

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**MÁRCIO FAUSTINO FEITOSA**

**DINÂMICA DO RISCO DE INCÊNDIOS SOB EFEITO DO EL NIÑO EM  
PAISAGEM DO BIOMA CAATINGA EM PETROLINA-PE**

**RECIFE - PE**

**2023**

MÁRCIO FAUSTINO FEITOSA

**DINÂMICA DO RISCO DE INCÊNDIOS SOB EFEITO DO EL NIÑO EM  
PAISAGEM DO BIOMA CAATINGA EM PETROLINA-PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Emanuel Araújo  
Coorientadora: Dra. Ioneide Alves de Souza

RECIFE-PE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- F311d      Feitosa, Márcio Faustino  
              Dinâmica de Risco de Incêndios Sob Efeito do El Niño em Paisagem do Bioma Caatinga em Petrolina - PE. /  
              Márcio Faustino Feitosa. - 2023.  
              56 f.
- Orientador: Emanuel Araujo Silva.  
              Coorientador: Ioneide Alves de Souza.  
              Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em  
Engenharia Florestal, Recife, 2023.
1. Caatinga. 2. Landsat-8. 3. Petrolina. 4. Incêndios. I. Silva, Emanuel Araujo, orient. II. Souza, Ioneide Alves de,  
coorient. III. Título

MÁRCIO FAUSTINO FEITOSA

**DINÂMICA DO RISCO DE INCÊNDIOS SOB EFEITO DO EL NIÑO EM  
PAISAGEM DO BIOMA CAATINGA EM PETROLINA-PE.**

Aprovado em 17 de fevereiro de 2023

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria da Penha Moreira Gonçalves  
Departamento Ciências Florestais/ UFRPE

---

Doutorando Alex Nascimento de Souza  
Departamento Ciências Florestais/ UFRPE

Orientador

---

Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva  
Departamento de Ciências Florestais/UFRPE

Coorientadora

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Ioneide Alves de Souza  
Departamento de Tecnologia Rural/ UFRPE

**RECIFE- PE**

**2023**

“Busquem, pois, em primeiro lugar o Reino de Deus e a sua justiça, e todas essas coisas lhes serão acrescentadas [...]

Mateus 6:33

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me ajudar todos os dias com saúde, paz e determinação.

A mim por não ter desistido do curso e vencer todos os desafios.

Aos meus pais Quitéria Gouveia Faustino e Celso Feitosa Dias, que sempre estiveram ao meu lado me dando maior apoio, carinho e ajuda em todos os momentos, sejam eles difíceis ou fáceis.

Ao meu irmão José Erlânio, por sempre me apoiar em todos os momentos e também pelas caronas para viajar para o Recife.

Aos demais irmãos, Michele, Jefferson, Emerson, Pedro Henrique e Clécio.

A meu orientador Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva pela dedicação e paciência a minha pesquisa de conclusão de curso.

A professora Ioneide Alves de Sousa, a qual me orienta na monitoria de Topografia e trabalho de conclusão de curso.

Ao professor Geber Barbosa de Albuquerque Moura, pela inspiração em Meteorologia e Sensoriamento Remoto.

A professora Cristina Rodrigues Nascimento pelo apoio e paciência nas pesquisas de iniciação científica.

Ao meu grande amigo Adailton Domingos Salustiano da Silva pela parceria nas atividades do curso.

A todos os professores que formam o Departamento de Ciências Florestais, em especial ao Professor José Antônio Aleixo da Silva.

Ao grupo qual fiz parte do Programa de Educação Tutorial, PET Conexões dos Saberes “A Ciranda da Ciência”.

A todos integrantes do grupo PET Conexões “A Ciranda da Ciência”, e em especial ao Professor Michael Lee Sundhime e Professora Lorena Brizza

A Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE

Aos amigos e funcionários da república universitária Condomínio Luiz Gonzaga- UFRPE

E todos os amigos de graduação e da comunidade externa que sempre estiveram comigo, amo vocês.

Muito obrigado a todos....

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
2.2 Geral.....	19
2.3 Específico .....	19
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
3.1 Área de Estudo .....	20
3.2 Obtenção de Dados Orbitais .....	21
3.3 Dados Pluviométricos.....	22
3.4 Anos com Evidências de ENOS .....	22
3.5 Base de Dados .....	23
3.6 Pré-Processamento das Imagens .....	23
3.7 Índices de Vegetação (IV's) .....	23
3.8 Variáveis Adotadas.....	25
3.8.1 Hipsometria .....	25
3.8.2 Uso e Cobertura do Solo.....	26
3.8.3 Orientação de Encostas .....	26
3.8.4 Declividade.....	27
3.8.5 Sistema Viário .....	27
3.8.6 Precipitação .....	28
3.8.7 Temperatura da Superfície.....	28
3.8.8 Índice de Vegetação Normalizada .....	30
3.8.9 Riscos de Incêndios .....	32
3.8.9.1Definição dos pesos dos Fatores .....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>35</b>
4.1 Identificação e Mapeamento das Atividades Antrópicas .....	35
4.2 Relevo .....	36
4.3 Uso e Cobertura do Solo.....	37
4.4 Orientação de Encostas.....	38
4.5 Declividade .....	39
4.6 Sistema Viário .....	40
4.7 Precipitação .....	41
4.8 Análises do NDVI .....	42
4.9 Análises do SAVI.....	44
4.10 Análises do EVI .....	46
4.11 Temperatura da Superfície.....	48
4.12 Análise do Risco de Incêndio .....	49

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de Localização da área de estudo.....	20
<b>Figura 2.</b> Mapa Hipsométrico.....	37
<b>Figura 3.</b> Mapa de Uso e Ocupação do Solo.....	38
<b>Figura 4.</b> Mapa de Orientação de Encostas.....	39
<b>Figura 5.</b> Mapa de Declividade.....	40
<b>Figura 6.</b> Mapa do Sistema Viário.....	41
<b>Figura 7.</b> Mapa de Precipitação.....	42
<b>Figura 8.</b> Mapa de Índice de Vegetação Normalizada (NDVI).....	43
<b>Figura 9.</b> Mapa de Índice de Vegetação Ajustada ao Solo (SAVI).....	45
<b>Figura 10.</b> Mapa de Índice de Vegetação Espectral (EVI).....	47
<b>Figura 11.</b> Mapa de Temperatura da Superfície em Kelvin (TsK).....	48
<b>Figura 12.</b> Mapa de Risco de Incêndios Florestais (RIF).....	50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Classificação de Risco por Hipsometria.....	25
<b>Tabela 2.</b> Classificação de Risco por Uso e Cobertura do Solo.....	26
<b>Tabela 3.</b> Classificação de Risco por Orientação de Encostas.....	27
<b>Tabela 4.</b> Classificação de Risco por Declividade.....	27
<b>Tabela 5.</b> Classificação de Risco por Influência do Sistema Viário.....	28
<b>Tabela 6.</b> Classificação de Risco por Influência da Precipitação.....	28
<b>Tabela 7.</b> Classificação de Risco por Temperatura da Superfície.....	29
<b>Tabela 8.</b> Índice de Vegetação Normalizada de 2015 a 2020.....	30
<b>Tabela 9.</b> Matriz de Comparação Pareada com Valores de Importância Mútua para o Modelo de Risco de Incêndios Florestais.....	34
<b>Tabela 10.</b> Pesos Obtidos na AHP.....	35

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Resoluções Radiométricas e Espaciais do Lansat-8.....	21
<b>Quadro 2.</b> Evidência de ENOS no Brasil.....	22
<b>Quadro 3.</b> Escala de pontos para a comparação pareada.....	33
<b>Quadro 4.</b> Atividades antrópicas da área de estudo.....	36

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Risco de Incêndios Florestais.....	51
--	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ANA	Agência Nacional de Águas e Climas
NDVI	Índice de Vegetação Diferença Normalizada
EVI	Índice de Vegetação Espectral
SAVI	Índice de Vegetação Ajustada ao Solo
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
QGIS	Quantum Gis
SR	Sensoriamento Remoto
RIF	Riscos de Incêndios Florestais
WGS	World Geodetic System

## LISTA DE SÍMBOLOS

E0	Emissividade da Superfície
L	Fator de Ajuste do solo
°C	Graus Celsius
IV	Infravermelho próximo
K	Kelvin
Tsc	Temperatura da Superfície em Celsius
Tsk	Temperatura da Superfície em Kelvin
V	Vermelho

