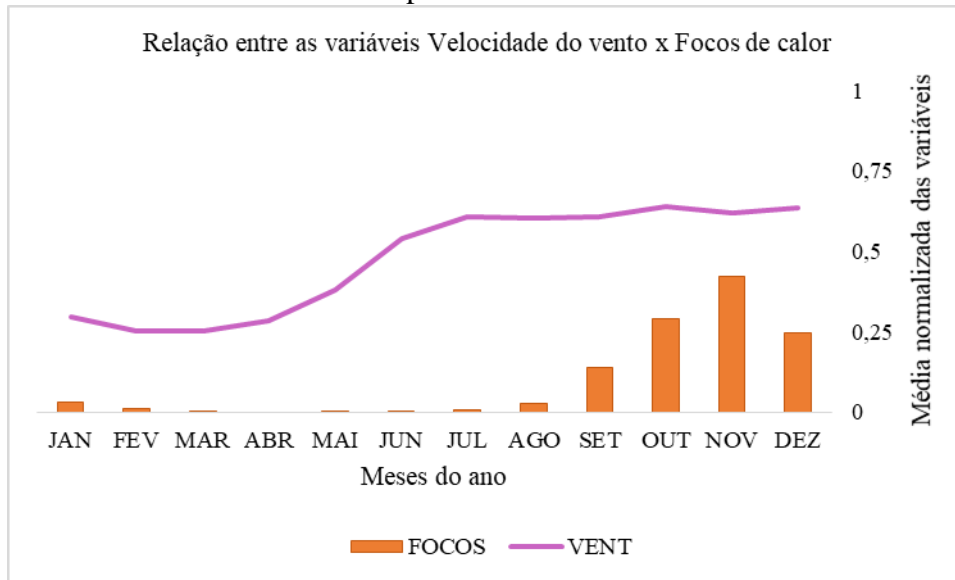
Tabela 9: Médias, desvios padrões, desvios absolutos e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e velocidade média mensal do vento (m/s) comparados no período de 2002-2021.

Mês	Média Ven. (2002-2021)	Média Focos (2002-2021)	D.P Vento	D.P Focos	Dif	P- valor
JAN	0,296	0,033	0,154	0,032	0,263	2,72e ⁰⁷
FEV	0,254	0,010	0,133	0,010	0,245	1,11e ⁰⁷
MAR	0,254	0,002	0,149	0,005	0,252	3,81e ⁰⁷
ABR	0,285	0,000	0,132	0,002	0,285	9,09e ⁰⁹
MAI	0,379	0,004	0,122	0,009	0,376	2,15e ¹¹
JUN	0,541	0,003	0,143	0,006	0,538	6,91e ¹³
JUL	0,609	0,009	0,191	0,013	0,600	1,62e ¹¹
AGO	0,602	0,028	0,232	0,025	0,574	3,11e ⁰⁹
SET	0,609	0,140	0,249	0,109	0,469	3,42e ⁰⁸
OUT	0,639	0,291	0,282	0,197	0,348	7,21e ⁰⁵
NOV	0,621	0,424	0,288	0,231	0,197	2,23e ⁰²
DEZ	0,636	0,248	0,280	0,157	0,389	7,44e ⁰⁶

Fonte: Autora, 2023.

Os parâmetros analisados demonstram uma relação de concordância entre as variáveis (Figura 15), a velocidade do vento apresenta resultados que correspondem com a incidência de focos obtidos para a região. Olhando para um ambiente externo com influências geográficas atuantes, podemos considerar um cenário ainda mais propício para a propagação do fogo com o auxílio da variável vento, como o caso de regiões com relevos montanhosos, considerando a sua contribuição na propagação do fogo. De acordo com Torres (2018), a localização do incêndio e o material combustível podem diminuir ou aumentar a influência da direção do vento, considerando que as chamas quando atingem uma determinada altura favorecem a velocidade de avanço do fogo.

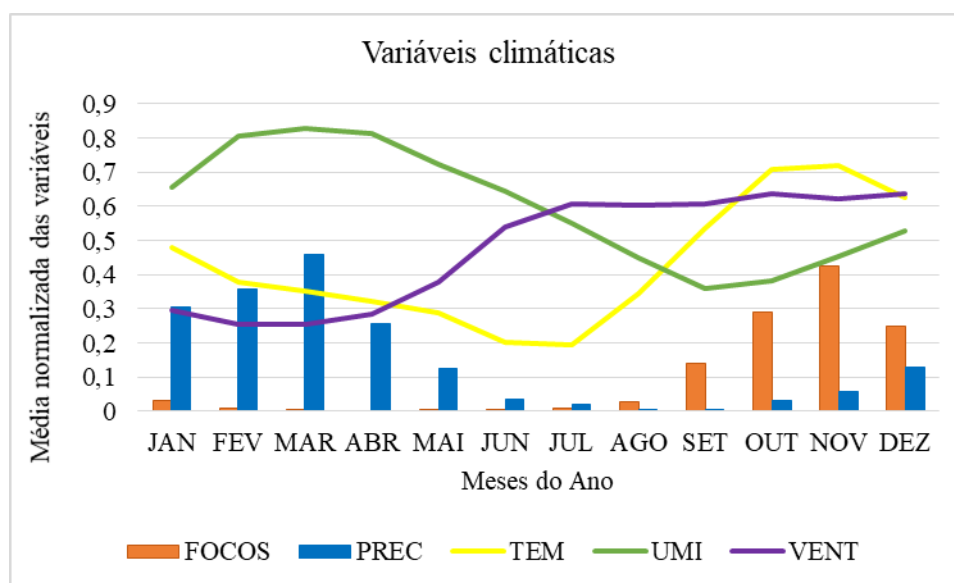
Figura 15: Gráfico de distribuição das médias da velocidade do vento e focos de calor durante o período de 2002-2021.



Fonte: Autora, 2023.

De acordo com as tabelas apresentadas é possível observar que cada variável climática abordada, tem sua influência sobre o aumento ou redução na média dos focos de calor, porém é possível destacar que algumas possuem uma incidência maior do que outras, como é o caso da precipitação e a umidade relativa do ar, pela distribuição durante os meses do ano e a conformidade dos dados nas estações chuvosas da região (1º semestre), como também durante o período de preparação do solo para cultivos agrícolas na área APA (2º semestre). A Figura 16 destaca todas as distribuições das médias das variáveis e dos focos. A partir desta, é notória a relação que ambas as variáveis em conjunto possuem sobre a incidência dos focos.

Figura 16: Relação das médias mensais de todas as variáveis climáticas e os focos de calor no decorrer de 2002-2021.



Fonte: Autora, 2023.

Conforme o comportamento avaliados sobre todas as variáveis, é provável estabelecer uma relação significativa existente entre as variáveis climáticas e o aumento gradativo dos focos de calor na região da APA no Ceará, onde a distribuição sazonal das médias de temperatura e velocidade do vento favorecem, de maneira proporcional, a ocorrência de incêndios e as médias de precipitação e umidade relativa, de maneira inversamente proporcional.

5.2 Fenômenos de El Niño; La Niña e neutro e sua influência sobre os focos de calor.

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos através da relação estabelecida entre os fenômenos de EL Niño, La Niña e neutro durante os meses compreendidos no cenário de 2002-2021. Considerando a influência que estes fenômenos exercem sobre as variáveis climáticas no globo, principalmente a precipitação, estes dados foram submetidos às análises estatísticas onde as tabelas abaixo mostram as medidas de tendência central de cada fenômeno em relação aos focos de calor, separadamente, afim de demonstrar o comportamento sazonal das variáveis.

A Tabela 10 mostra a estatística de focos de calor e de anos de El niño no período de 2002-2021. Para a construção desta relação foram retirados os dados correspondentes aos anos de predominância de El niño dentro da série temporal, e assim construídos os parâmetros

populacionais, em concordância com a metodologia empregada na seção anterior o método de normalização dos dados também foram adotados.

Tabela 10: Médias, desvios padrões, desvios absolutos e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e El Niño comparados no período de 2002-2021.

Mês	Média El Niño. (2002-2021)	Média Focos (2002-2021)	D.P El Niño	D.P Focos	Dif	P-valor
JAN	0,28	0,48	0,36	0,38	-0,20	3,22e ⁰¹
FEV	0,28	0,17	0,39	0,22	0,11	6,65e ⁰¹
MAR	0,36	0,00	0,44	0,00	0,36	1,96e ⁰¹
ABR	0,33	0,00	0,58	0,00	0,33	4,23e ⁰¹
MAI	0,50	0,00	0,71	0,00	0,50	5,00e ⁰¹
JUN	0,43	0,00	0,51	0,00	0,43	2,86e ⁰¹
JUL	0,31	0,00	0,47	0,40	0,31	7,00e ⁰¹
AGO	0,31	0,13	0,47	0,22	0,18	8,36e ⁰¹
SET	0,26	0,16	0,38	0,15	0,10	5,81e ⁰¹
OUT	0,29	0,27	0,33	0,35	0,02	9,07e ⁰¹
NOV	0,30	0,29	0,34	0,26	0,01	9,72e ⁰¹
DEZ	0,26	0,42	0,36	0,32	-0,16	4,03e ⁰¹

Fonte: Autora, 2022.

De acordo com os resultados obtidos, nota-se que as médias dos números de focos são um pouco maiores nos meses com predominância de El Niño do que no período base dos dados, a relação de aumento na médias apresentadas aparece proporcional em alguns meses para ambas as variáveis, como é possível observar nos dados apresentados no segundo semestre, onde são registradas as maiores médias de ambas as variáveis. Ressalta-se que para os meses de redução nos focos de calor, o teste de significância não apresenta uma diferença significativa nas diferenças das médias, com valores de p-valor maiores que o nível estabelecido, e consequentemente com os menores desvios.

Com o fenômeno de La Niña (Tabela 11) nota-se que em alguns meses que climatologicamente são mais chuvosos, primeiros seis meses do ano, a média dos focos desses anos é um pouco menor do que a média para 2002-2021, refletindo a influência da precipitação na situação de focos de incêndios. Da mesma maneira as médias obtidas para o final do ano são maiores com incidência de La Niña do que o registrado no período base, em que este fator pode estar relacionado ao manejo do solo durante este período, onde variáveis como a umidade do solo favorecem o cultivo agrícola e auxiliam nesta proporção, esta relação também foi encontrada nas análises apresentadas por Alves et al., (2021) sobre toda a caatinga no Brasil, um dos biomas predominantes na região da APA Chapada do Araripe.

Tabela 11: Médias, desvios padrões, desvios absolutos e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e La Niña comparados no período de 2002-2021.

Mês	Média La Nina. (2002-2021)	Média Focos (2002-2021)	D.P La Nina	D.P Focos	Dif	P-valor
JAN	0,36	0,26	0,67	0,12	0,10	3,21e ⁰²
FEV	0,77	0,37	0,21	0,24	0,40	1,02e ⁰¹
MAR	0,73	0,36	0,36	0,48	0,38	1,23e ⁰¹
ABR	0,64	0,00	0,41	0,00	0,64	2,51e ⁰²
MAI	0,55	0,30	0,51	0,53	0,25	7,32e ⁰¹
JUN	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	2,25e ⁰³
JUL	0,60	0,47	0,53	0,50	0,13	7,68e ⁰¹
AGO	0,73	0,29	0,38	0,11	0,44	3,51e ⁰²
SET	0,65	0,22	0,36	0,10	0,43	3,11e ⁰²
OUT	0,62	0,31	0,38	0,21	0,31	8,82e ⁰²
NOV	0,58	0,33	0,38	0,22	0,24	1,21e ⁰¹
DEZ	0,54	0,32	0,36	0,27	0,23	1,49e ⁰¹

Fonte: Autora, 2022.

Os resultados apresentados na Tabela 12 correspondem ao anos neutros, onde é possível observar que houve certa similaridade com as medidas encontradas nos anos de El Niños, no segundo semestre do ano a média dos focos de calor em alguns meses foram um pouco maiores que o período base de estudo (2002-2021). Ressalta-se também que esta composição apresentou as maiores incidências de significância estatística acima do nível estabelecido de 5%, onde para as médias mensais registradas nos meses de Fevereiro a Maio e Novembro os resultados aceitam a hipótese nula de que não há diferença entre as médias das duas variáveis.

Tabela 12: Médias, desvios padrões, desvios absolutos e significância segundo teste t Student do número de focos de calor e Neutro comparados no período de 2002-2021.

Mês	Média Neutro. (2002-2021)	Média Focos (2002-2021)	D.P Neutro	D.P Focos	Dif	P-valor
JAN	0,39	0,10	0,45	0,09	0,28	1,61e ⁰¹
FEV	0,49	0,23	0,37	0,37	0,26	2,21e ⁰¹
MAR	0,57	0,11	0,40	0,33	0,46	1,84e ⁰²
ABR	0,53	0,08	0,36	0,29	0,45	2,86e ⁰³
MAI	0,49	0,05	0,36	0,16	0,43	4,69e ⁰⁴
JUN	0,51	0,19	0,38	0,31	0,32	2,21e ⁰²
JUL	0,44	0,22	0,38	0,35	0,22	1,34e ⁰¹
AGO	0,51	0,29	0,32	0,33	0,23	1,35e ⁰¹
SET	0,52	0,35	0,37	0,38	0,17	3,97e ⁰¹
OUT	0,57	0,31	0,48	0,29	0,26	2,83e ⁰¹
NOV	0,50	0,29	0,51	0,47	0,21	5,69e ⁰¹
DEZ	0,50	0,15	0,51	0,11	0,35	2,71e ⁰¹

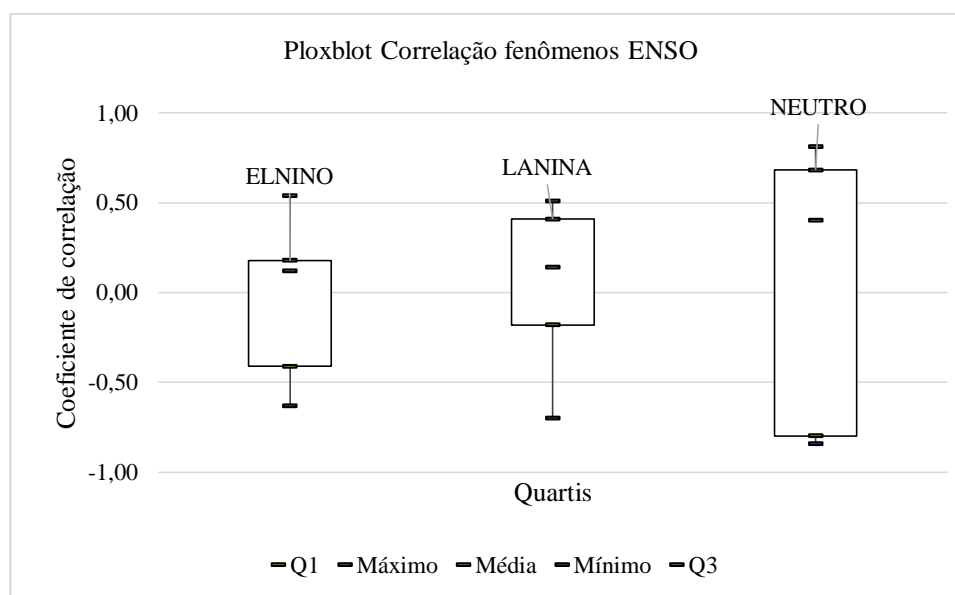
Fonte: Autora, 2023.

5.3 Coeficiente de Correlação de Pearson

Nessa seção faz-se uma análise da correlação existente entre os focos de calor com as variáveis meteorológicas e de superfície, juntamente com os fenômenos de El Niño, La Niña e Neutro. A correlação é distribuída anualmente, de maneira que a análise estatística é realizada para cada ano, a fim de discorrer sobre a influência das variáveis sobre a incidência dos focos, de acordo com os critérios de cada coeficiente.

A Figura 17 apresenta os valores da correlação existente para os fenômenos climáticos de El Niño, La Niña e Neutro para cada ano, respectivamente no período de 2002-2021 em relação aos focos de incêndio para o mesmo período. No gráfico de bloxplot os fenômenos estão distribuídos em quartis, onde é possível descrever os valores da amostra divididos em 4 partes, onde Q1 (25% acima da média da amostra), máximo, média e Q3 (25% abaixo da média da amostra). Dessa forma cada caixa representa a uniformidade dos valores dentro da amostra, quanto mais próximos os valores estiverem dentro da série temporal menor será o intervalo.

Figura 17 - Os valores da correlação existente entre os fenômenos climáticos de El Niño, La Niña e Neutro, respectivamente, no período de 2002-2021 em relação aos focos.



Fonte: Autora, 2022.

Coerente com os resultados aqui apresentados, Teodoro et al., (2022) em um estudo sobre o impacto de vinte anos de focos de incêndio e sua relação com variáveis climáticas nas regiões brasileiras, destacou em suas análises uma maior incidência de focos de fogo e áreas queimadas durante o período de La Niña, em diversas regiões. Podemos observar na figura 17 que no cenário com predominância de eventos de La Niña a amostra se encontra quase a totalidade com correlações positivas, indicando também pelo tamanho da caixa no bloxplot uma aproximação do dados com a média.

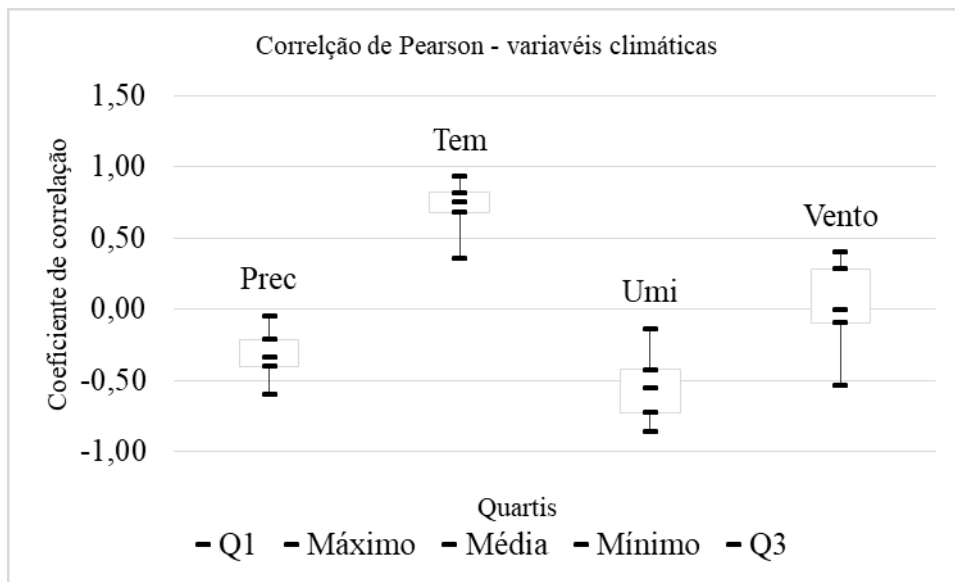
No período de El Niño os resultados da correlação nos mostram dados mais próximos em seus quartis, com a maioria dos valores negativos, porém com a média indicando um valor positiva dentro do cenário. Esta influência é caracterizada pelas variações ocorridas dentro de cada fenômeno. Menezes et al. (2008) afirmam que a união do El Niño com a Oscilação Sul (ENOS) e o Dipolo do Atlântico Tropical afetam diretamente o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que, por sua vez, influencia na distribuição das chuvas sobre o Nordeste do Brasil, ocasionando uma redução nas estações chuvosas.

Já para os anos de predominância de neutralidade, temos uma amostra bastante heterogênea, onde os valores estão distantes uns dos outros indicando uma relação nula entre a correlação estabelecida com a incidência de focos de calor.

A Figura 18 o Bloxplot representa a correlação indicada pelas 4 variáveis climáticas analisadas (Precipitação, temperatura, umidade e vento). Os resultados apresentados seguem a

mesma linearidade dos parâmetros populacionais calculados sobre cada variável na seção anterior, onde as anomalias positivas observadas nas variáveis de precipitação e umidade mostraram uma correlação negativa, indicando uma relação inversamente proporcional aos focos de calor.

Figura 18 - Bloxplot da correlação de Pearson entre as variáveis de precipitação, temperatura, umidade e vento respectivamente apresentados no gráfico.



Fonte: Autora, 2022.

Já na variável de temperatura é possível observar uma contribuição direta sobre os focos de calor, no gráfico a tendência positiva dos coeficientes de correlação indicam que esta variável contribua de maneira direta sobre a incidência dos focos, onde a maioria dos dados da amostra se encontra em valores acima de zero (correlação nula) atribuindo a amostra uma caracterização de homogeneidade em seus resultados, através da proximidade distribuída no bloxplot.

O vento é uma das variáveis que também apresenta uma influência direta sobre os focos de calor para a região, a maioria dos coeficientes calculados na série se distribuem acima de zero, indicando uma correlação positiva entre as variáveis, porém não tão acentuada quanto a temperatura, ou seja a distribuição dos valores da amostra estão mais distantes da média central.

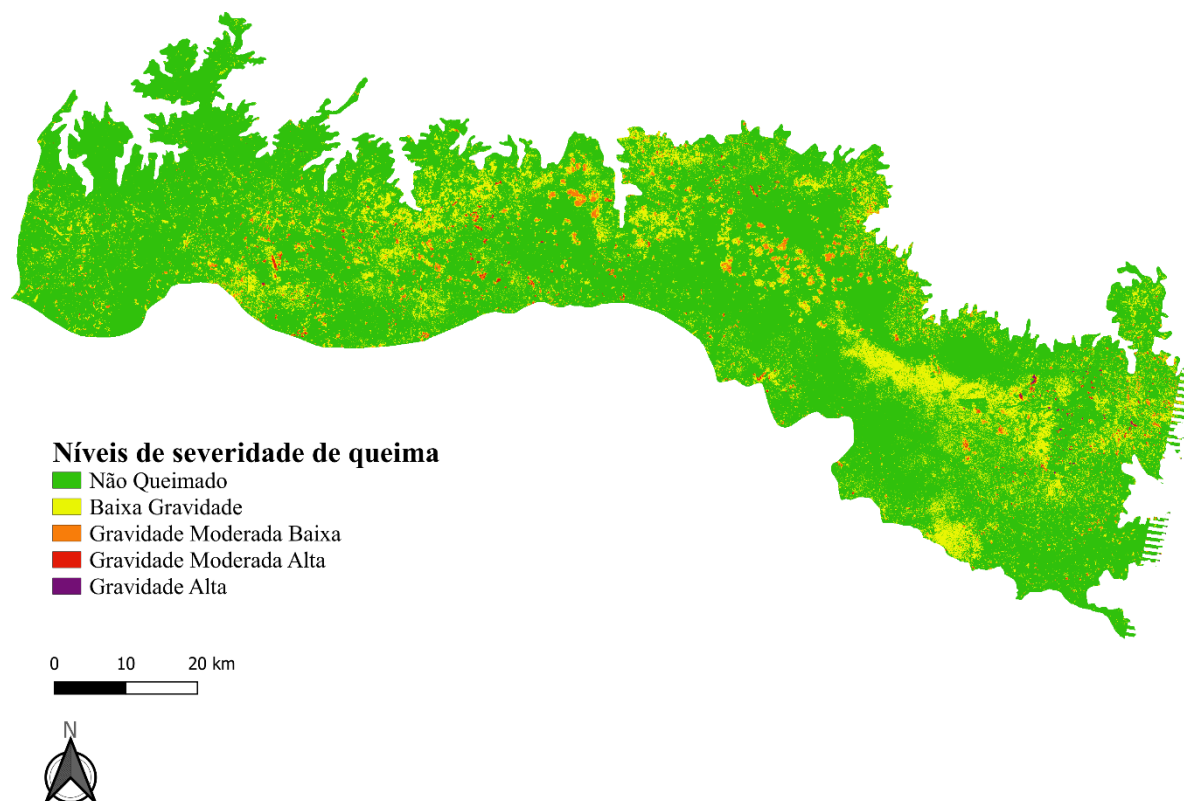
6 GRAU DE SEVERIDADE

Os resultados apresentados nesta seção correspondem ao mapeamento da área queimada na APA da Chapada do Araripe compreendida dentro do cenário de 20 anos de análises de imagens (2002-2021), através da assinatura espectral das áreas queimadas, utilizando imagens multiespectrais com o uso de sensores multiespectrais e hiperespectrais de média resolução espacial. A partir das camadas das imagens foram calculadas as taxas de queima normalizada, o índice diferenciado de queimada normalizada e o cálculo da área queimada de acordo com a classificação do Grau de severidade.

O mapeamento realizado na APA foi dividido em 16 cenários, durante o processamento das imagens identificamos falhas dos satélites para os anos de 2007, 2010, 2011 e 2012, para a realização da classificação da gravidade da queimadura são necessárias imagens de períodos que antecedem e sucedem os registros de ocorrência de incêndio e para os anos destacados acima não obtivemos imagens que pudessem ser utilizadas. Devido a quantidade de mapas elaborados destacamos nas discussões os anos de maior e menor incidência de cicatrizes deixadas no solo, e para fins de informe os demais mapas confeccionados se encontram no final da pesquisa na seção de anexo.

A figura 19 apresenta os níveis em severidade de acordo com a classificação descrita na legenda para o ano de 2003, com destaque para o ano que de acordo com o focos de calor obtidos pelo INMET foi o ano de maior incidência dentro do cenário selecionado para a pesquisa. Na imagem é possível identificar diversas cicatrizes de queima deixadas do solo, principalmente na região de entorno a FLONA, com bastante incidência de níveis de baixa gravidade sinalizados pela cor amarela.

Figura 19 - Mapa de classificação para os níveis de severidade de queima para o ano de 2003 na APA Chapada do Araripe.



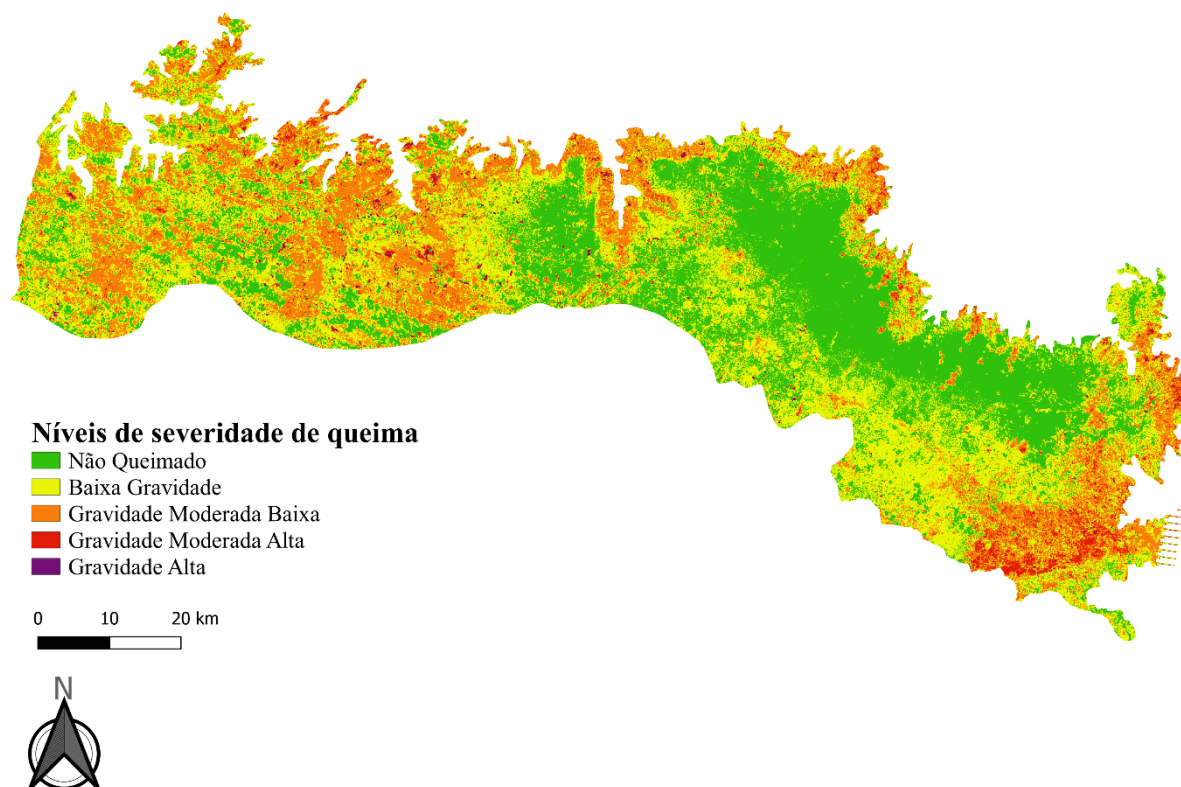
Fonte: Autora, 2023.