## RESUMO

As técnicas de sensoriamento remoto são tecnologias usadas desde os anos 60, com finalidade de se trabalhar num determinado objeto ou uma área específica. Com o passar do tempo, as tecnologias ganharam aperfeiçoamentos e surgiram novos softwares e satélites de alta resolução. O satélite Landsat-8 consegue captar cenas com até 705 km de distâncias da terra, com um percentual de 10% de nuvens, essas cenas podem ser processadas e estudadas com determinada finalidade, entre essas foi trabalhado a dinâmica do risco de incêndio sob efeito do El Niño em paisagem do bioma Caatinga. Diante disso, pretende-se estudar a vulnerabilidade da Caatinga e o uso das tecnologias de monitoramento. O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do El Niño na dinâmica do risco de incêndio sob paisagem do bioma Caatinga em Petrolina-PE, fazendo o monitoramento do risco de incêndio em relação a severidade do El Niño. No site da USGS foram obtidas imagens do satélite Landsat-8, do município de Petrolina-PE. Foram adotados os seguintes critérios para seleção de imagens: Imagens dos anos de 2015 até 2020, contando a partir do dia 01 de agosto até o dia 31 de dezembro, nas épocas em que se nota poucas precipitações, poucas nuvens e altas temperaturas devido aos meses mais quentes. A ferramenta no processamento de dados foi softwares Qgis, um software de licença livre, indicado para quem buscam alta qualidade em trabalhos acadêmicos na área de Sensoriamento Remoto. No intervalo desses anos foram obtidos seis mapas de risco de incêndios. Para gerar os mapas de risco de incêndios florestais foi adotada a metodologia AHP, a qual muitos autores utilizam. Nessa metodologia foram adotadas oito variáveis: mapa hipsométrico, uso e ocupação do solo, orientação de encostas, declividade, sistema viário, precipitação, temperatura da superfície e índice de vegetação da diferença normalizada. De acordo com os resultados obteve-se uma análise temporal de riscos de incêndios que comprovam que os anos de 2015 a 2018 teve um aumento contínuo, e em 2019 e 2020 nota-se uma queda de risco de incêndios, entre esses últimos anos ocorreu um El Niño e uma La Niña e em 2020 foi o ano que ocorreu a pandemia, ou seja, houve poucos fluxos de transporte nas rodovias, ocasionando baixo risco de incêndios.

**Palavras-chave: Caatinga, Landsat-8, Petrolina, Incêndios.**

## ABSTRACT

Remote sensing techniques have been used since the 1960s to work on a particular object or specific area. Over time, technologies have gained improvements and new software and high-resolution satellites have emerged. The Landsat-8 satellite can capture scenes up to 705 km away from earth, with a percentage of 10% of clouds, these scenes can be processed and studied for a certain purpose, among these was the dynamics of fire risk under the effect of El niño in landscape of the Caatinga Biome. Therefore, it is intended to study the vulnerability of Caatinga and the use of monitoring technologies. The objective of this work is to evaluate the influence of El Niño on the dynamics of fire risk under the landscape of the caatinga biome in Petrolina-PE, monitoring the risk of fire in relation to the severity of El Niño. Images of the Landsat-8 satellite in the municipality of Petrolina-PE were obtained from the USGS website. The following criteria were adopted for image selection: Data from 2015 to 2020, counting from August 1st to December 31st, at times when there are few precipitations, few clouds and high temperatures due to the warmer months. The tool in data processing was Qgis software, a free license software, indicated for those seeking high quality in academic work in the area of Remote Sensing. In the interval of these years, six fire risk maps were obtained. To generate the forest fire risk maps and adopted the AHP methodology, widely used by several authors. Where we obtained eight variables: hypsometric map, land use and occupation, slope orientation, slope, road system, precipitation, surface temperature and vegetation index of the normalized difference. According to the results, a temporal analysis of fire risks was obtained, proving that the years 2015 to 2018 had a continuous increase, and in 2019 and 2020 there was a fall in fire risk. Between these last years there was an El Niño and a La Niña and 2020 was the year that the pandemic occurred, that is, there were few transport flows on the highways, causing low risk of fires.

**Keywords: Caatinga, Landsat-8, Petrolina, Fires.**



## 1 INTRODUÇÃO

Incêndios florestais é a propagação do fogo, sem controle, em determinada área florestal, afetando além da vegetação arbustiva a fauna. A diferença entre um incêndio florestal e queimada florestal é a velocidade do fogo se propagar na queima de combustíveis fósseis, basta segundos para o fogo queimar uma ampla área. O potencial do fogo muda de direção a qualquer momento, assim como sua capacidade para superar obstáculos, como os rios e as estradas (NHONGO, 2019).

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE (2020), entre janeiro e julho de 2021 o fogo destruiu uma área de 5.378 Km<sup>2</sup> de Caatinga, detectando 2.130 focos de incêndio até o dia 01 do mês de agosto, resultando num aumento de 164% dos focos de queimadas. Os incêndios geralmente ocorrem em épocas de secas, nos meses próximos do início do verão.

De acordo Nunes (2009), as queimadas praticadas para limpar o terreno, causam sérios prejuízos na biodiversidade da caatinga, como desaparecimento de plantas e animais.

Apesar de causar prejuízos, a prática de queimadas ou a queima controlada, consiste na limpeza do terreno para eliminar restos vegetais, e, assim, favorecer a disponibilidade de nutrientes do solo e, com isso, aumentar a capacidade de produção, reduzir incidência de pragas, doenças e gastos de mão de obra. É caracterizada pelo uso controlado do fogo em combustíveis, podendo ser utilizada no estado natural ou alterada sob certas condições de clima, umidade relativa do ar, umidade do solo, e o tipo de material combustível, de forma que seja confinado determinado local (GONÇALVES, [s.d.]).

Segundo Montalvan (2017), as queimadas viabilizam a quebra de dormência de algumas espécies vegetais, principalmente para florestas secas, servindo como aspecto positivo.

A Caatinga é um bioma brasileiro, com aproximadamente 844.000 km<sup>2</sup>, representando 11 % do território nacional, nas latitudes subequatorial compreendidas entre 2° 45' e 17° 21' latitude sul, abrangendo os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e uma pequena parte de Minas Gerais (ANA; BRASILEIRO, 2014).

Este bioma ocupa em média 36 milhões de habitantes e contribui economicamente em vários setores, como o energético, onde a lenha e o carvão são extraídos na região (ANA; BRASILEIRO, 2014). Além disso, são extraídos produtos não madeireiros como frutos, fibras naturais, sementes, plantas medicinais e mel. A primeira definição científica do termo Caatinga foi idealizada em 1840 por “*Sylva Aestu Aphylla*”.

A Caatinga caracteriza-se pelas perdas das folhas de suas plantas nos meses com elevadas temperaturas; as espécies vegetais apresentam folhas pequenas ou modificadas em espinhos, algumas folhas apresentam ceras com finalidade de reduzir a perda de água; algumas espécies desenvolvem raízes profundas para sugar uma boa quantidade de água disponível no solo. Suas características principais são árvores de pequeno a médio porte, apresentando de 3 a 8 metros de altura; boa capacidade de regeneração e de rebrota de tocos e raízes, após algum tipo de intervenção; rápido crescimento no período chuvoso, principalmente na transição entre o período seco e chuvoso (ANA; BRASILEIRO, 2014).

O termo Caatinga veio da língua indígena “Tupi-Guarani”, que significa “Mata Branca”, em referência à cor clara ou acinzentada da vegetação, quando caem as folhas e ficam apenas os galhos com a cor acinzentada. A Caatinga está localizada entre a Linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, dispondo, devido a isto, a abundante intensidade luminosa em todo o seu território. O clima semiárido é caracterizado por baixa umidade e pouco volume pluviométrico, precipitações médias de aproximadamente 750 mm por ano e altas temperaturas (ANA; BRASILEIRO, 2014).

Petrolina é um município brasileiro, situado no estado de Pernambuco, bastante desenvolvido tanto social quanto economicamente (VISCARRA, 2020). Ocupa uma área de 4561,872 km<sup>2</sup> de extensão territorial, possui uma agricultura muito desenvolvida devido a sua região geográfica está situada às margens do Rio São Francisco e detêm o sétimo maior Produto Interno Bruto (PIB) no estado de Pernambuco (CORREIA, 2018; CAHU et al 2016).

Devido as baixas precipitações, elevadas temperaturas, invernos curtos e vegetação predominante de fragmentos de domínio fitogeográfico Caatinga, é um município que apresenta probabilidade de ocorrer incêndios florestais (MENDONÇA, 2017).

Um fenômeno que pode contribuir para as baixas precipitações na região é o El Niño. O termo foi criado na Espanha e se refere à presença de águas quentes, que todo final de ano aparece na costa norte do Equador e no Peru (COSTA, 2012). De acordo com FUNCEME (2009), devido ao aquecimento do oceano e o enfraquecimento dos ventos, nota-se mudanças na circulação atmosférica nos níveis baixos e altos, ocorrendo alterações nos padrões de transporte de umidade e, conseqüentemente, nas variações e na distribuição de chuvas nas regiões tropicais e de latitudes médias e altas.

Segundo Aragão (2002) de acordo com a intensidade do fenômeno, entre 1914 e 2001 totalizaram-se 26 ocorrências do evento El Niño. Segundo COSTA (2012), os eventos mais expressivos de El Niño coincidem com as secas mais prolongadas no Nordeste brasileiro. Eles

demarcam ciclos que alteram as condições de tempo e clima e modificam negativamente as precipitações na região, notadamente no polígono das secas (COSTA, 2012).

O sensoriamento remoto é um grande aliado na detecção de focos de incêndios florestais e vem sendo utilizado amplamente em vários países para detecção de frequência e distribuição espacial de áreas incendiadas (YUAN et al., 2017; ADDISON E OOMMEN, 2018).

É um mecanismo que tem como objetivo obter informações do objeto sem a necessidade da proximidade física entre o fenômeno e o objeto estudado e o coletor das informações (MENESES et al., 2012). Pode ser definida como uma técnica que envolve a detecção, aquisição e análise da energia eletromagnética refletida ou emitida ou por objetos terrestres registrado pelos sensores remotos acoplados em satélites, possibilitando a geração de imagens (NICÁCIO, 2008; FLORENZANO, 2002).

Dessa maneira, conforme o que foi exposto, surge o interesse de estudar a dinâmica espaço-temporal do risco de focos de incêndios e a influência do El Niño sobre esse fenômeno na região semiárida do Brasil, onde está localizada a floresta sazonalmente seca denominada Caatinga.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.2 Geral**

Avaliar a influência do El Niño na dinâmica de risco de incêndio no município de Petrolina, Pernambuco, abrangida pelo bioma Caatinga.

### **2.3 Específico**

- Mapear o uso e a ocupação da terra na paisagem do bioma Caatinga, em Petrolina - PE, sob influência do El Niño;
- Monitorar a dinâmica do risco de incêndio no município de Petrolina - PE;
- Correlacionar o risco de incêndio do bioma Caatinga em relação a severidade do El Niño em Petrolina - PE;

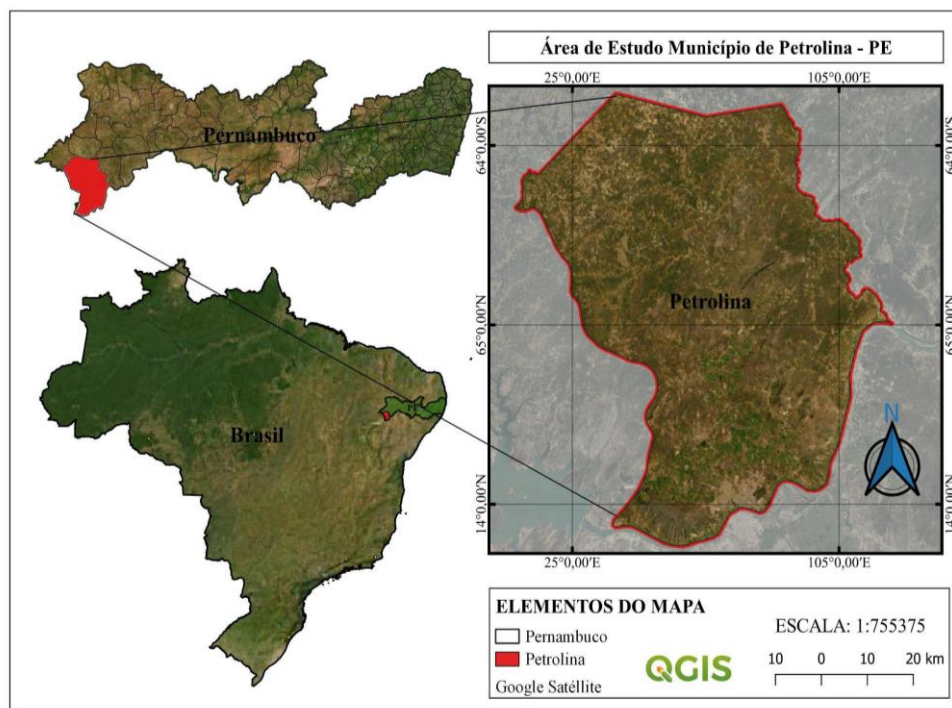
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo

O trabalho foi realizado no município de Petrolina-PE, onde abrange toda área de vegetação, situada na mesorregião do Sertão do São Francisco composta pelas microrregiões Itaparica e Petrolina, nas coordenadas geográficas 9°22'44S e 40°30'52W, com extensão territorial de 4561,872 km<sup>2</sup> (Figura 1.)

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSw<sub>h</sub>, seco, com precipitação média anual de aproximadamente 521,5 mm, vegetação do tipo xerófito, e período chuvoso compreendido nos meses de março a agosto, e temperatura média anual das máximas de 32,33°C e média das mínimas de 20,66°C.

**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo município de Petrolina- PE



**Fonte:** Autor (2022)

### 3.2 Obtenção de Dados Orbitais

As imagens Landsat-8, foram adquiridas gratuitamente na plataforma Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov>), gerida pelo *United States Geological Survey* (USGS), referentes aos anos de 2015 a 2020, considerando a nebulosidade menor que 10% em cada cena. O satélite Landsat-8 foi lançado em 1972, possui 11 bandas espectrais, as bandas espectrais utilizadas na detecção de focos de calor possuem uma resolução de 15 metros no pancromático. A resolução temporal é de 16 dias, ou seja, a cada 16 dias são obtidas novas imagens, com uma área imageada de 170x183 km, e resolução radiométrica de 16 bits conforme resumo da Quadro-1.

Quadro-1 Resoluções radiométricas e espaciais do Landsat-8

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
OLI (Operational Land Imager)	(B1) AZUL COSTEIRO	0.43 - 0.45 µm	30 m	16 dias	170 x 183 km	16 bits
	(B2) AZUL	0.45 - 0.51 µm				
	(B3) VERDE	0.53 - 0.59 µm				
	(B4) VERMELHO	0.64 - 0.67 µm				
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.85 - 0.88 µm				
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.57 - 1.65 µm				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.11 - 2.29 µm	15 m			
	(B8) PANCROMÁTICA	0.50 - 0.68 µm	30 m			
	(B9) CIRRUS	1.36-1.38 µm				
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	(B10) INFRAVERMELHO TERMINAL	10.6-11.19 µm	100 m			
	(B11) INFRAVERMELHO TERMINAL	11.5-12.51 µm	100 m			

Fonte: (ENGSAT, 2022)

### 3.3 Dados Pluviométricos

Os dados de precipitação anual do período de 2015 a 2020 do município de Petrolina, foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET: (ver <https://portal.inmet.gov.br/>).

### 3.4 Anos com Evidências de ENOS

No Quadro 2 encontram-se destacados todos aqueles períodos nos quais os fenômenos El Niño e La Niña foram considerados como forte/severos.

Quadro 2. Evidência de ENOS no Brasil

<b>Ano</b>	<b>Fenômeno</b>
2000	Neutro
2001	La niña
2002	Neutro
2003	El Niño
2004	El Niño
2005	El Niño
2006	El Niño
2007	La Niña
2008	La Niña
2009	El Niño
2010	El Niño
2011	Neutro
2012	La Niña
2013	Neutro
2014	El Niño
2015	El Niño
2016	El Niño
2017	La Niña
2018	La Niña
2019	El Niño
2020	La Niña

**Fonte:** INPE (2023)

### 3.5 Base de Dados

Os arquivos vetoriais do estado do Pernambuco e do bioma Caatinga foram obtidos no portal de mapas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na página da web: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/todos-os-produtos-geociencias.html>. Os dados de calor do bioma Caatinga foram obtidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) na página da web: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/#mapa>, os arquivos foram baixados em formato *shapefile* e no site da USGS foram obtidas imagens satélites Landsat-8.

### 3.6 Pré-Processamento das Imagens

No pré-processamento dos arquivos obtidos por meio do banco de dados IBGE e INPE, foram realizados os processamentos, como a conversão dos arquivos para o sistema de coordenadas planas (UTM), zona 24S e modelo matemática da representação da terra ao nível do mar (Datum) e *World Geodetic System* (WGS-84).

O processamento das bandas multiespectrais com resolução de 15m e 30m, com essas resoluções de proximidade com superfície da terra, tendo com isso melhores análises dos fatores estudados, como no risco de incêndios e o El Niño os recortes, a interpolação para quantificar a quantidade de focos de calor e os riscos de incêndios, a renderização para melhor visualização através das cores simples falsa cor e legenda, serão processados no software QGIS versão 3.22.6- Bialowieza. Com a confecção dos mapas foi possível obter dados brutos sobre os riscos de incêndios na região da Caatinga e se existe influência do El Niño.

### 3.7 Índices de Vegetação (IV's)

Para obter o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é necessário realizar uma operação matemática que se faz por meio da diferença das reflectâncias do infravermelho próximo (IV) que corresponde a banda 5 da imagem do satélite landsat-8 e do vermelho (V) que corresponde a banda quatro do mesmo satélite, dividido pela soma das mesmas bandas, de acordo com a equação abaixo. USGS (2023):

$$NDVI = (IV - V) / (IV + V) \quad (1)$$



Para se fazer o cálculo do Índice de Vegetação Ajustada ao Solo (SAVI), utilizou-se a seguinte equação abaixo, USGS (2023):

$$SAVI = ((1+L) (IV - V) / (L + IV + V)) \quad (2)$$

Em que: L = Fator de ajuste ao solo (0,5).