De acordo com os focos registrados pelo satélite de referência do Bando de Dados (BD) Queimadas 2003 foi o ano de maiores registros de focos de calor para a área de estudo, porém nas análises realizadas com o processamento das imagens podemos destacar os anos de 2004; 2013 e 2014 com resultados mais severos de queima registrado. Isso se deve ao fato de que nem todo foco de calor registrado pelo satélite representa um incêndio, alguns estudos (GONTIJO et al., 2011; CLEMENTE; JÚNIOR; LOUZADA, 2017) ressaltam em suas análises que os focos de calor registrados pelos satélites podem não corresponder à uma detecção de queimada, mas há outras atividades como por exemplo, de indústrias ou especificidades do relevo, indicando assim a necessidade da validação dos focos através de produtos de sensoriamento remoto, como o mapeamento da área queimada.

A figura 20 apresenta os níveis de severidade para o ano de 2004 sobre a APA. O mapa apresenta um crescente número de cicatrizes e relação ao ano anterior, podemos notar tanto um aumento em relação ao território queimado como também a magnitude da área queimada de cada nível de severidade na classificação do dNBR, a tonalidade laranja caracterizada pela gravidade moderada baixa se encontra em quase todo o território da APA, onde também

conseguimos visualizar alguns pontos dentro da floresta mais densa. O ano de 2004 se destacou pelo maior número de cicatrizes de gravidade alta presente em todo o cenário analisado (2002-2021).

Figura 20 - Mapa de classificação para os níveis de severidade de queima para o ano de 2004 na APA Chapada do Araripe.



Fonte: Autora, 2023.

Em concordância com os resultados encontrados, um estudo recente realizado por Souza e Sakamoto (2022) sobre a caracterização de áreas queimadas no sul do Ceará, os autores destacaram em meio ao cenário de análise o ano de 2004 como o que teve maior número de cicatrizes e maior área queimada.

O ano seguinte, 2005, foi característico de um cenário totalmente oposto ao ano anterior, no qual o mapeamento realizado indicou uma maior predominância de níveis de severidade não queimado. 2005 foi marcado pelo final de um ano com incidência de eventos de El-nino (2004) com a entrada, a partir do mês de março, para um fenômeno de neutralidade de acordo com a tabela de Classificação de eventos de ENSO, onde as características climáticas desse evento podem ter influenciado o cenário de cicatrizes visualizadas na figura 21.

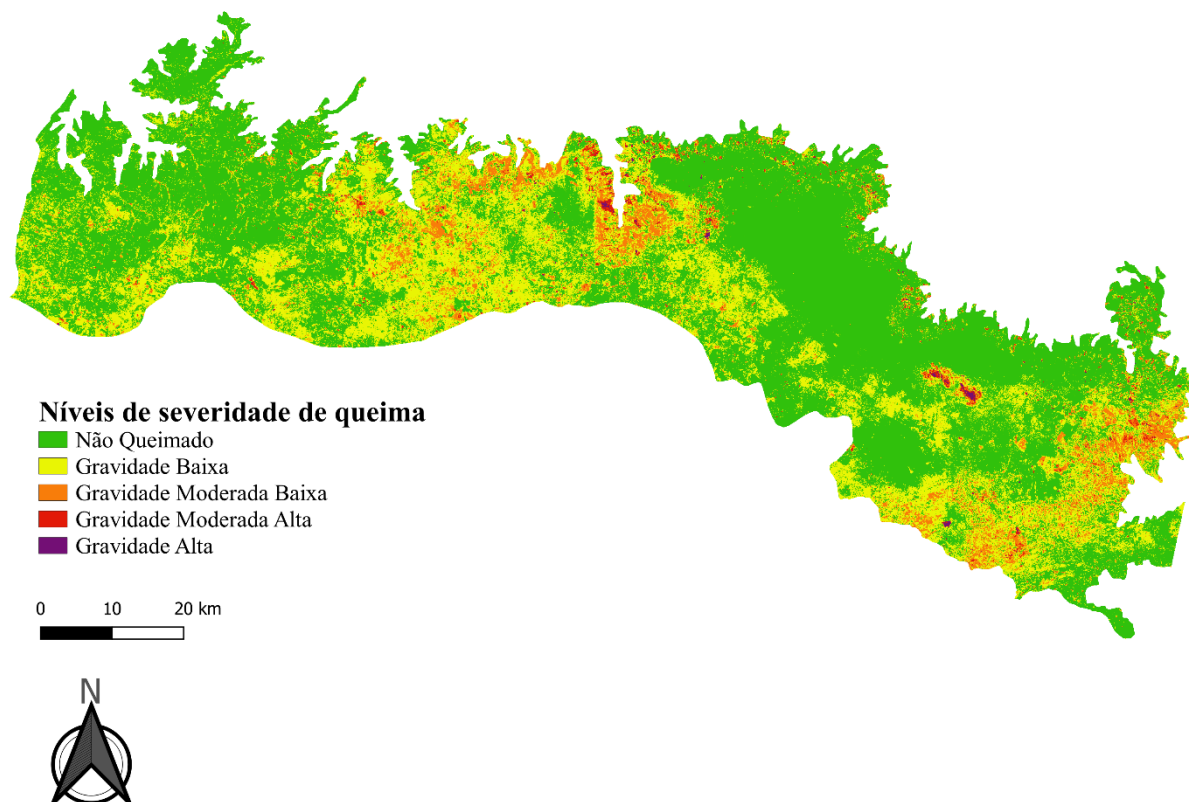
Figura 21 - Mapa de classificação para os níveis de severidade de queima para o ano de 2005 na APA Chapada do Araripe.



Fonte: Autora, 2023

O final do ano de 2019 foi palco de um dos maiores incêndios já registrado na região da APA Chapada do Araripe, de acordo com dados divulgados pela mídia (GOMES E AZEVEDO, 2020) estima-se que cerca de 2800 hectares foram consumidos pelo fogo, aproximadamente 80% da produção de pequi foi perdida nas chamas entre os municípios de Barbalha e Jardim. A Figura 22 mostra a classificação de grau de severidade exatamente no ano em que ocorreu este incidente, o mapa apresenta diversos pontos com níveis variando de gravidade moderada a alta com pontos bem próximos uns dos outros. No Mapa é possível identificar as cicatrizes deixadas pelo incêndio descrito acima, onde nas delimitações que correspondem aos municípios citados podemos visualizar áreas de grande incidências de gravidade alta nas cicatrizes.

Figura 22 - Mapa de classificação para os níveis de severidade de queima para o ano de 2019 na APA Chapada do Araripe.

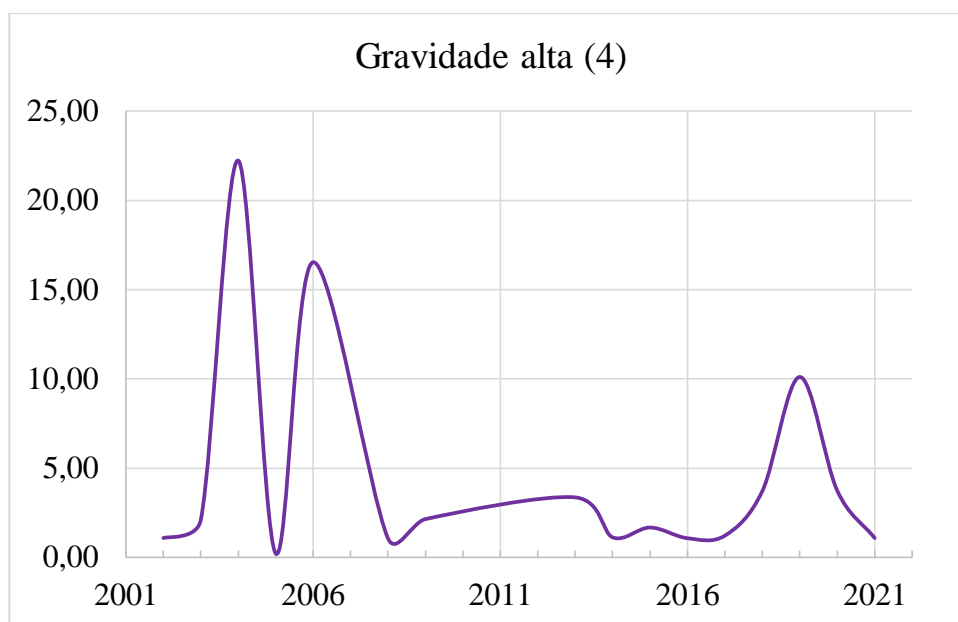


Fonte: Autora, 2023

6.1 ÁREA DE QUEIMA REGISTRADA

De acordo com as alterações que a vegetação sofreu após a queima em regiões distintas do espectro eletromagnético, podemos obter a quantificação da área queimada em quilômetros quadrados (km²) na APA Chapada do Araripe. As classes estabelecidas pelos intervalos dividiram a área em 7 níveis, onde a severidade do fogo foi avaliada pela extensão das cicatrizes deixadas sobre o solo. A Figura 23 apresenta os resultados encontrados conforme a classe 4 (Gravidade alta).

Figura 23: Gráfico total de área queimada (km²) de acordo com a classificação dNBR para Gravidade Alta dentro do cenário compreendido entre 2002 e 2021.

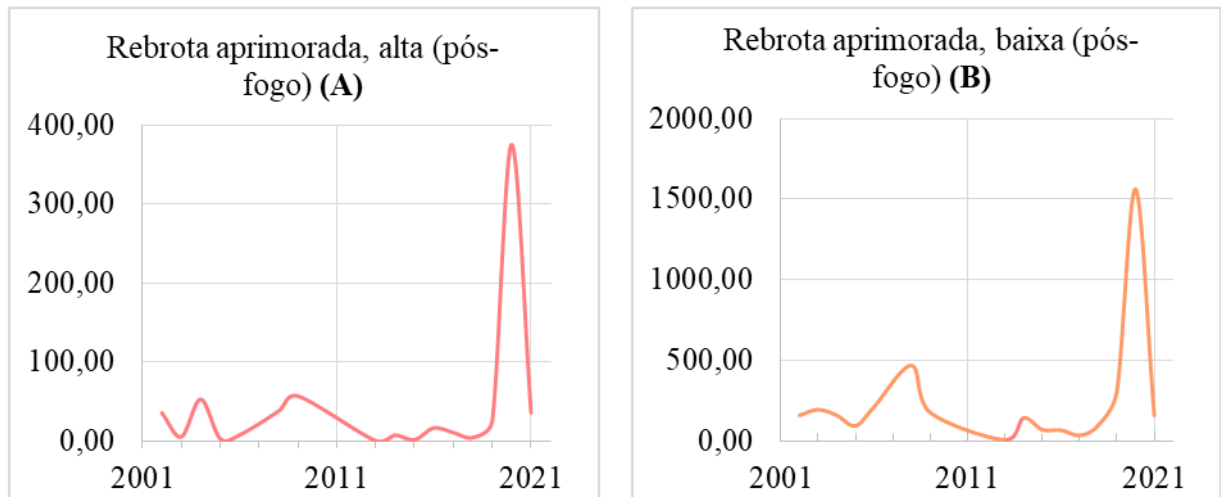


Fonte: Autora, 2023

O gráfico acima apresenta os valores em km² calculados para a classe de gravidade alta estabelecida pelo intervalo, como podemos observar a série não estabelece uma linearidade ao decorrer dos anos, conseguimos identificar alguns picos dentro do cenário abordado (2002-2021) podendo alcançar o valor de 22,24 km² no ano de 2004, observa-se que neste ano uma grande extensão da APA sofreu com a incidência de incêndios. Foi estimado que cerca de 71% da área total apresenta áreas carbonizadas, porém a grande parte exibe uma classe de baixa severidade (39,47%), Gravidade moderada baixa (23,93%).

A primeira evidência de queimadas detectadas por imagens de satélite é o depósito de cinzas e carvão (SOUZA, 2014), esse material fica pouco tempo sobre o solo devido a influência de variáveis climáticas como chuva e vento (FRANÇA et al., 2007). Após isso, o solo fica exposto e esse período dura até a rebrota da vegetação, a classe de rebrota aprimorada alta e baixa (pós fogo) trata-se da capacidade de retorno ao estado original da vegetação após o período de incêndio. A extensão da área queimada de acordo com a classificação de rebrota foi dividida em dois níveis, como podemos observar na Figura 24 (A) e (B).

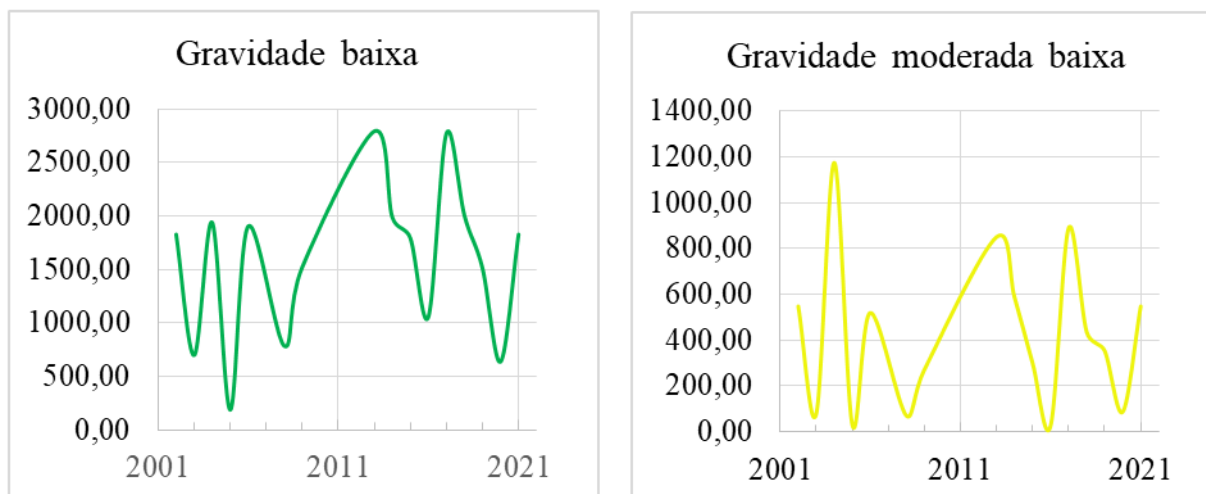
Figura 24 - Gráfico total de área queimada (km²) de acordo com a classificação dNBR para as classes de rebrota aprimorada alta (A) e baixa(B) pós fogo dentro do cenário compreendido entre 2002 e 2021.