Após o SAVI se fez necessário calcular o Índice de Área Foliar (IAF) por meio da equação proposta por Allen et al. (2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0.69-SAVI}{0.59}\right)}{0.91} \quad (3)$$

Assim que foi calculado o IAF, foi preciso calcular a emissividade de superfície ( $\epsilon_0$ ) calculada em função do IAF conforme mostra a equação 5:

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 * IAF \quad (4)$$

Em seguida se fez necessário calcular o Índice de Vegetação Espectral (EVI), um pouco semelhante ao NDVI, usado para quantificar o verde da vegetação. O EVI corrige algumas condições atmosféricas e ruído de fundo de dossel. É expresso conforme equação abaixo, USGS (2023):

$$EVI = G * ((NIR - R) / (NIR + C1 * R - C2 * B + L)) \quad (5)$$

### 3.8 Temperatura da Superfície (Ts)

Para a Temperatura da Superfície (Ts) em Kelvin (K) se faz necessário o cálculo da banda 10 do sensor THIRS do Landsat-8. A Ts é realizada conforme a equação abaixo (WENG et al., 2004):

$$T_{sk} = L_{\lambda,10} / (1 + (10,895 * L_{\lambda,10} / 14388) * \ln(\epsilon_0)) \quad (6)$$

Em que,  $L_{\lambda,10}$  é a radiância monocromática da banda 10. Essa temperatura foi transformada para Celsius ( $^{\circ}C$ ), conforme equação a seguir:

$$T_{sc} = T_{sk} - 273,15 \quad (7)$$

### 3.8 Variáveis Adotadas

As variáveis adotadas foram hipsometria (Altitude), uso e cobertura do solo, orientação de encostas, declividade, sistema viário, precipitação, temperatura da superfície e índice de vegetação da diferença normalizada. Vários estudos sobre risco de incêndios florestais trabalharam adotando essas variáveis (ex. ARAUJO. 2022; PACHECO et al 2021; MARCHESAN et al 2020)

#### 3.8.1 Hipsometria

De acordo com as elevações, quando há aumento da altitude, ocasiona perda de temperatura e elevada umidade relativa, dificultando a ocorrência de incêndios. O mapa de hipsometria foi obtido por meio de um MDE (Modelo Digital de Elevação), onde foi criado um mosaico para ser convertido em raster e em seguida calculado as elevações, as imagens foram disponibilizadas na plataforma topodata. Na tabela 1, mostra os valores obtidos, classificados em classes de elevações, riscos de incêndios e pesos. Os pesos são atribuídos de 1 a 5, ou seja, o quanto as elevações tendem a ter uma menor a maior predominância em ocorrer riscos de incêndios.

Tabela 1. Classificação de Risco por Hipsometria em Petrolina- PE

Hipsometria (Altitude)		
Classes (m)	Risco	Peso
>586,8	Muito Baixo	1
525,6 a 586,8	Baixo	2
464,4 a 525,8	Médio	3
403,2 a 464,4	Alto	4
<403,2	Muito Alto	5

Fonte: Adaptado de Araujo et al (2022)

### 3.8.2 Uso e Cobertura do Solo

O mapeamento de uso e cobertura do solo é fundamental para verificar as atividades antrópicas e com isso pode classificar as áreas de uso pelo homem. O município de Petrolina foi classificado em cinco classes: cursos d'água, solo exposto, agricultura (plantios de uvas e diversas culturas frutíferas), área urbanas e vegetação/ caatinga. De acordo com as classes de risco, as áreas urbanizadas e a vegetação caatinga, são as áreas com maiores risco de incêndios, tanto pelas atividades antrópicas o quanto pelas condições climáticas favoráveis a vegetação seca.

Tabela 2. Classificação de Risco por Uso e Ocupação do Solo em Petrolina- PE

Uso e Ocupação do Solo (UOS)		
Classes	Risco	Peso
Cursos d'água	Muito Baixo	1
Solo Exposto	Baixo	2
Agricultura	Médio	3
Áreas Urbanas	Alto	4
Vegetação/ Caatinga	Muito Alto	5

Fonte: Adaptado de Araujo et al (2022)

### 3.8.3 Orientação de Encostas

As faces de exposição do terreno é um fator importante devido a relação com a disponibilidade energética para a redução de umidade, presente nos materiais combustíveis Os raios solares que incidem no hemisfério sul, possuem maior incidência nas faces do terreno voltadas para o norte, ou seja, com isso a exposição recebe e transmite muita energia do que qualquer outra exposição do relevo, ocasionando maiores chances de ocorrer incêndios (PRUDENTE, 2016).

Tabela 3. Classificação de Risco por Orientação de Encostas em Petrolina- PE

Orientação de Encostas (OE)		
Classes	Risco	Peso
N	Muito Baixo	1
NW	Baixo	2
SE/S/SW	Médio	3
E	Alto	4
NE	Muito Alto	5

Fonte: Adaptado de Araujo et al (2022)

### 3.8.4 Declividade

A propagação do fogo em área com aclives, aquelas áreas onde há maior inclinação, é superior, se comparado aos declives, áreas com inclinação menor, pois as áreas mais declivosas são apontadas como áreas de maior influência em ocorrer risco de incêndios, a transferência de calor é facilitada a medida que o grau de inclinação aumenta, fazendo com que eleve a velocidade de propagação do fogo, além disso, o fogo se alastra pra cima, já que consome o material combustível localizado na parte superior do terreno.

Tabela 4. Classificação de Risco por Declividade em Petrolina- PE

Orientação de Encostas (OE)		
Classes (°C)	Risco	Peso
< 6,55	Muito Baixo	1
6,55 a 13,09	Baixo	2
13,09 a 19,64	Médio	3
19,64 a 26,18	Alto	4
>26,18	Muito Alto	5

Fonte: Adaptado de Araujo et al (2022)

### 3.8.5 Sistema Viário

A malha viária engloba rodovias, estradas vicinais, corredores e trilhas que facilitam o acesso a diversas localidades, interligando um ponto de acesso a outros, permitindo o escoamento das zonas rurais do sistema produtivo, permitindo a exploração dos recursos naturais.

As estradas são consideradas um fator de risco de incêndios devido a diversas atividades antrópicas como, jogar bituca de cigarro na estrada, praticar cultos religiosos, fogueiras, jogar latinhas e vidros ou até mesmo colocar fogo por intenções criminosas.

Tabela 5. Classificação de Risco por Influência do Sistema Viário em Petrolina- PE

Sistema Viário (SV)		
Classes	Risco	Peso
Ausente	Muito Baixo	1
Estradas Vicinais (50 m)	Baixo	2
Estradas Principais (100m)	Muito Alto	5

Fonte: Adaptado de Araujo et al (2022)

### 3.8.6 Precipitação

A precipitação é um dos fatores de grande relevância para os riscos de incêndios, nos municípios há localidades onde as precipitações são maiores, pois em lugares onde há altas precipitações tem tendências de ocorrer pouco risco de incêndios e em localidades onde há baixas precipitações o risco de ocorrer incêndios são maiores, pois não há água na região, a vegetação fica seca, facilitando o risco.

Tabela 6. Classificação de Risco pela Influência da Precipitação em Petrolina- PE

Precipitação		
Classes (mm)	Risco	Peso
> 662,08	Muito Baixo	1
662,08 a 641,31	Baixo	2
641,31 a 620,55	Médio	3
620,55 a 599,78	Alto	4
<599,78	Muito Alto	5

Fonte: Adaptado de Araujo et al (2022)

### 3.8.7 Temperatura da Superfície

A temperatura da superfície é uma variável que leva em consideração o quanto as áreas do município recebem calor, pois áreas com elevadas temperaturas tem predominâncias em

ocorrer riscos de incêndios e quando a vegetação está mais seca é mais fácil entrar em combustão.

Tabela 7. Classificação de Risco por Temperatura da Superfície em Petrolina- PE

Temperatura da Superfície (Ts)		
2015		
Classes (°C)	Risco	Peso
<33,03	Muito Baixo	1
33,03 a 37,36	Baixo	2
37,36 a 41,68	Médio	3
41,68 a 46,01	Alto	4
> 46,01	Muito Alto	5
2016		
Classes (°C)	Risco	Peso
<33,03	Muito Baixo	1
33,03 a 37,35	Baixo	2
37,35 a 41,68	Médio	3
41,68 a 46,00	Alto	4
> 46,00	Muito Alto	5
2017		
Classes (°C)	Risco	Peso
<24,86	Muito Baixo	1
24,86 a 28,47	Baixo	2
28,47 a 32,08	Médio	3
32,08 a 35,69	Alto	4
> 35,69	Muito Alto	5
2018		
Classes (°C)	Risco	Peso
<30, 19	Muito Baixo	1
30,19 a 30,62	Baixo	2
30,62 a 31,05	Médio	3
31,05 a 31,48	Alto	4
> 31,48	Muito Alto	5

Continuação tabela 7...

Continuação tabela 7...

2019		
Classes (°C)	Risco	Peso
<27,08	Muito Baixo	1
27,08 a 32,52	Baixo	2
32,52 a 37,96	Médio	3
37,96 a 43,41	Alto	4
> 43,41	Muito Alto	5
2020		
Classes (°C)	Risco	Peso
<30,33	Muito Baixo	1
30,33 a 30,87	Baixo	2
30,87 a 31,40	Médio	3
31,40 a 31,94	Alto	4
> 31,94	Muito Alto	5

Fonte: Adaptado de Araujo et al (2022)

### 3.8.8 Índice de Vegetação Normalizada

De acordo com Alves et al (2018), o NDVI corresponde a variação da cobertura vegetal associado a uma série de mudanças com o comportamento do fogo e também com combustível e condições climáticas. O combustível varia de acordo com o tipo de vegetação, na caatinga a suscetibilidade de ocorrer incêndio é maior devido à grande quantidade de matéria seca, folhas e galhos presente no solo e isso ocasiona alterações no desenvolvendo de incêndios.

Este índice de vegetação é fundamental para analisar o comportamento das áreas com cobertura vegetal, obtido por meio da reflectância.

Tabela 8. Índice de Vegetação Normalizada de 2015 a 2020 em Petrolina- PE

Índice de Vegetação Normaliza (NDVI)		
2015		
Classes	Risco	Peso
-0,609	Muito Baixo	1
-0,609 a -0,218	Baixo	2
-0,218 a 0,173	Médio	3
0,173 a 0,564	Alto	4
> 0,564	Muito Alto	5

Continuação tabela 8...

Continuação tabela 8...

2016		
Classes	Risco	Peso
-0,600	Muito Baixo	1
-0,600 a -0,200	Baixo	2
-0,200 a -0,200	Médio	3
-0,200 a 0,600	Alto	4
> 0,600	Muito Alto	5
2017		
Classes	Risco	Peso
-0,611	Muito Baixo	1
-0,611 a -0,223	Baixo	2
-0,223 a 0,166	Médio	3
0,166 a 0,555	Alto	4
> 0,555	Muito Alto	5
2018		
Classes	Risco	Peso
-0,613	Muito Baixo	1
-0,613 a -0,226	Baixo	2
-0,226 a 0,161	Médio	3
0,161 a 0,548	Alto	4
> 0,548	Muito Alto	5
2019		
Classes	Risco	Peso
-0,614	Muito Baixo	1
-0,614 a -0,228	Baixo	2
-0,228 a 0,158	Médio	3
0,158 a 0,544	Alto	4
> 0,544	Muito Alto	5
2020		
Classes	Risco	Peso
-0,615	Muito Baixo	1
-0,615 a -0,229	Baixo	2
-0,229 a 0,159	Médio	3
0,156 a 0,542	Alto	4
> 0,542	Muito Alto	5

Fonte: Adaptado de Araujo et al (2022)



### **3.8.9 Riscos de Incêndios**

O mapa de risco de incêndio florestal foi obtido a partir da geração de outros elementos topográficos. O *software* utilizado foi o QGIS versão Bialowieza 3.22.6, primeiro foi necessário inserir o contorno do município de Petrolina, por meio de arquivos shapefile, onde foram feitos downloads de imagens Landsat-8 dos sensores OLI e TIRS do site USGS Explorer, essas imagens foram classificadas com correção atmosférica e em seguida recortadas e processadas, além disso, foram baixadas imagens SRTM do site Topodata, para se fazer alguns produtos topográficos. Primeiro foi feito o mapa de UCS, em seguida os índices de vegetação (NDVI, SAVI, EVI, IAF), calculou-se a Ts e converteu-a para Tsk.

Com as imagens SRTM foram gerados os produtos de Hipsometria, Declividade, e Orientação de Encostas. Com auxílio do plugin “QuickOSM” foi possível obter a malha viária do município. O mapa de precipitação foi obtido por meio de uma planilha disponibilizada no site do INMET, onde se fez necessário elaborar um mapa da média das precipitações durante vinte anos, (2000 a 2020).

Por fim foi gerado o mapa de risco de incêndios com a metodologia AHP, descrita no tópico abaixo. Onde se fez consideração de matrizes escala de pontos e matriz de comparação pareada. No site da AHP: <https://bpmmsg.com/ahp/ahp-calc.php> foi calculada a matriz e analisada a suscetibilidade do risco de incêndio, onde se adotou às nove variáveis, lembrando que apenas um índice de vegetação poderia se adotar, o qual foi escolhido o NDVI. Feito todos os procedimentos realizados acima, foi calculado no QGIS com a ferramenta calculadora raster os riscos de incêndios (RI).

#### **3.8.9.1 Definição dos pesos dos Fatores**

O Processo Hierárquico Analítico (AHP), proposto por Saaty (1977), é um modelo para atribuir pesos. Com isso se fez a comparação pareada entre cada um dos fatores, determinando a importância que cada um possui, através de uma matriz quadrada os fatores foram analisados em pares, de modo que cada uma das células da matriz é preenchida com um valor de avaliação expressando a importância relativa dos pares de fatores (Nicolete; Zimback, 2013).

O AHP é um tipo de análise multicritério, utilizado por muitos autores em cálculos de riscos de incêndios (ex. ARAUJO 2022; RIBEIRO, et al 2012; JUVANHOL 2014). Essa metodologia é difundida por ser simples e depender apenas de técnicas computacionais ou

dados históricos de incêndios. O conhecimento do especialista é utilizado na tomada de decisão e na hierarquização das variáveis.

Esses valores para análise então são formados de uma escala contínua com nove pontos (Quadro 3)

Quadro 3- Escala de pontos para a comparação pareada

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Muito Fortemente	Fortemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fortemente	Muito Fortemente	Extremamente



Fonte: Nicolete e Zimback (2013).

Devido á incertezas de alguns pesquisadores deve-se adotar uma tolerância dentro de determinados parâmetros para aceitação, Saaty & Vargas (2001) indicam o cálculo do Índice de Consistência (IC):

$$IC = \frac{|\lambda_{max} - n|}{(n-1)} \quad (8)$$

Onde:  $\lambda_{max}$  o estimador de autovalor máximo e n representa a ordem da matriz

O cálculo do estimador de autovalor máximo é dado pela fórmula abaixo:

$$\lambda_{max} = T * w \quad (9)$$

Onde: T representa o somatório das colunas das matrizes e (w) o autovetor normalizado para  $\sum v_i = 1$ .

Com interesse de permitir a avaliação da inconsistência em função da ordem máxima da matriz de julgamento, Saaty & Vargas (2001) empregam a Razão de Consistência (RC). Onde o RC é calculado pela seguinte fórmula:

$$RC = IC * IR \quad (10)$$

O IR é o índice randômico de consistência adquirido para a matriz recíproca, possuem elementos positivos, sendo adotado IR = 1,3.

Os julgamentos da matriz de decisão apenas são considerados consistentes se: RC = 0 para n = 2, RC < 0,05 para n = 3, RC < 0,09 para n = 4 e RC ≤ 0,10 para n > 4. Caso contrário, existe alguma inconsistência nos julgamentos deve-se ser solicitado uma reavaliação.

Este método é um processo hierárquico de tomada de decisão em que os elementos foram classificados de um nível superior para um inferior. Posteriormente, é criada uma matriz de comparação para definir os pesos de cada variável. A matriz de comparação registra a importância relativa da conexão entre cada par de critérios e permite aos tomadores de decisão entender como os critérios se conectam por meio de um fator de ponderação referido a cada critério.

Os fatores de ponderação variam de 1 a 9, sendo 1 quando dois dos parâmetros apresentam igual importância e 9 quando um tem extrema importância em relação ao outro.

Com uso da AHP foi elaborada a matriz de comparação pareada e determinar os pesos dos fatores, como a taxa ou razão da consistência (Tabela 9).

Tabela.9 - Matriz de comparação pareada com os valores de importância mútua para o modelo de Risco de Incêndios Florestais

		OE	HIP	SV	TEMP	PREC	DEC	NDVI	UCS
OE	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9
HIP	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8
SV	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7
TEMP	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6
PREC	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5
DEC	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4
NDVI	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3
UCS	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2

Fonte: Adaptado de Araujo et al (2022)

Onde: TC = Taxa de Consistência; UCS = Uso e Cobertura do solo; NDVI = Índice de vegetação Normalizada; DEC = Declividade; PREC - Precipitação; SV = Sistema Viário; HIP = Hipsometria e OE = Orientação das encostas

Os pesos gerados na AHP, resultou os seguintes resultados, abaixo (Tabela 10)

Tabela 10. Pesos obtidos da AHP

OE	HIP	SV	TEMP	PREC	DEC	NDVI	UCS
1.000.000	0.500000	0.333333	0.250000	0.200000	0.166667	0.142857	0.125000
2.000.000	1.000.000	0.500000	0.333333	0.250000	0.200000	0.166667	0.142857
3.000.000	2.000.000	1.000.000	0.500000	0.333333	0.250000	0.200000	0.166667
4.000.000	3.000.000	2.000.000	1.000.000	0.500000	0.333333	0.250000	0.200000
5.000.000	4.000.000	3.000.000	2.000.000	1.000.000	0.500000	0.333333	0.250000
6.000.000	5.000.000	4.000.000	3.000.000	2.000.000	1.000.000	0.500000	0.333333
7.000.000	6.000.000	5.000.000	4.000.000	3.000.000	2.000.000	1.000.000	0.500000
8.000.000	7.000.000	6.000.000	5.000.000	4.000.000	3.000.000	2.000.000	1.000.000
<b>0.023561</b>	<b>0.032696</b>	<b>0.047680</b>	<b>0.070935</b>	<b>0.105905</b>	<b>0.157238</b>	<b>0.230663</b>	<b>0.331322</b>
8.288.200	<b>0.029384</b>	<b>RC=0.029</b>					