Fonte: Autora, 2023

Devido à grande biodiversidade concentrada na APA, abrangendo quatro biomas em sua formação vegetal, podemos considerar a forte influência que esta característica exerce sobre a capacidade regenerativa do solo ao visualizarmos as cicatrizes de área queimada. Os resultados apresentados em um estudo realizado por Da Silva et al. (2021) relatou que existe uma forte relação entre a ocorrência de incêndios florestais, associados as condições meteorológicas, ambientais e culturais das comunidades cearenses. Essa afirmação condiz com os resultados encontrados ao longo das análises realizadas, onde podemos observar uma contribuição de todas as variáveis para a construção de um cenário sensível ao fogo. Os gráficos projetados abaixo correspondem as classes de gravidade baixa (Figura 25, A) e gravidade moderada baixa (Figura 25, B), essas duas classes tiveram os maiores índices de área queimada sobre a APA.

Figura 25 - Gráfico total de área queimada (km²) de acordo com a classificação dNBR para as classes de gravidade baixa e gravidade moderada baixa, dentro do cenário compreendido entre 2002 e 2021.



Fonte: Autora, 2023

Como podemos visualizar nos gráficos acima as linhas se dispõem na série com mudanças bruscas de um ano para o outro e sempre com valores mais significativos do que as demais classes. Da mesma forma o percentual de área queimada segue a mesma linearidade, o ano de 2013 foi o ano de maior índice de cicatrizes de queima para a classificação de gravidade baixa com cerca de 56% da área queimada, para a gravidade moderada baixa observamos que o ano de 2004 foi o de maior impacto sobre a APA de acordo com esta classificação com cerca de 1175km² de área acometida pelas chamas.

Resultados semelhantes também foram encontrados em estudos recentes, como o desenvolvido por Torres (2022) com o objetivo de calcular o número de cicatrizes e sua densidade no território cearense, para o período de 2013 a 2020, os resultados mostram que a região sul e centro-sul do estado são as que mais apresentam uma alta atividade de queimadas, sendo justamente a porção sul do estado a área que compreende a APA. Souza e Sakamoto, (2022) caracterizaram a área queimada na região do Cariri (Ceará) entre 2002 e 2021 onde também destacaram o ano de 2004 como o maior em registros de cicatrizes deixadas pelo fogo.

7 CONSIDERAÇÕES

Diante dos objetivos estabelecidos podemos afirmar que existem relações proporcionais e inversas ao longo dos meses distribuídos no ano entre as variáveis climáticas e os focos de calor. As variáveis climáticas possuem influência sobre a incidência dos focos de incêndio, onde as mesmas contribuem de maneira significativa no aumento e redução dos números registrados ao longo dos anos. As tendências nos coeficientes de correlação confirmaram os resultados e interpretações encontradas nos números obtidos pelas medidas de dispersão, indicando que há correlação entre as variáveis estudadas.

Nos anos com predominância de eventos de El Niño, as médias dos focos de calor mostraram um aumento em relação ao período base de análise, principalmente no período de estiagem caracterizado no segundo semestre do ano. Com o fenômeno de La Niña nota-se que em alguns meses que climatologicamente são mais chuvosos, a média dos focos desses anos é um pouco menor do que a média para 2002-2021, refletindo a influência que o evento possui sobre a variável precipitação e conseqüentemente na situação dos focos de incêndio.

Com isso destaca-se a importância de analisar diversas variáveis em conjunto, e não apenas considerar as análises climatológicas isoladas, isto devido a influência que outros fatores exercem sobre a incidência dos focos de incêndio, como o manejo do solo durante o período de cultivo, ações antrópicas que fortalecem o processo de queima na área e auxiliam na propagação.

Pode-se considerar que a metodologia utilizada mostrou-se adequada para estimar às áreas de queimadas e a dimensão dos níveis de severidade, principalmente diante de limitações para a quantificação do tamanho das regiões afetadas, considerando de extrema necessidade a mensuração das proporções do impacto causado pelos incêndios, principalmente em áreas florestais.

O mapeamento do grau de severidade na APA apresentou resultados relevantes quando associados aos eventos de queima registrados pelos principais meios de informações, onde foi possível visualizar a extensão da área acometida pelo fogo e demonstrar as cicatrizes deixadas sobre o solo e como a regeneração ocorreu nos anos seguintes. A identificação das cicatrizes de queima através da interpretação das imagens auxilia no reconhecimento das áreas mais acometidas pelo fogo, destacando a importância do emprego de metodologias que analisem uma série temporal ampla, abrangendo diferentes comportamentos do fogo e eventos climáticos.

As diversidades nas características vegetativas predominantes sobre a região destacam o quanto a relação clima-fogo e vegetação-fogo exercem um papel fundamental sobre o regime

por ele adotado, onde o material combustível possui diferentes reações ao entrar em contato com o solo e sofrendo assim modificações diretas ou indiretas.

8 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que em pesquisas posteriores sejam inseridas análises laboratoriais que visualizem como a combustão é feita por essas matérias, tanto no cenário pré-fogo quanto no pós-fogo.

Neste sentido torna-se primordial a implementação de ideologias e práticas sustentáveis para lidar com o fogo, tanto em terras privadas como públicas, baseada em tecnologias eficientes e de fácil acesso para as comunidades locais. Existem diversas alternativas apresentadas ao longo do tempo como é o caso dos sistemas agroflorestais, porém a falta de políticas públicas que informem e capacitem os atores para executar essas estratégias, e que também ofereçam apoio financeiro para a implementação de novas técnicas é o principal desafio.

Outro método de lidar com as dificuldades e lacunas na construção de metodologias que forneçam alternativas estratégicas aos diversos usuários do fogo, é o uso de técnicas de interpretação de imagens onde a mesma proporciona a criação de propostas de educação ambiental palpável e de fácil visualização ao cidadão, ou mesmo para os meios de comunicação. Através de técnicas de sensoriamento remoto é possível obter a quantificação do tamanho das regiões afetadas e mensurar as proporções do impacto causado pelos incêndios, principalmente em áreas florestais.

Diante das implicações encontradas, ressalta-se a importância do emprego de metodologias que considerem uma série temporal ampla que abranja diferentes eventos climáticos. Nessa perspectiva a educação ambiental pode ser visualizada como uma fonte de informações que auxilia no desenvolvimento de oportunidades interdisciplinares na inclusão da sociedade, tanto na conscientização de suas práticas, como na prevenção e construção de um futuro sustentável.

A problemática ambiental constitui um tema muito propício para discussões, sobretudo em torno das práticas sociais, possibilitando a implementação de alternativas diversificadas, no qual a garantia do acesso à informação proporciona a consolidação para uma participação ativa, principalmente das populações das áreas impactadas pela degradação ambiental.

REFERÊNCIAS

- AGRESTI, A. A survey of exact inference for contingency tables. **Statistical Science**, v. 7, n. 1, p. 131–153, 1992
- ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; DIAZ, M.C.V. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. **Earth Interactions**, v. 10, n. 6, p. 1-17, 2006.
- ALENCAR, A., ASNER, GP, KNAPP, D., ZARIN, D. Variabilidade temporal dos incêndios florestais em leste da Amazônia. **Eco Aplic.** 21:2397-2412, 2011.
<http://dx.doi.org/10.1890/10-1168.1>.
- ALENCAR, A., et al. Mapeamento de três décadas de mudanças na vegetação nativa do Cerrado brasileiro usando dados de landsat processados na plataforma Google Earth Engine. **Sensoriamento Remoto**, 12(6), 924, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12060924>.
- ALVES, D. B; PÉREZ, F.C. Múltiplas fontes de dados de sensoriamento remoto para avaliar padrões espaço-temporais de incidência de fogo sobre o Enclave de Vegetação do Cerrado Campos Amazônicos (Amazônia Brasileira). **Ciência do Meio Ambiente Total**, v. 601, p. 142-158, 2017.
- ANDREOLI, R. V., KAYANO, M.T., GUEDES, R.L., OYAMA, M.D., ALVES, M.A.S. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. *Revista Brasileira de Meteorologia* 19, 337– 344, 2004.
- ANTUNES, P. B. Comentários ao Novo Código Florestal. São Paulo: Atlas, 2013. 345 p.
- ARAÚJO, H. J. B.; OLIVEIRA, L. C.; VASCONCELOS, S. S.; CORREIA, M. F. Danos provocados pelo fogo sobre a vegetação natural em uma floresta primária no estado do Acre, Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 297-308, 2013.
- ARGIBAY, D. S.; SPARACINO, J; ESPINDOLA, G. M. Avaliação de longo prazo dos regimes de fogo em um ecótono brasileiro entre florestas tropicais sazonalmente secas e savana. **Indicadores Ecológicos** , v. 113, p. 106-151, 2020.
- BENJAMIN, I. et al. Estudo preliminar sobre a incidência de focos de calor em Unidades de Conservação -GEF Terrestre. *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil*, n.1, p.250-250, 2019.
- BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A.; ÚBEDA, X.; MARTIN, D. Fire and soils: Key concepts and recent advances. **Geoderma**, v. 191, p. 3-13, 2012.
- BERLLATO, M.A., FONTANA, D.C. El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. **Editora da UFRGS**, Porto Alegre, 2003.

BOND T.C; et al. Um inventário global baseado em tecnologia das emissões de carbono preto e orgânico da combustão. **Jornal de Pesquisa Geofísica**, V.109, 203, 2004.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto de 04 de julho de 1997**. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Ministério da Casa Civil: Brasília, 1997.

BRASIL. Presidência da República. Lei Federal 12.651/2012. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Ministério da Casa Civil: Brasília, 2012.

BRASIL. Presidência da República. **Lei Federal 9.985/2000**. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Ministério da Casa Civil: Brasília, 2000.

CARDIL, A. et al. O desmatamento recente impulsionou o aumento dos incêndios na Amazônia. *Ambiente. Res. Lett.* 15, 121003, 2020. [http:// dx.doi.org/10.1088/1748-9326/abcac7](http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/abcac7).

CARDOZO, EG, et al. A riqueza de espécies aumenta a renda em sistemas agroflorestais da Amazônia oriental. **Agrofor**. V. 89, 901-916, 2015.

CARVALHO, F. M. V. Padrões de autocorrelação espacial de índices de vegetação MODIS no bioma cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.279-290, 2008.

CAVALCANTI, A. C.; LOPES, O. F. **Condições edafoclimáticas da Chapada do Araripe e viabilidade de produção sustentável de culturas**. Brasília. EMBRAPA-SPI, 1994. p. 42.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Mudanças climáticas e Recursos Hídricos. **Avaliação e diretrizes para a adaptação**. Brasília, p.96. 2016.

CHEN, P. Y; POPOVICH P. M. Correlation: parametric and nonparametric measures. London: **Sage**, 95p. 2002.

CHUVIECO, E. **Teledeteccion Ambiental**. La observacion de la Tierra desde el espacio. Barcelona: Editorial Ariel, 2010. 528 p.

COCHRANE, M. A.; LAURANCE, W. F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 3, p. 311-325, 2002.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. 1995, Rio de Janeiro. **Agenda 21**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 1995. 475 p. (Ação parlamentar, n. 56). Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf>>. Acesso em: mar. 2022.

CONGEDO, L. Plugin de classificação semiautomática: Uma ferramenta Python para download e processamento de imagens de sensoriamento remoto no QGIS. **Journal of Open Source Software** , v. 6, n. 64, pág. 3172, 2021.

DA SILVA ALVES, Eudmar; DA SILVA, Flávio Hugo Barreto Batista. Zoneamento Pedoclimático da Chapada do Araripe: Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade de Solos da Folha Cedro (Escala 1: 100.000). In: Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais, **Anais [...]** Rio de Janeiro-RJ, EMBRAPA, 2008.

DA SILVA, S.L; BAPTISTA, G.M.M. Análise do Grau de Severidade de Áreas Queimadas na Estação Ecológica de Águas Emendadas por Meio de Dados do Landsat 8. **Revista Brasileira de Geografia Física**, V. 08, N. 02, p. 431-438, 2015.

DALDEGAN, G.A., et al. Padrões Espaciais de Recorrência de Incêndios Usando Sensoriamento Remoto e SIG no Cerrado Brasileiro: Reserva Natural Serra do Tombador, Brasil. **Sensoriamento remoto**, V.6, p.9873-9894, 2014; doi:10.3390/rs6109873.

DE ALCÂNTARA, E. F; FERNANDES, R. O. MAPEAMENTO E ANÁLISE DOS NÍVEIS DE SEVERIDADE DE ÁREAS DE QUEIMADAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO COM O USO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 37, n. 3, 2020.

ELKINGTON, J. **Sustentabilidade: canibais com garfo e faca**. M. Books, 2020.

FBDS - Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.fbds.org.br/>. Acesso em 14 de Junho de 2022.

FILHO, D.B.F. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: O retorno. **Leviathan: Cadernos de Pesquisa Política**. N. 8, pp.66-95, 2014.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. Oficina de textos, 2016.

FONSECA-MORELLO, Thiago et al. QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: PORQUE AS POLÍTICAS PÚBLICAS TÊM EFEITO LIMITADO? 1. **Ambiente & sociedade**, v. 20, p. 19-38, 2017.

FRANCISCO, P.R.M; NETO, J.D. Água: uso racional e sustentável. **EPTEC**, 1ª Edição, Campina Grande, p 113, 2021. ISBN: 978-65-00-27398-4.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Ceará, 2023. Disponível em: <http://www.funceme.br/>. Acessado em: 12/03/22.