Fonte: AHP (2023)

Com os resultados obtidos gerou-se o modelo com a integração dos atributos avaliados e respectivos índices calculados com base no método AHP, conforme equação 11, abaixo:

$$RISCO = 0.331 * UCS + 0.230 * NDVI + 0.157 * DEC + 0.105 * PREC + 0.070 * TEMP + 0.047 * SV + 0.032 * HIP + 0.023 * OE \quad (11)$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Identificação e Mapeamento das Atividades Antrópicas

As atividades antrópicas influenciam no risco de incêndios de acordo com a exploração de recursos naturais, no comércio há produção de matérias combustíveis, circulação de pessoas, em serviços eletrônicos se enquadram (serviços telefônicos, mecânicos, rede elétrica etc), são serviços que afetam o meio ambiente e conseqüentemente contribuem no risco de incêndios assim como: construção civil, indústrias de transformação e outras atividades que também são realizadas no meio rural, conforme resumo no quadro 4.

Quadro 4. Atividades antrópicas do município de Petrolina- PE

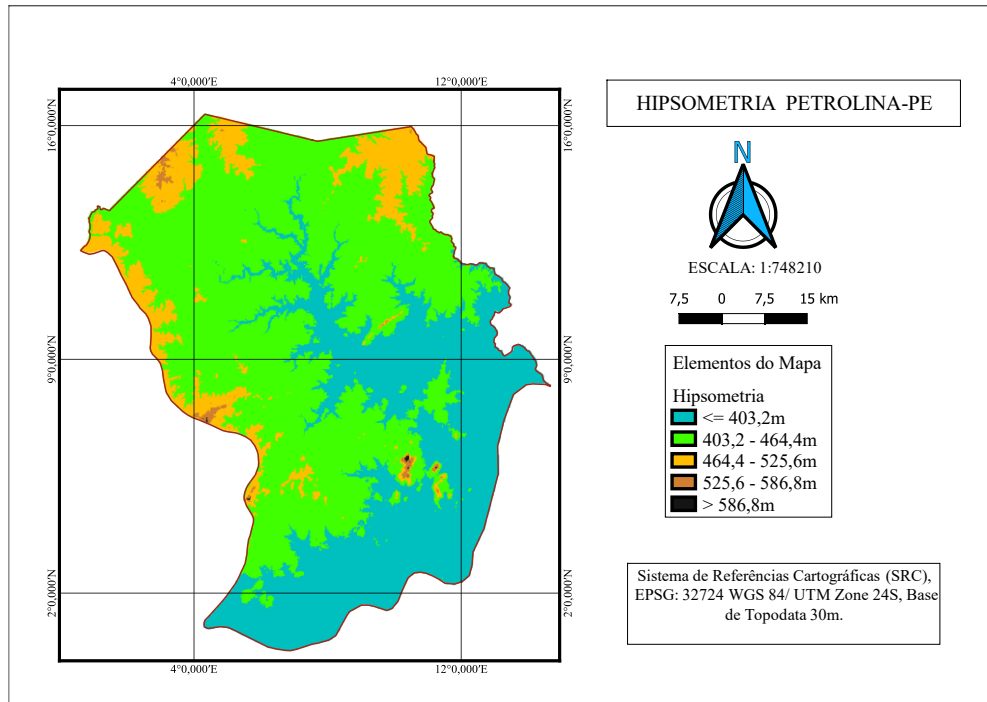
Petrolina-PE	Atividades/ Empreendimento
Área Urbana	Comércio
	Serviços Eletrônicos
	Construção Civil/Urbanização
	Industria de Transformação
Área Rural	Pesca
	Caça
	Cultivo de Pastagem
	Agricultura de Subsistência
	Cultivos Agrícolas
	Cultivo de Pastagem

Fonte: Autor (2022)

#### 4.2 Relevô

Na figura 2, apresenta o mapa hipsométrico do município de Petrolina-PE, onde as elevações variam de 372,3m a 574m. As baixas elevações indicam alto risco de incêndios enquanto as altas elevações indicam baixo ou muito baixo risco de incêndios florestais.

**Figura 2-** Mapa hipsométrico, Modelo Digital de Elevação de Petrolina-PE

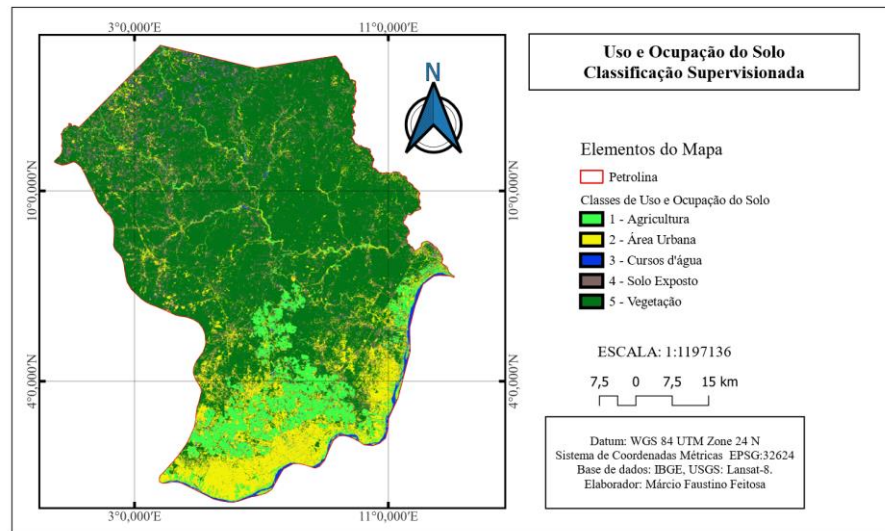


Fonte: Autor (2023)

### 4.3 Uso e Cobertura do Solo

Uso e ocupação do solo é essencial para mapear as diversas atividades expostas no município, serve para conhecer o tipo de vegetação, poque afeta o comportamento e a propagação do fogo devido aos tipos e propriedades dos combustíveis e das condições climáticas. De acordo com Juvanhol (2014), as florestas densas e fechadas se caracterizam por um microclima ameno, e os combustíveis têm teor de umidade superior e também são mais estáveis em comparação com as florestas abertas e escassas como a caatinga. O fogo se propaga melhor em florestas abertas ou plantadas, pois apresentam condições favoráveis a queima devido a homogeneidade

**Figura 3-** Mapa de uso e ocupação do solo de Petrolina-PE



Fonte: Autor (2023)

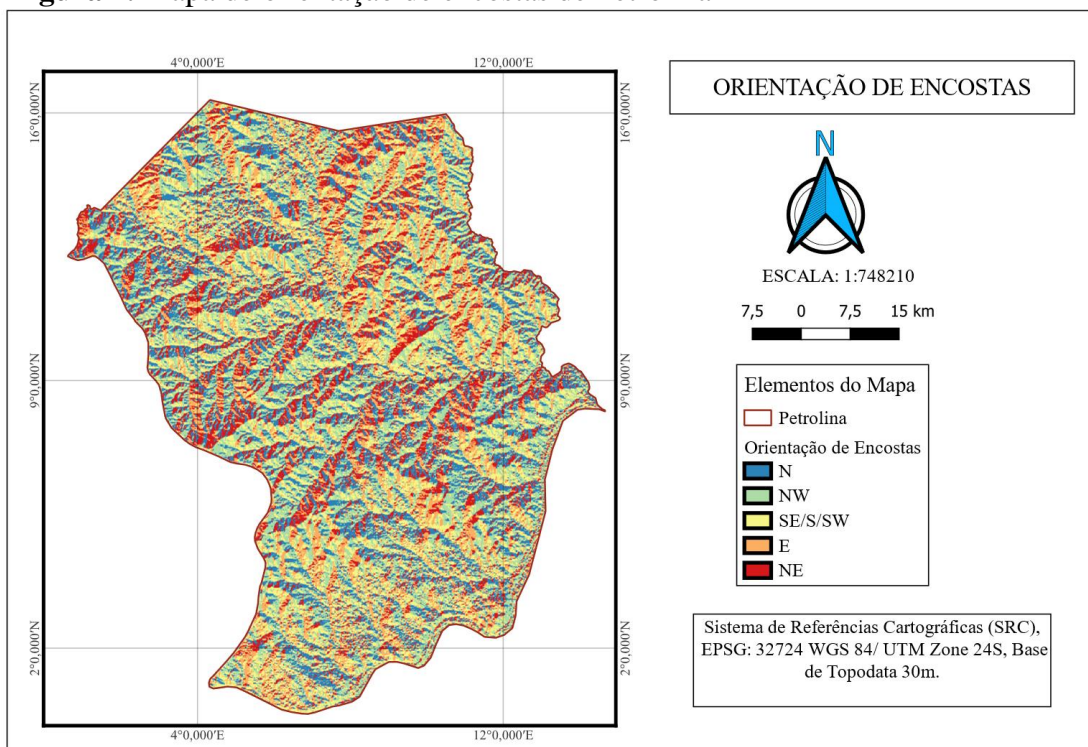
No mapa de uso e classificação do solo, figura 3, foi criado um mosaico com bandas do satélite landsat-8 (B3, B4, B5), fazendo a composição, ambas extraídas do sensor OLI e aplicadas correções atmosféricas, com auxílio da ferramenta “Semi - automatic classification plugin” na opção “Training Input” foram selecionadas diversas amostras na imagem, em seguida classificadas em cinco divisões: Agricultura, área urbana, cursos d’água, solo exposto. Por agricultura foi selecionada amostras onde há cultivos agrícolas, representada pela tonalidade verde claro, vizinha a área urbana (cor amarela), já os cursos d’água foram selecionadas amostras do rio e polígonos semelhantes, a área verde escura representa toda área de caatinga e outros tipos de vegetações arbórea, arbustiva e por último tem-se o solo exposto, em Petrolina se encontra muitas áreas com solo exposto, porém não nota-se muito, a imagem é reduzida, visualiza-se presença de solo exposto apenas com um zoom.