GANASSOLI NETO, E. **Comportamento do fogo em área de savana na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR, p. 82, 2019.

GEOPARK ARARIPE MUNDIAL DA UNESCO. Crato, Ceará, 2023. Disponível em: <http://geoparkararipe.urca.br/>. Acessado em: 21/08/2023.

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.

GOLDAMMER, J.G. Biogeografia histórica do fogo: tropical e subtropical. O EcoImportância lógica, atmosférica e climática dos fogos de vegetação. **John Wiley & Sons, Ltd**, Nova York, pp. 297-314. 1993.

GOMES, M.F; FERREIRA, L. J. Políticas públicas e os objetivos do desenvolvimento sustentável. **Revista Direito e Desenvolvimento**, João Pessoa-PB, V.9, 1-24, Agosto de 2018.

GOMES, S; AZEVEDO, F. Maior incêndio da história devasta plantações de pequi e movimenta voluntários na chapada do Araripe. Site Miséria, Crato, 04 de janeiro de 2020. Disponível em: [https://blog.mettzer.com/referencia-de-sites-e-artigos-online/#:~:text=SOBRENOME%2C%20Nome.-,T%C3%ADtulo%20da%20mat%C3%A9ria.,%3A%20dia%2C%20m%C3%AAs%20e%20ano](https://blog.mettzer.com/referencia-de-sites-e-artigos-online/#:~:text=SOBRENOME%2C%20Nome.-,T%C3%ADtulo%20da%20mat%C3%A9ria.,%3A%20dia%2C%20m%C3%AAs%20e%20ano.). Acessado em : 17/05/23

GOUVEIA, José Rafael Ferreira et al. 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**, v. 14, n. 02, p. 881-996, 2021.

HESSL, Amy E. Caminhos para os efeitos das mudanças climáticas no fogo: Modelos, dados e incertezas. **Progress in Physical Geography** , v. 35, n. 3, pág. 393-407, 2011.

HUESCA, M.; LITAGO, J.; MERINO-DE-MIGUEL, S.; CICUENDEZ-LÓPEZ-OCANA, V.; PALACIOS-ORUETA, A. Modeling and forecasting MODIS-based Fire Potential Index on a pixel basis using time series models. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 26, p. 363–376. 2014.

IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente. **Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais da Floresta Nacional de Araripe-APODI**, Crato, 2006, p. 21.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 30 Abril. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Brasil**, 2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 351 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatísticas Sociais**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em <https://censoagro2017.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/32137-numero-de-municipios-com-queimadas-aumenta-42-9-em-quatro-anos#:~:text=Em%202017%2C%20as%20queimadas%20afetaram,Oeste%20foram%2069%2C%25>. Acesso em 22 de Março de 2022.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. 2023. **Estação Meteorológica**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/esta%C3%A7%C3%B5es-convencionais>. Acesso em 06 de Maio de 2022.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de Dados de queimadas**. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 22 de Mai. 2022.

IPCC, Summary for Policymakers. In: Shukla P.R. et al. Climate Change and Land: na IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2019. Disponível em: <https://bit.ly/317NWCw> Acesso em: 28 Mar. 2022.

IPCC. Global Warming of 1.5°C. **Cambridge University Press**, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 616 pp. 2021, doi:10.1017/9781009157940.

IPCC. **The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC**, Cambridge University Press, Cambridge and New York. 2007.

JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de pesquisa**, p. 189-206, 2003.

JACOMINE, P. T. K. et al. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Vol. II. Recife: MA/DNPEA-SUDENE/DRN, 1973. p. 502.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 604 p. 2009.

JOLLY, W. Matt et al. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. **Nature communications**, v. 6, n. 1, p. 1-11, 2015.

JUSTINO, F.B; DE SOUZA, S.S e SETZER, A. Relação entre “focos de calor” e condições meteorológicas no Brasil. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais [...]**, Foz do Iguaçu-PR: INPE, 2002, p 1-8.

KASISCHKE, Eric S. et al. Monitoramento de incêndios florestais em florestas boreais usando dados de imagem composta AVHRR NDVI de grande área. **Sensoriamento remoto do ambiente**, v. 45, n. 1, pág. 61-71, 1993.

KEELEY, Jon E. Intensidade do fogo, gravidade do fogo e gravidade da queimadura: uma breve revisão e uso sugerido. **Revista internacional de incêndios florestais**, v. 18, n. 1, pág. 116-126, 2009.

KEY, C. H.; BENSON, N. C. Landscape Assessment (LA). In: LUTES, Duncan C. et al. FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. **Fort Collins: USDA Forest Service**, 2006. p. LA-1-55.

LANDGUTH, E.L., et al. The delayed effect of forest fire season particulate matter on subsequent influenza season in a mountain west region of the USA. **Environ. Int.** 139, 105668. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105668>.

LEMES, GP, MATRICARDI, EAT, COSTA, OB, LEAL, FA. Avaliação espaço-temporal de incêndios florestais ocorreram no Parque Nacional da Serra da Canastra entre 1991 e 2011. **Ambiência** 10:247–266, 2014. <http://dx.doi.org/10.5935/ambiencia.2014.supl.03>.

LENTILE, L. B.; HOLDEN A, Z. A.; SMITH, A. M. S.; FALKOWSKI, M. J.; HUDAK, A. T.; MORGAN, P.; LEWIS, S. A.; GESSLER, P. E.; BENSON, N. C. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. **International Journal of Wildland Fire**, v. 15, p. 319–345, 2006.

LI, S. et al. Anthropogenic climate change contribution to wildfire-prone weather conditions in the Cerrado and Arc of deforestation. **Environmental Research**. V. 16, 094051. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1e3a>.

LINN, R. et al. Pimont, Using periodic line fires to gain a new perspective on multi-dimensional aspects of forward fire spread. **Agricultural and Forest Meteorology**, v, 157, p. 60-76, 2012. ISSN 0168-1923, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.01.014>.

LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 2 ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2015. P 788.

LOMBARDI, R.J.R. **Estimativa de áreas queimadas com produtos modis como subsídio à estimativa de emissões de gases de efeito estufa pela queima de biomassa na Amazônia e cerrado brasileiros**. Tese (Doutorado) – Curso de Sensoriamento Remoto, INPE. São José dos Campos-SP, p 188. 2009.

LOTUFO, J. B.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.02, 648-663, 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v13.2.p648-663.

MACEDO, W.; SARDINHA, A.M. **Fogos Florestais**. Vila Real: Universidade de Trás-os Montes e Alto Douro, p, 430. 1985.

MACIEL, T. C. M. **Extrativismo do pequi (*Caryocar coriaceum* Wittm): situação e perspectivas para sua sustentabilidade no Cariri Cearense**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Desenvolvimento Regional do Cariri, Universidade Federal do Cariri, Crato-CE, 2016.

MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARCOVERDE, G. F. B.; HANSEN, M. C. Predicting forest fire in the Brazilian Amazon using MODIS imagery and artificial neural networks. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 11, n. 4, p. 265–272, 2009. DOI: 10.1016/j.jag.2009.03.003.

MARCUZZO, F.F.N., ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia** 28, 429- 440, 2013.

MARENGO, J.A., ALVES, L.M., BESERRA, E.A., LACERDA, F.F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In **Recursos Hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Ed. Instituto Nacional do semiárido. Campina Grande. 2011.

MARENGO, José Antônio. Água e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 22, p. 83-96, 2008.

MÉLO, A.S. et al. Suscetibilidade do ambiente a ocorrências de queimadas sob condições climáticas atuais e de futuro aquecimento global. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.3, 401 - 418, 2011.

MELO, F. P. Risco ambiental e ordenamento do território em Garanhuns-PE. 2016. 246 f. **Tese (Pós-Graduação em Geografia)** - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

MENEZES, H.E.A., BRITO, J.I.B., SANTOS, C.A.C., SILVA, L.L. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia** 23, 152-161, 2008. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862008000200004>.

MIEVILLE, A.; GRANIER, C.; LIOUSSE, C.; GUILLAUME, B.; MOUILLOT, F.; LAMARQUE, J.-F.; GRÉGOIRE, J.-M.; PÉTRON, G. Emissions of gases and particles from biomass burning during the 20th century using satellite data and historical reconstruction. **Atmospheric Environment**.v. 44, p.1469-1477, 2010.

MORTON, DC, et al. Mapeamento de danos no dossel de incêndios de sub-bosque em florestas amazônicas usando séries temporais anuais de dados Landsat e MODIS. **Sensor Remoto Ambiente**. V. 115, p.1706-1720, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.03.002>.

MOUILLOT, F.; SCHULTZ, M. G.; YUE, C.; CADULE, P.; TANSEY, K.; CIAIS, P.; CHUVIECO, E. Ten years of global burned area products from spaceborne remote 27 sensing-A review: Analysis of user needs and recommendations for future developments. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 26, n. 1, p. 64–79, 2014.

Normalized Burn Ratio (NBR) and Linear Spectral Mixture Model from Landsat 8 images.

NOSSO FUTURO COMUM (Relatório Brundtland). Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1988.

OLIVEIRA, André Luiz Sá de et al. Comparação e validação da modelagem espacial de riscos de incêndios considerando diferentes métodos de predição. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, p. 556-577, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. **UNIC Rio**, Rio de Janeiro, 49 p, 2016. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org>. Acesso em 22 de Maio de 2022.

PARKS, S.A; DILLON, G.K; MILLER, C. A New Metric for Quantifying Burn Severity: The Relativized Burn Ratio. **Remote Sens.** v, 6, p.-1844; 2014 doi:10.3390/rs6031827.

PINHEIRO, A.P.; SANTANA, W. 2016. A new and endangered species of *Kingsleya* Ortmann, 1897 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Pseudothelphusidae) from Ceará, northeastern Brazil. **Zootaxa**, 4171 (2): 365-372. Disponível em: <http://doi.org/10.11646/zootaxa.4171.2.9>. Acesso em 16 de Junho de 2016.

PIVELLO, V. R. et al. Entendendo os incêndios catastróficos no Brasil: causas, consequências e a política necessária para evitar tragédias futuras. **Perspectivas em Ecologia e Conservação**, Rio de Janeiro-RJ, V.19, 233-255, Junho de 2021.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: UFPE. p. 3-73. 2003.

RAMANATHAN, V., CARMICHAEL G. Global e mudanças climáticas regionais devido ao carbono negro. **Geociência da Natureza**, V.1, 221-227, 2008.

REDDINGTON, C.L.; BUTT, E.W.; RIDLEY, D.A.; ARTAXO, P.; MORGAN, W.T.; COE, H.; SPRACKLEN, D.V. Air quality and human health improvements from reductions in deforestation-related fire in Brazil. **Nature Geoscience**, v. 8, n. 10, p. 768-771, 2015.

REDIN, Marciel et al. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 381-392, 2011.

RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 44, p. 125-148, 2002.

RICHARD P. et al. Dey, Future Fire Probability Modeling with Climate Change Data and Physical Chemistry, **Forest Science**, Volume 60, Issue 5, October 2014, Pages 862-870, <https://doi.org/10.5849/forsci.13-108>

RÖDER, A. et al. Análise de tendências de imagens Landsat-TM e-ETM+ para monitorar o impacto do pastoreio em um ecossistema de pastagens no norte da Grécia. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**, v. 112, n. 6, pág. 2863-2875, 2008.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, iA.; DEERING, D.W.; HARLAN, J.C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Greenbelt, MD: **NASA/GSFC**, 1974. 371p. Type III, Final Report.

ROY, D. P.; JIN, Y.; LEWIS, P. E.; JUSTICE, C. O. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. **Remote Sensing of Environment**, v. 97, n. 2, p. 137-162, 2005.

SÁ, T.D.A. et al. Queimar ou não queimar? **Rev. USP**, São Paulo V. 72, 90-97, 2007, <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i72p90-97>.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Editora Garamond, 2000.

SALES, C.V. Amazônias no Nordeste: incêndios na Caatinga. Disponível em: <https://agenciaeconordeste.com.br/amazoniais-no-nordeste-incendios-na-caatinga/>. Acesso em agosto de 2022.

SAMPAIO, O B. Estudo comparativo de índices, para previsão de incêndios florestais, na região de Coronel Fabriciano, Minas Gerais. 1991. 88f. **Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)** - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

SANNIGRAHI, S, et al. Examining the status of forest fire emission in 2020 and its connection to COVID-19 incidents in West Coast regions of the United States. **Environmental Research**, V. 210. P 112818, 2022.

SANTANA, N.C. **Dinâmica de incêndios florestais e alterações biofísicas na Amazônia e Cerrado brasileiros a partir de séries temporais de sensoriamento remoto**. Tese (Doutorado) – Curso de Gestão Ambiental e Territorial, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2019.

SANTANA, N. C. **Monitoramento de queimadas no sudoeste do Pará, a partir de séries temporais do sensor MODIS**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Ambiental e Territorial, Universidade de Brasília, Brasília –DF, 2016.

SILVA JÚNIOR, C.A., et al. **Persistent fire foci in all biomes undermine the Paris Agreement in Brazil**. **Sci. Rep.** 10, 16246. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72571-w>.

SILVA, E.M. et al. Registros de Queimadas em Vegetação (Incêndios) e a Climatologia da Chuvas no Estado do Ceará: Estudo de Caso no Período de 2015 a 2019. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3 (Suplemento), 571 - 577, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863630040>.

SILVA, Leandro Maciel. O Cariri Natural–Apontamentos sobre a identidade carirense. **Anais do XV Encontro Estadual de História**, p. 1-7, 2014.

SILVA, P. et al. Projeções Futuras de Ocorrência de Incêndios no Brasil usando o modelo climático EC-Terra. **Revista Brasileira de Meteorologia**,v. 31, n. 3, 288-297, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631320150142>.

SILVA, Patrícia et al. Projeções futuras de ocorrência de incêndios no Brasil utilizando o modelo climático EC-Terra. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 288-297, 2016.

SILVESTRINI, R. A.; SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ASSUNÇÃO, R. Simulating fire regimes in the Amazon in response to climate change and deforestation. **Ecological Applications**, v. 21, n. 5, p. 1573-1590, 2011.