#### 4.4 Orientação de Encostas

Segundo Torres (2017), a quantidade de sol ou o grau de insolação estão associados à orientação de encostas, ocasionando menos umedecimento e deixando o material combustível seco, tornando-o suscetível a ignição. De acordo com Aguar (2015) a temperatura em que o local se encontra está interligado aos ventos que por vez tem função de impulsionar a propagação do fogo. Tanto o grau de insolação quanto o vento, são fatores relevantes ao risco de incêndios florestais.

Os efeitos de orientação de encostas em Petrolina, tiveram 26,18% (E) do município classificado como risco alto e muito alto com valores acima de 26,18%. (NE), já às regiões de (SE, S e SW), foram classificados com risco médio com 19,64% (NW), enquanto a região (NW) com 13,09%, com risco baixo e por último a região (N), classificado como muito baixo, que por vez incluem as regiões mais úmidas, com poucas ocorrências de ventos, conforme a figura 4.

**Figura 4.** Mapa de orientação de encostas de Petrolina-PE



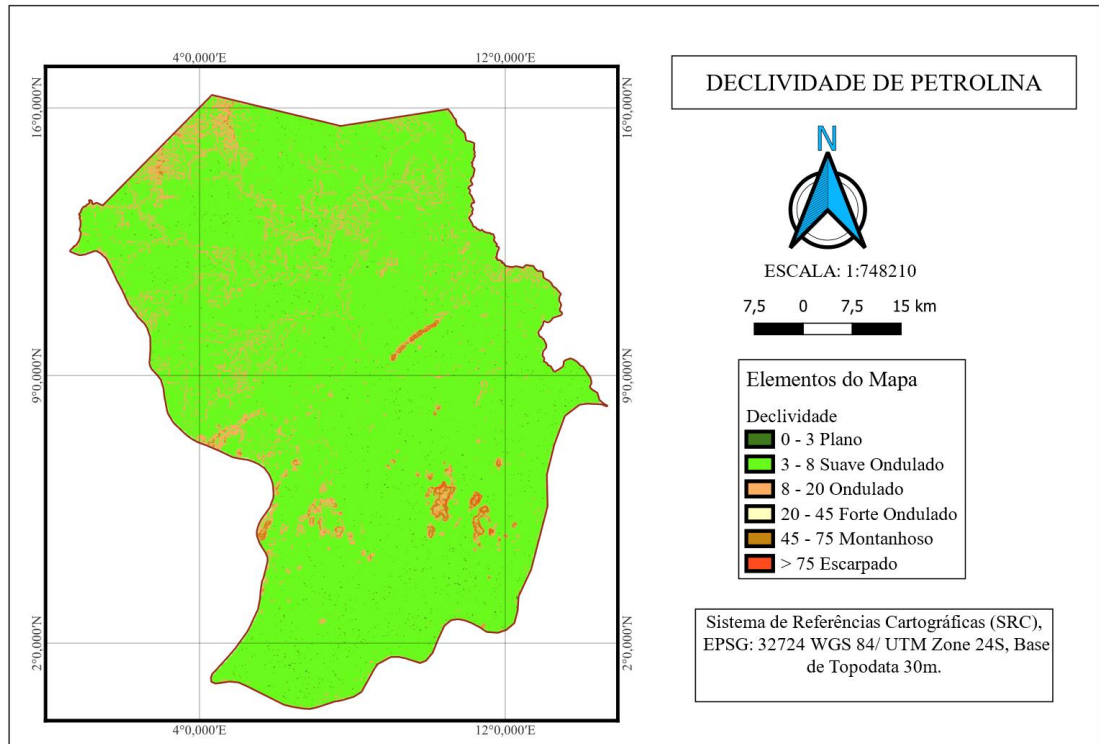
Fonte: Autor (2023)

#### 4.5 Declividade

A declividade é um dos fatores que está interligada a velocidade de propagação dos incêndios. De acordo com Lacerda (2022), o relevo influencia as direções e sentidos dos ventos e os locais onde se encontra materiais combustíveis. Na figura 5, abaixo, nota-se no mapa de declividade a inclinação do município, de acordo com o mapa, quanto maior o percentual de inclinação, maior será o risco de incêndios florestais.



**Figura 5.** Mapa de declividade de Petrolina-PE



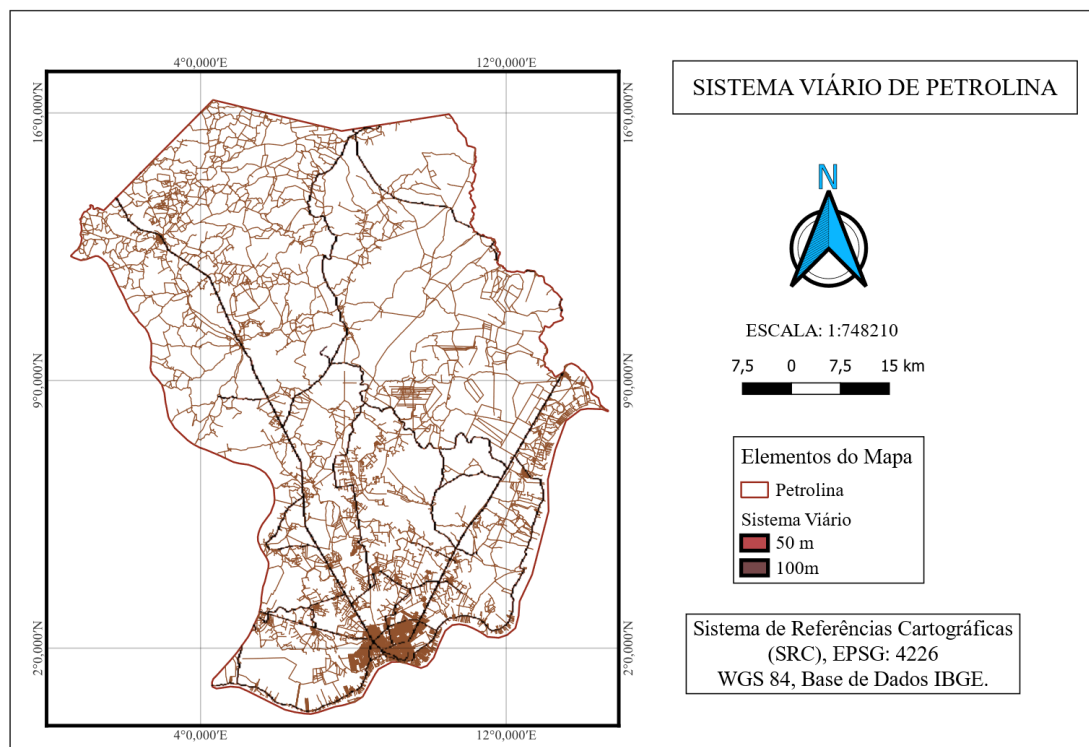
Fonte: Autor (2023)

#### 4.6 Sistema Viário

Segundo Koproski (2021), as estradas é um dos pontos mais suscetível a risco de incêndios florestais, pois são pontos que permitem acesso de pessoas e veículos e devido a isso a ocorrência do risco de incêndios torna-se maior por diversas possibilidades como incêndios iniciados por bituca de cigarros, cultos religiosos, fogueiras, e incêndios ocasionados por mal intensão, ou seja, criminalmente.

Na figura 6, foi criado mapa do sistema viário de Petrolina, com áreas de influência de 50m e 100m. De acordo com ARAUJO (2022) as estradas principais possuem risco muito elevado, enquanto as estradas com raio de 50m possuem risco muito baixo devido a menor movimentação do fluxo de pessoas e veículos.