SOUSA, A.M.L., ROCHA, E.J.P., VITORINO, M.I., SOUZA, P.J.O.P.DE, BOTELHO, M.N. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS. **Revista Brasileira de Geografia Física** 8, 13-24, 2015.

TEODORO, P.E. et al Impacto de vinte anos de focos de incêndio e sua relação com variáveis climáticas nas regiões brasileiras. **Avaliação do Monitoramento Ambiental**, v.194, p. 90-107, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09702-x>.

TETTO, A. F. et al. Incêndios florestais atendidos pela Klabin do Paraná no período de 1965 a 2009. **Cerne**, v. 21, p. 345-351, 2015.

TORRES, F.T.P. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na Cidade de Juiz de Fora-MG. **Caminhos da Geografia**, V.18. p. 162 - 171, 2006. ISSN 1678-6343.

TORRES, F.T.P; DA SILVA JÚNIOR, M.R e LIMA, G.S. Influência dos Elementos Meteorológicos Sobre o Comportamento do Fogo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, 33 - 41, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786334014>.

TRENBERTH, K.E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society** 78, 2771-2777, 1997.

USDA - Forest Service. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/> Acesso em 21 de Julho de 2022.

VAN DER WERF, G. R, et al. Estimates of fire emissions from an active deforestation region in the southern Amazon based on satellite data and biogeochemical modelling. **Biogeosciences**, v. 6, p. 235-249, 2009.

VAN LEEUWEN, Martin; NIEUWENHUIS, Maarten. Recuperação de parâmetros estruturais florestais usando sensoriamento remoto LiDAR. **Revista Europeia de Pesquisa Florestal**, v. 129, n. 4, pág. 749-770, 2010.

VEDOVATO, Laura Barbosa et al. Detection of burned forests in Amazonia using the Normalized Burn Ratio (NBR) and Linear Spectral Mixture Model from Landsat 8 images. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 2984-2991.

VEIGA, J. Desenvolvimento sustentável – desafio do século XXI. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2004000200016. Acesso em 15 de Fev. de 2022.

VHENGANI, L. Multitemporal burnt area mapping using landsat 8: merging multiple burnt area indices to highlight burnt areas. **Council for Scientific and Industrial Research**, 978-1-4, 2015.

WESTERLING, A. L. et al. O aquecimento e o início da primavera aumentam a atividade de incêndios florestais no oeste dos EUA. **Ciência**, v. 313, n. 5789, pág. 940-943, 2006.

WHITE, B.L.A; WHITE, L.A.S. Queimadas controladas e incêndios florestais no estado de sergipe, brasil, entre 1999 e 2015. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 46, n. 4, p. 561 - 570, 2016. DOI: 10.5380/uf.v46i3.47036.

9 APÊNDICES – A MAPAS DE CLASSIFICAÇÃO PARA OS NÍVEIS DE SEVERIDADE DE QUEIMA NA APA CHAPADA DO ARARIPE

Figura A1. Níveis de severidade de queima para o ano de 2002 na APA Chapada do Araripe

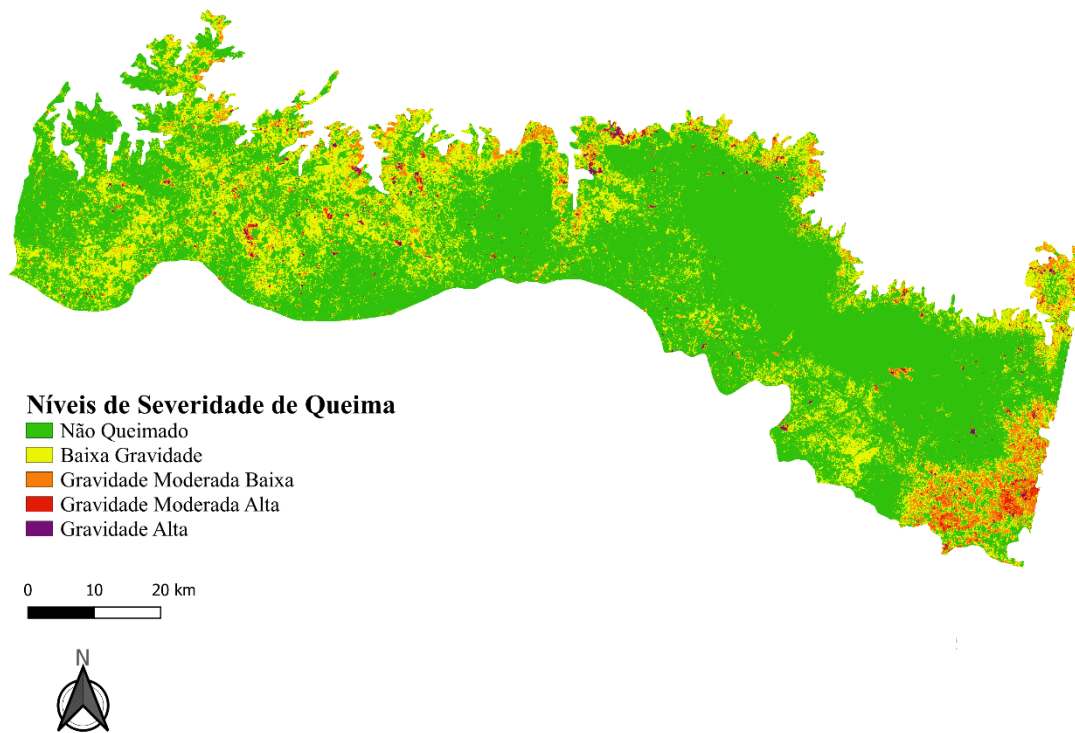


Figura A2. Níveis de severidade de queima para o ano de 2003 na APA Chapada do Araripe.

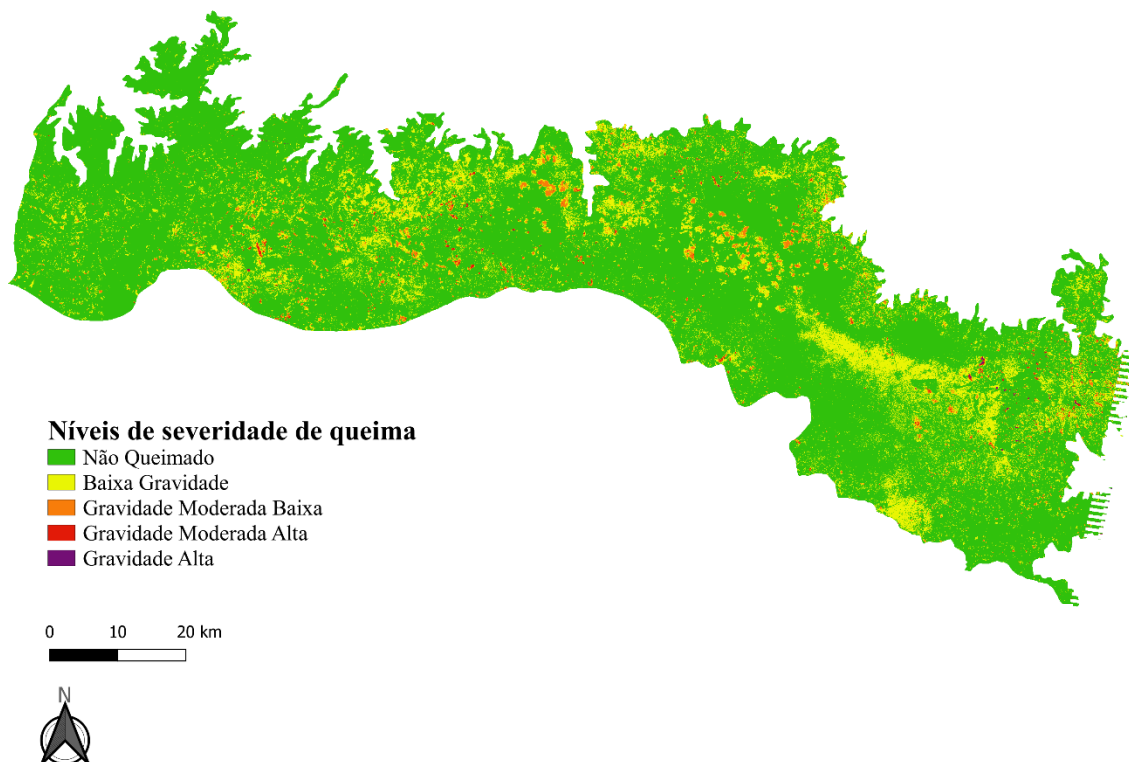


Figura A3. Níveis de severidade de queima para o ano de 2004 na APA Chapada do Araripe.

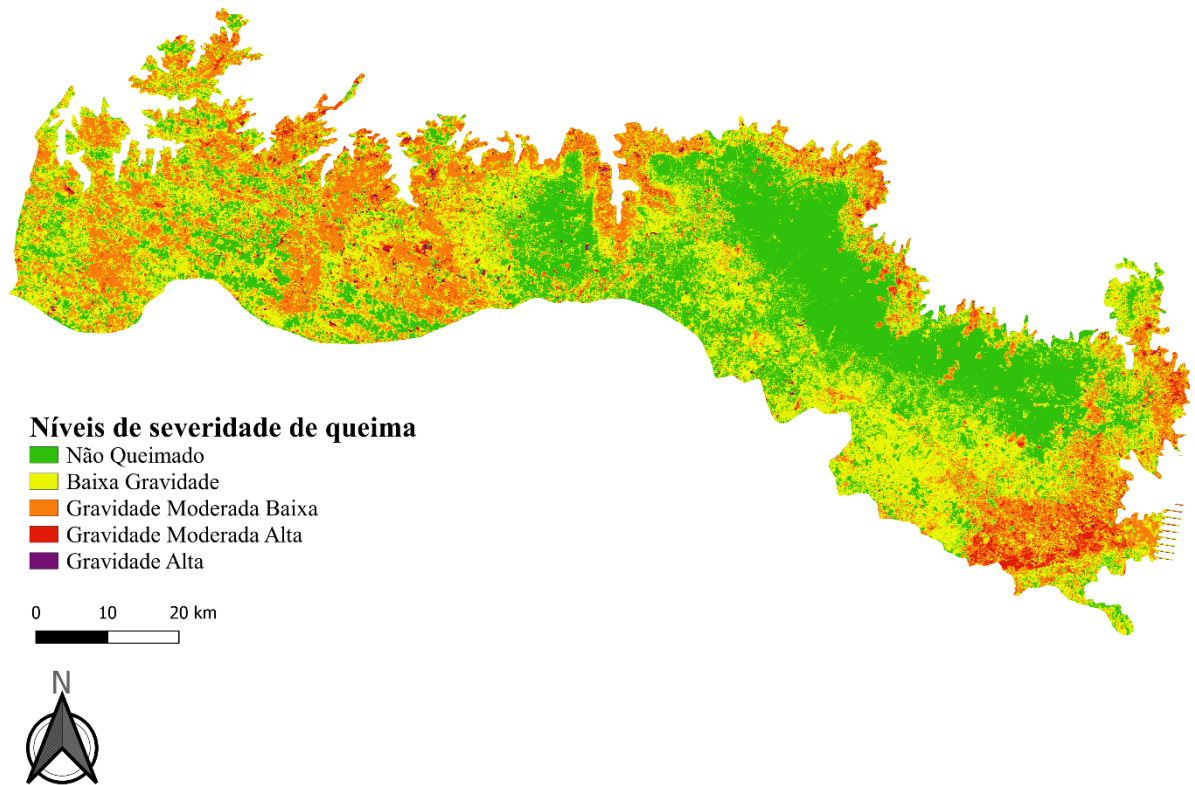


Figura A4. Níveis de severidade de queima para o ano de 2005 na APA Chapada do Araripe.

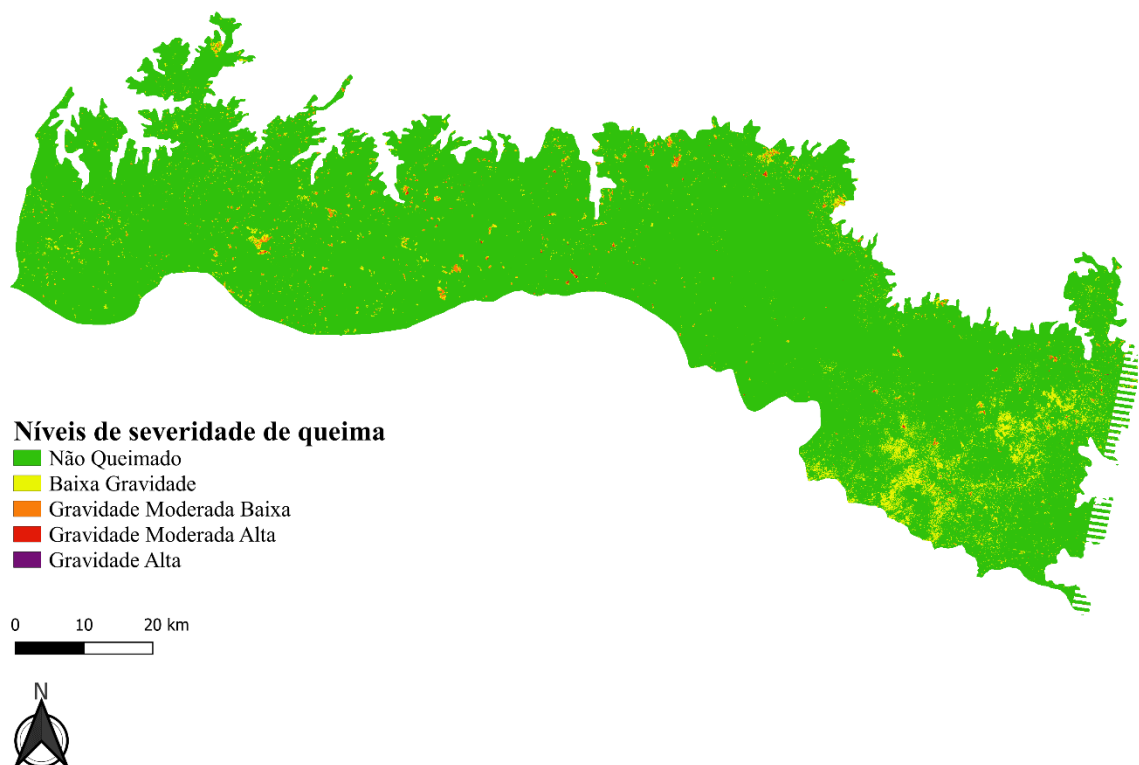


Figura A5. Níveis de severidade de queima para o ano de 2006 na APA Chapada do Araripe.

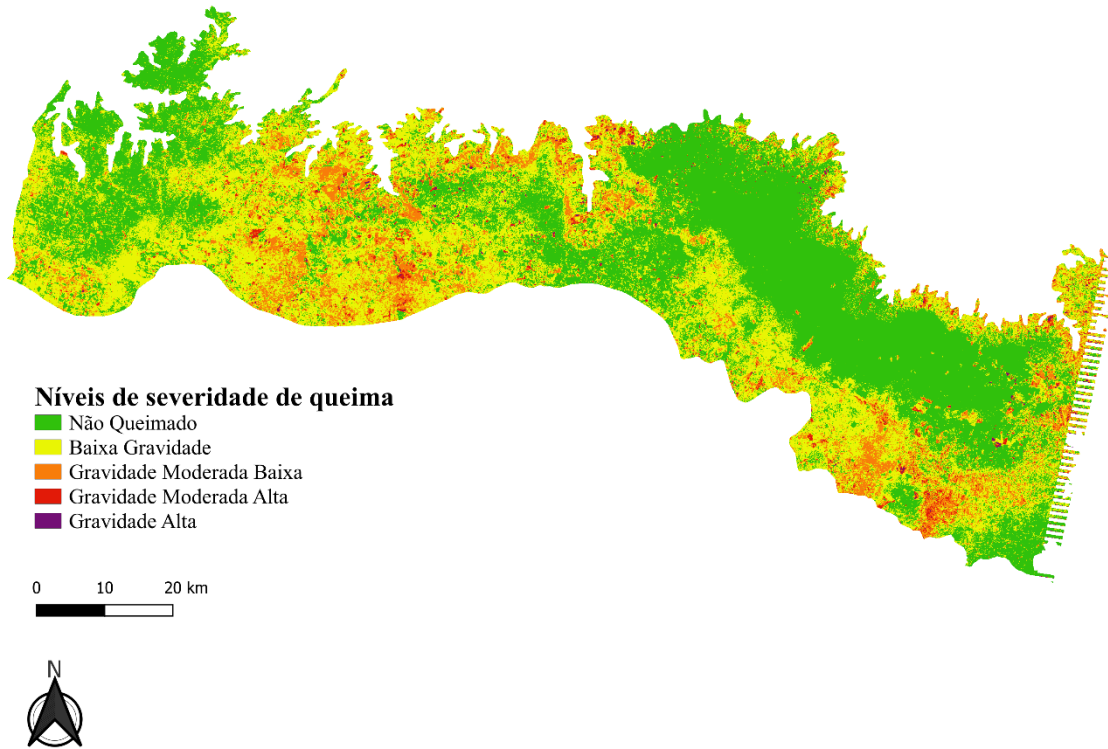


Figura A6. Níveis de severidade de queima para o ano de 2008 na APA Chapada do Araripe.



Figura A7. Níveis de severidade de queima para o ano de 2009 na APA Chapada do Araripe.

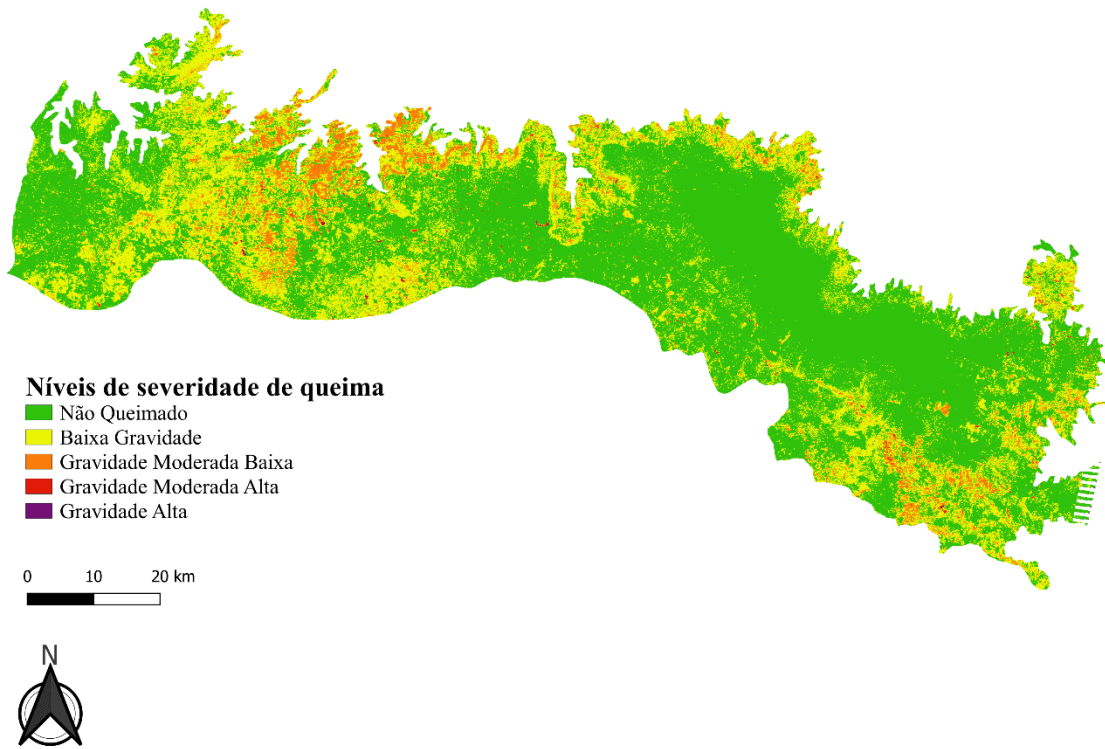


Figura A8. Níveis de severidade de queima para o ano de 2013 na APA Chapada do Araripe.

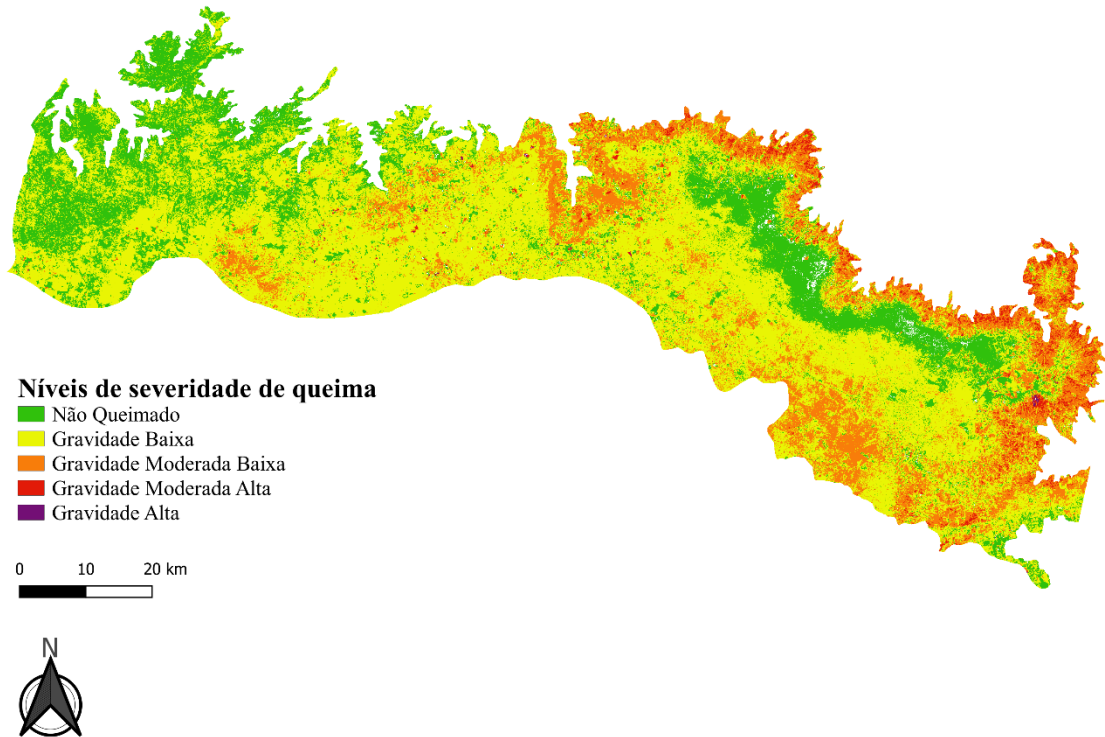


Figura A9. Níveis de severidade de queima para o ano de 2014 na APA Chapada do Araripe.

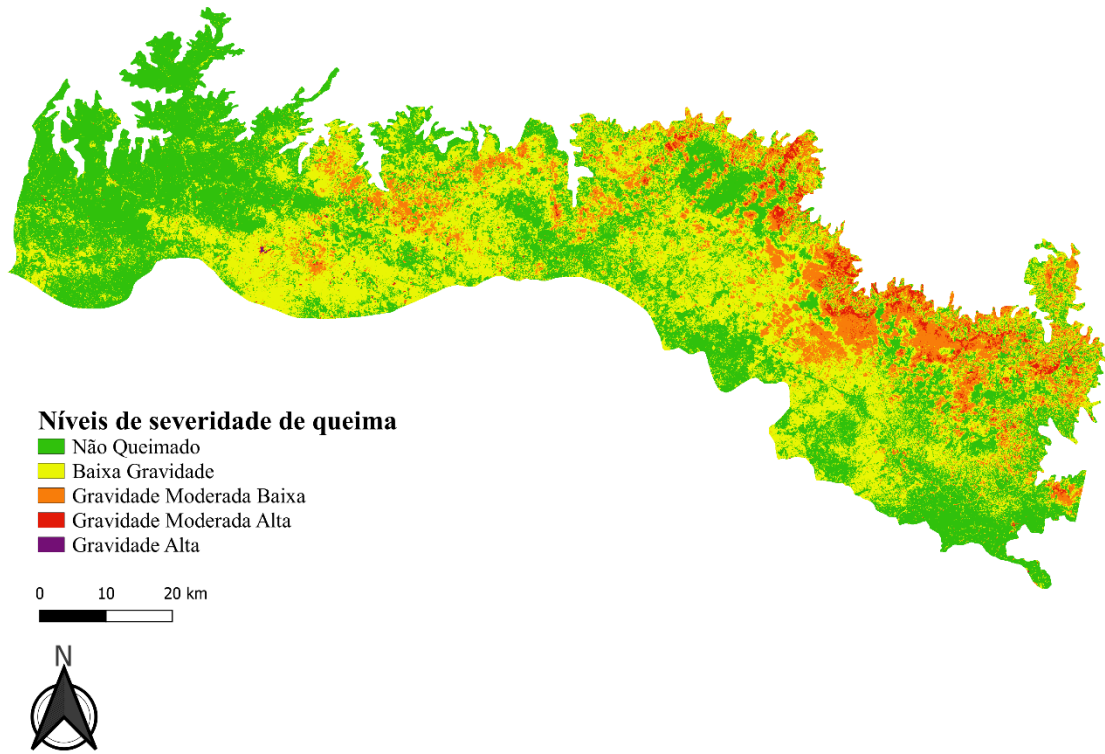


Figura A10. Níveis de severidade de queima para o ano de 2015 na APA Chapada do Araripe.

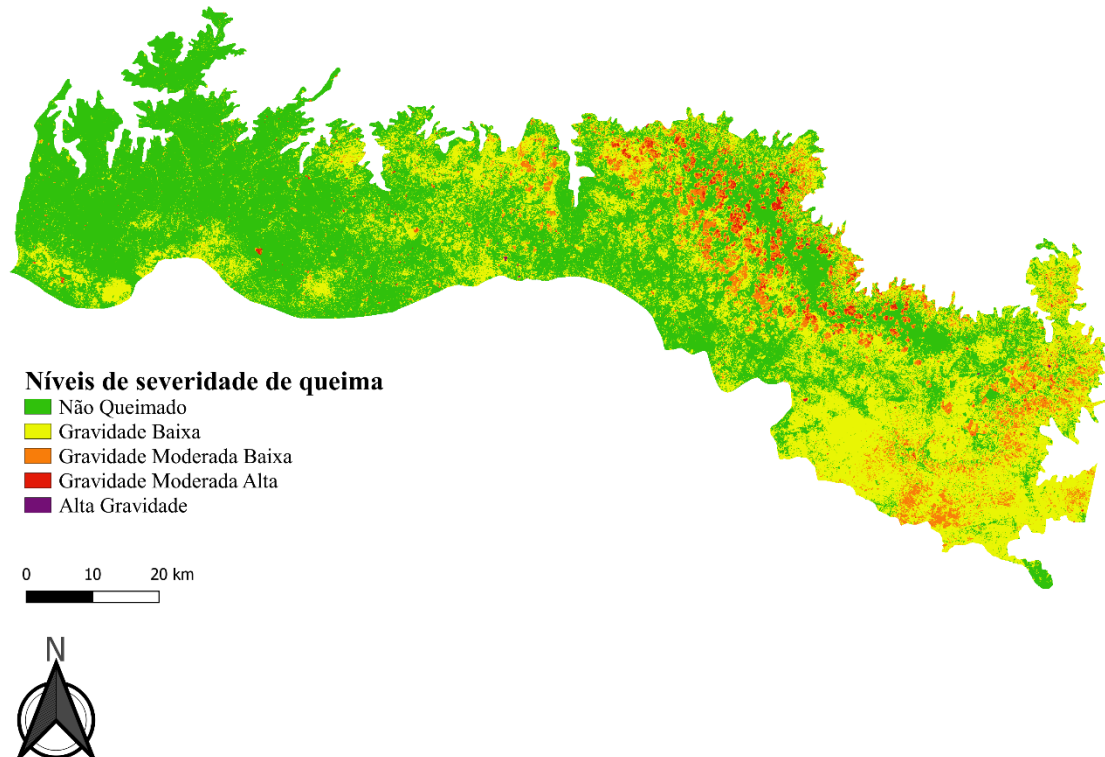


Figura A11. Níveis de severidade de queima para o ano de 2016 na APA Chapada do Araripe.

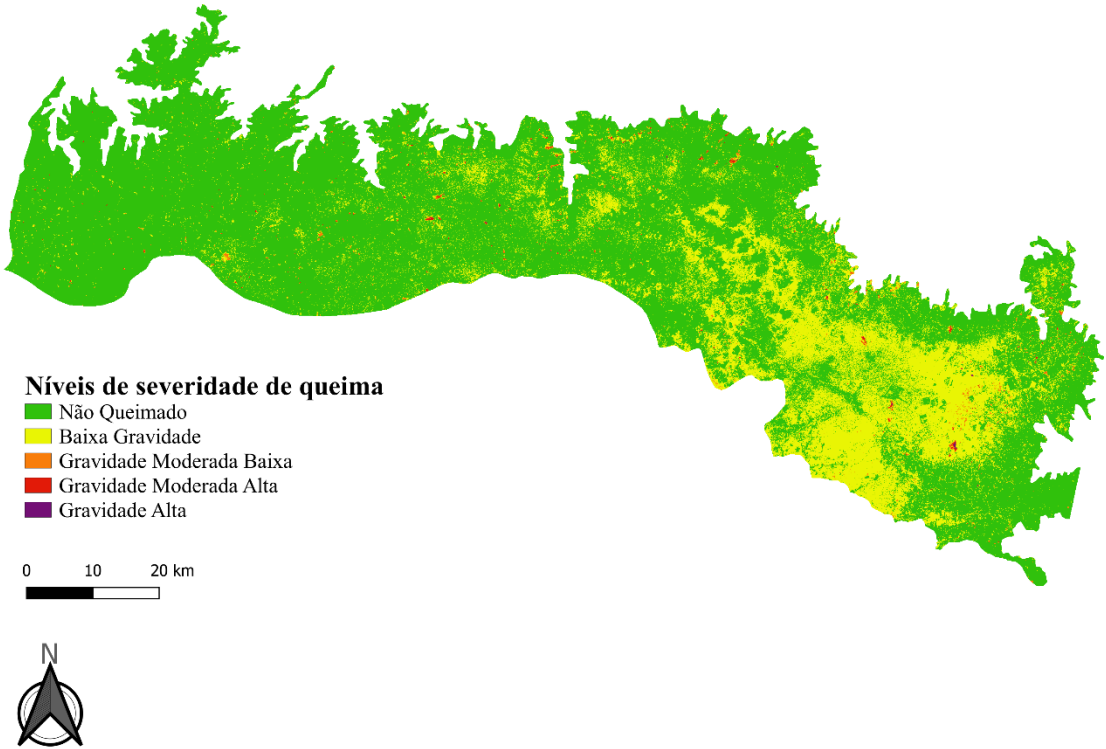


Figura A12. Níveis de severidade de queima para o ano de 2017 na APA Chapada do Araripe.

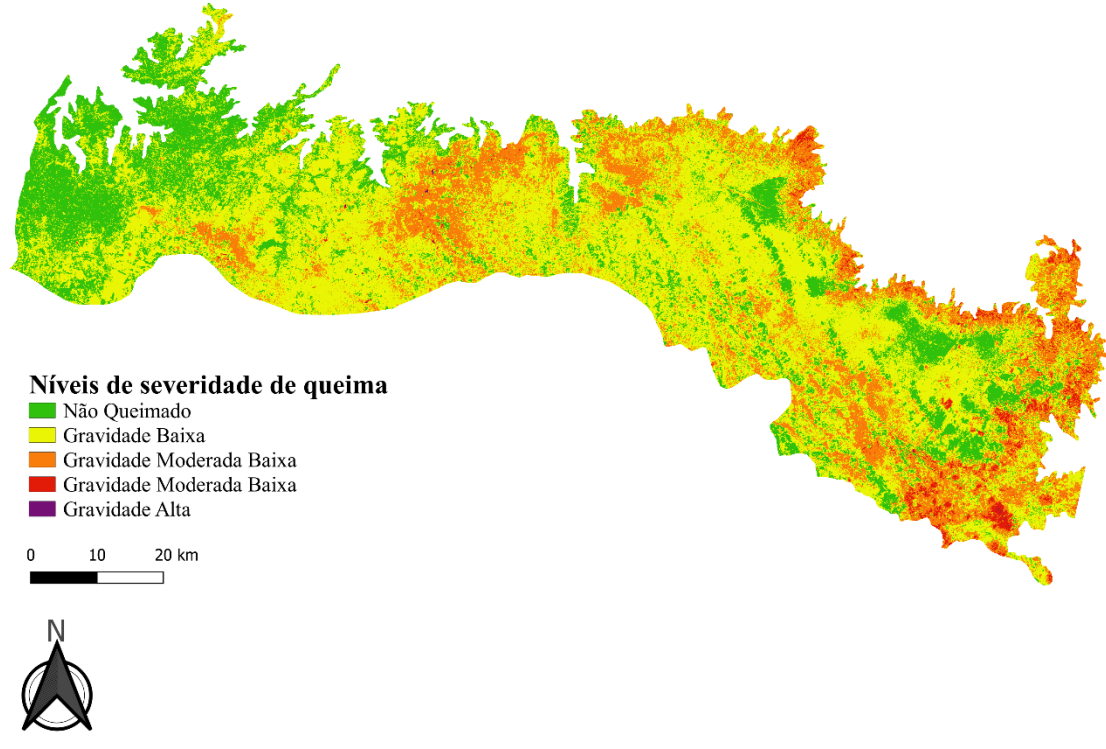


Figura A13. Níveis de severidade de queima para o ano de 2018 na APA Chapada do Araripe.

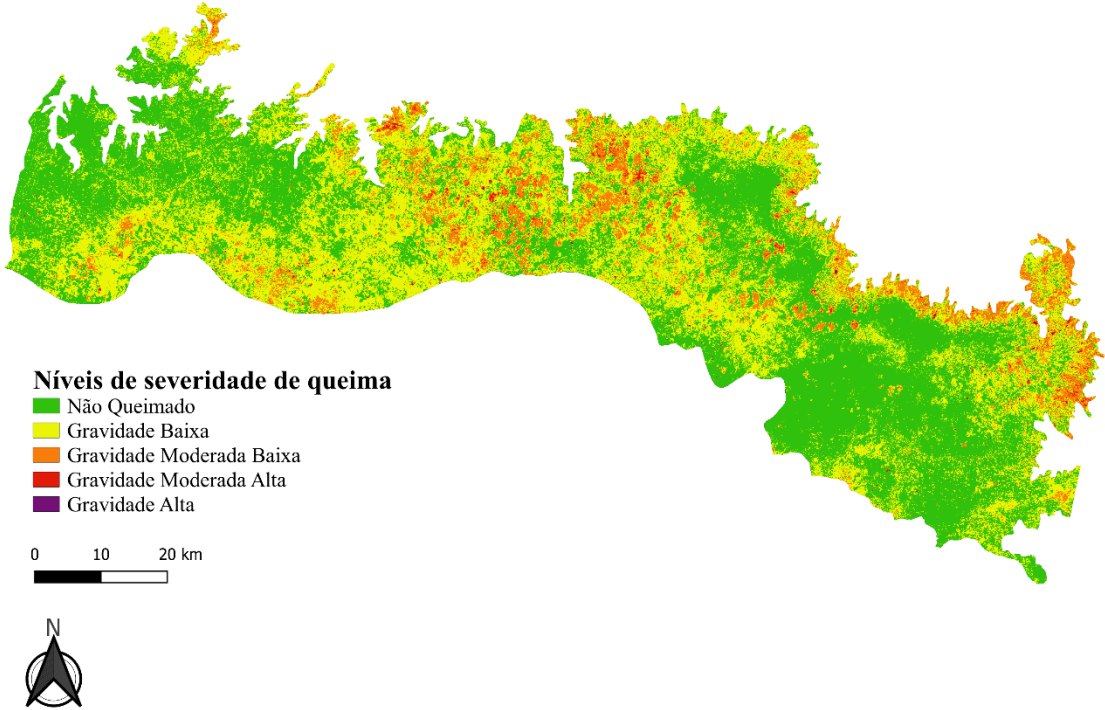


Figura A14. Níveis de severidade de queima para o ano de 2019 na APA Chapada do Araripe.

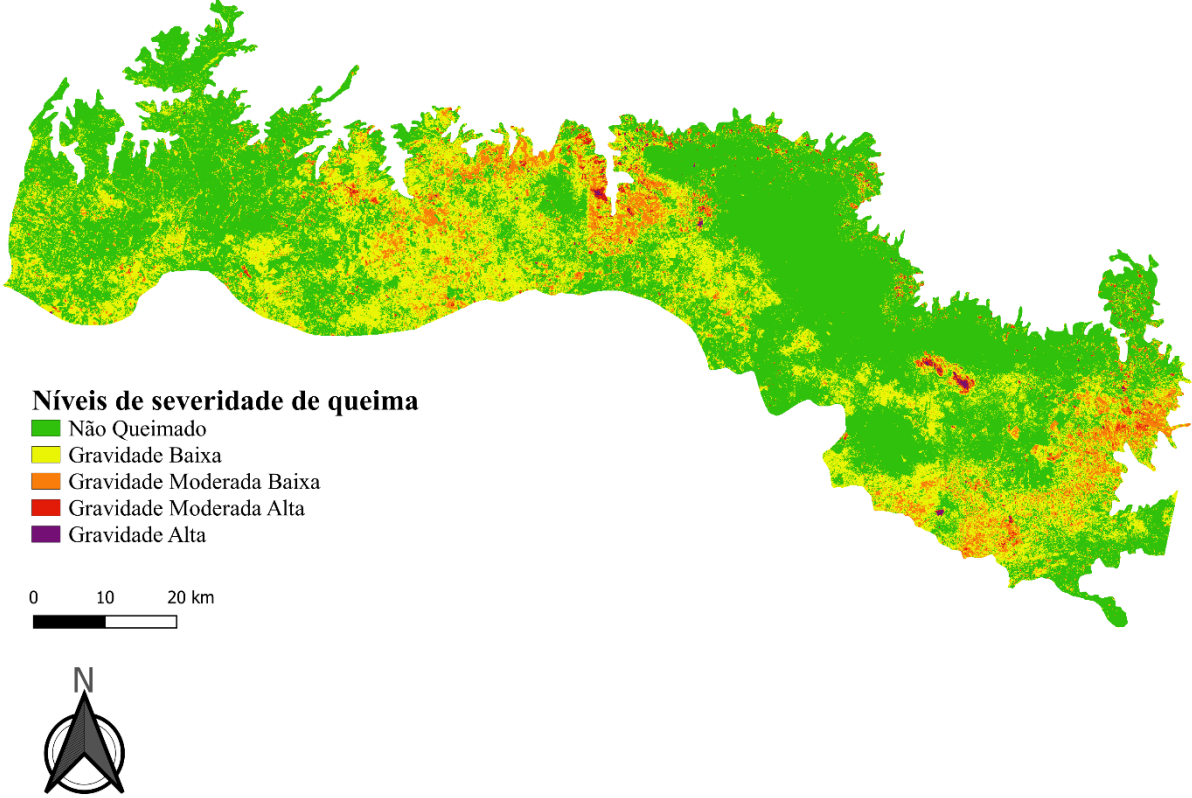


Figura A15. Níveis de severidade de queima para o ano de 2020 na APA Chapada do Araripe.

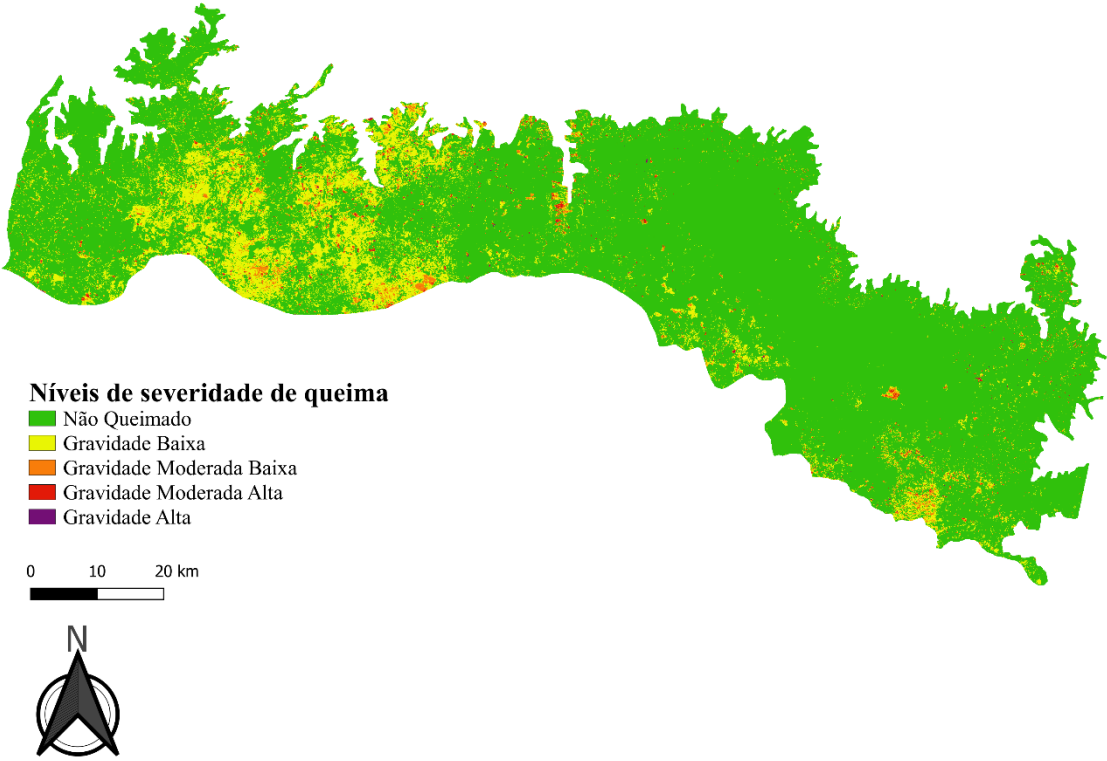


Figura A16. Níveis de severidade de queima para o ano de 2021 na APA Chapada do Araripe.