**Figura 6.** Mapa do sistema viário de Petrolina-PE



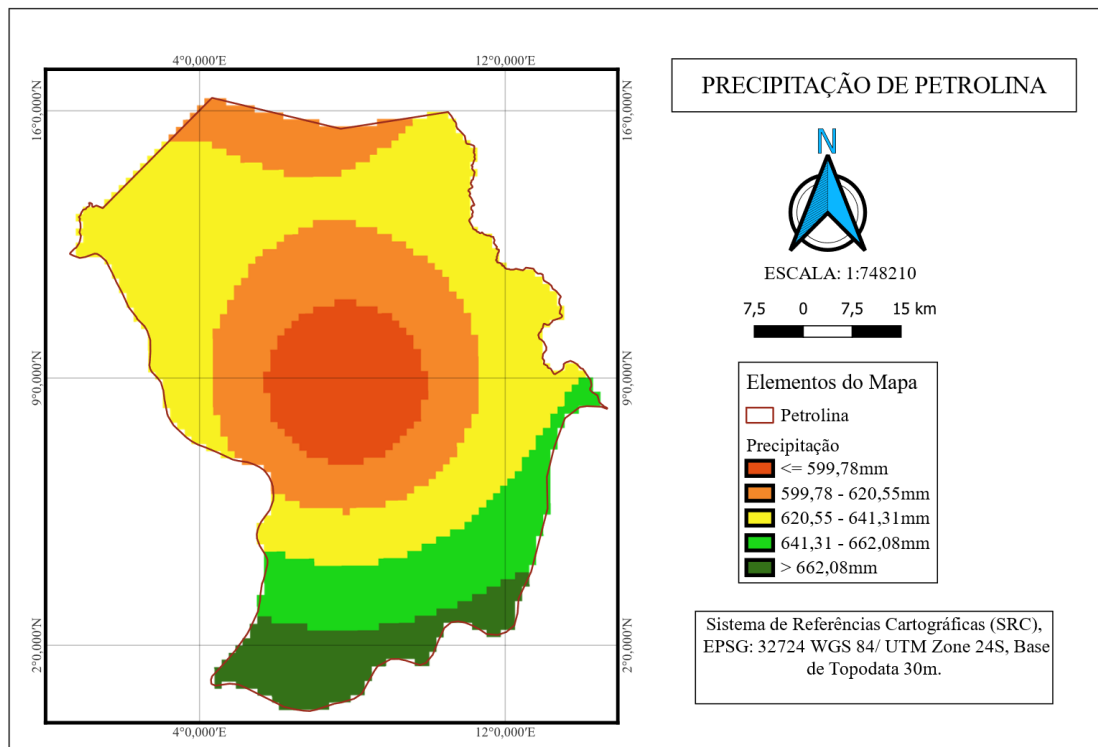
Fonte: Autor (2023)

#### 4.7 Precipitação

De acordo com Soares (1985) é um dos fatores mais relevantes durante o início, término e duração da estação de risco de incêndios. A distribuição de chuvas num determinado local é uniforme durante todo o ano, com poucas ou nenhuma estação seca, o risco de incêndios é menor em comparação com lugares onde há ocorrência de chuvas concentradas a alguns meses, mesmo com períodos longos de estiagem. (PRUDENTE, 2010).

Na imagem 6, foi gerado o mapa de precipitação média entre os anos de 2000 a 2020, a região que obteve a menor precipitação foi de 599,78mm, mesmo assim com poucas precipitações essa região é favorecida com água do rio São Francisco na irrigação de cultivos agrícolas e também onde há predominância de fragmentos de caatinga.

**Figura 7.** Mapa de Precipitação Petrolina- PE



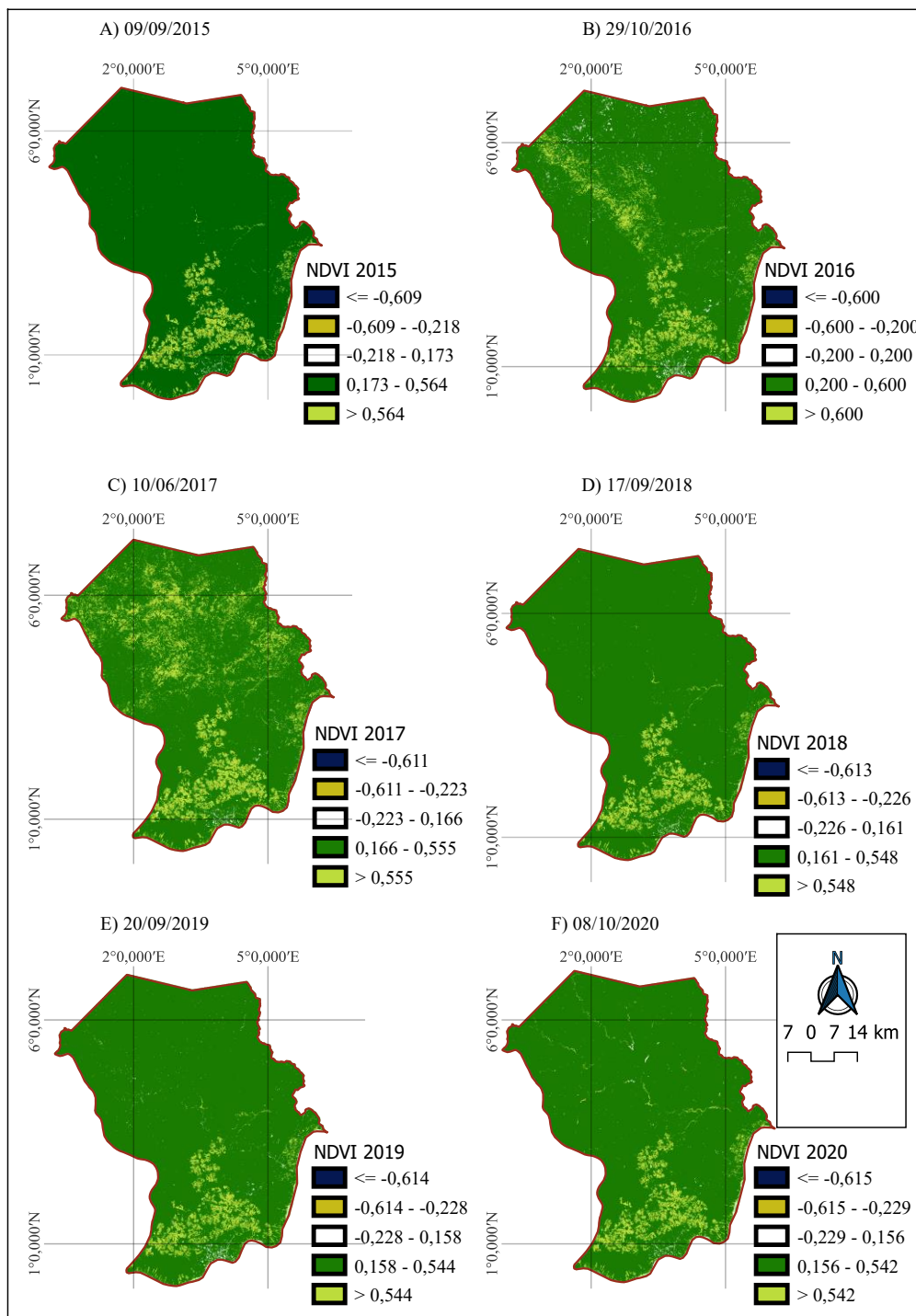
Fonte: Autor (2023)

#### 4.8 Análises do NDVI

Segundo PEREIRA JUNIOR (2002), o NDVI é o índice vegetação mais utilizado para análise de risco de incêndios florestais, ele varia de -1 a 1, em 01 indica que a vegetação está cobrindo esparsamente o solo ou vegetação seca, causando maior risco de incêndios. Valores próximos de 0 indicam ausência de vegetação ou solo exposto e 0,5 indicam vegetação verde cobrindo o solo.

A Figura 2 ilustra o comportamento do NDVI no município de Petrolina. Os valores de NDVI no solo exposto nos anos de 2015 a 2020. Em 2015 nota-se um intervalo de -0,069 e 0,564, que corresponde a uma vegetação mediana, ou seja, um pouco rala. Somente no intervalo de 0,173 e 0,564 se aproxima mais de 1, quanto mais próximo de 1, melhor vegetação. Em 2016 os valores variam de 0,200 a 0,600, que corresponde uma melhora comparada com 2015. Em 2017 verifica-se que os dados são um pouco semelhante com 2015, tendo um máximo de 0,555. Em 2018, houve uma vegetação mais escassa, variando de -0,613 a 0,548. Em 2019 se assemelha um pouco com 2018, nota-se poucas diferenças, já em 2020 se obteve valores baixos, resultando uma diminuição da vegetação.

**Figura 8-** Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), nas datas: A. 09/09/2015; B.29/10/2016; C.10/06/2017; D. 17/09/2018; E. 20/09/2019 e F. 08/10/2020.



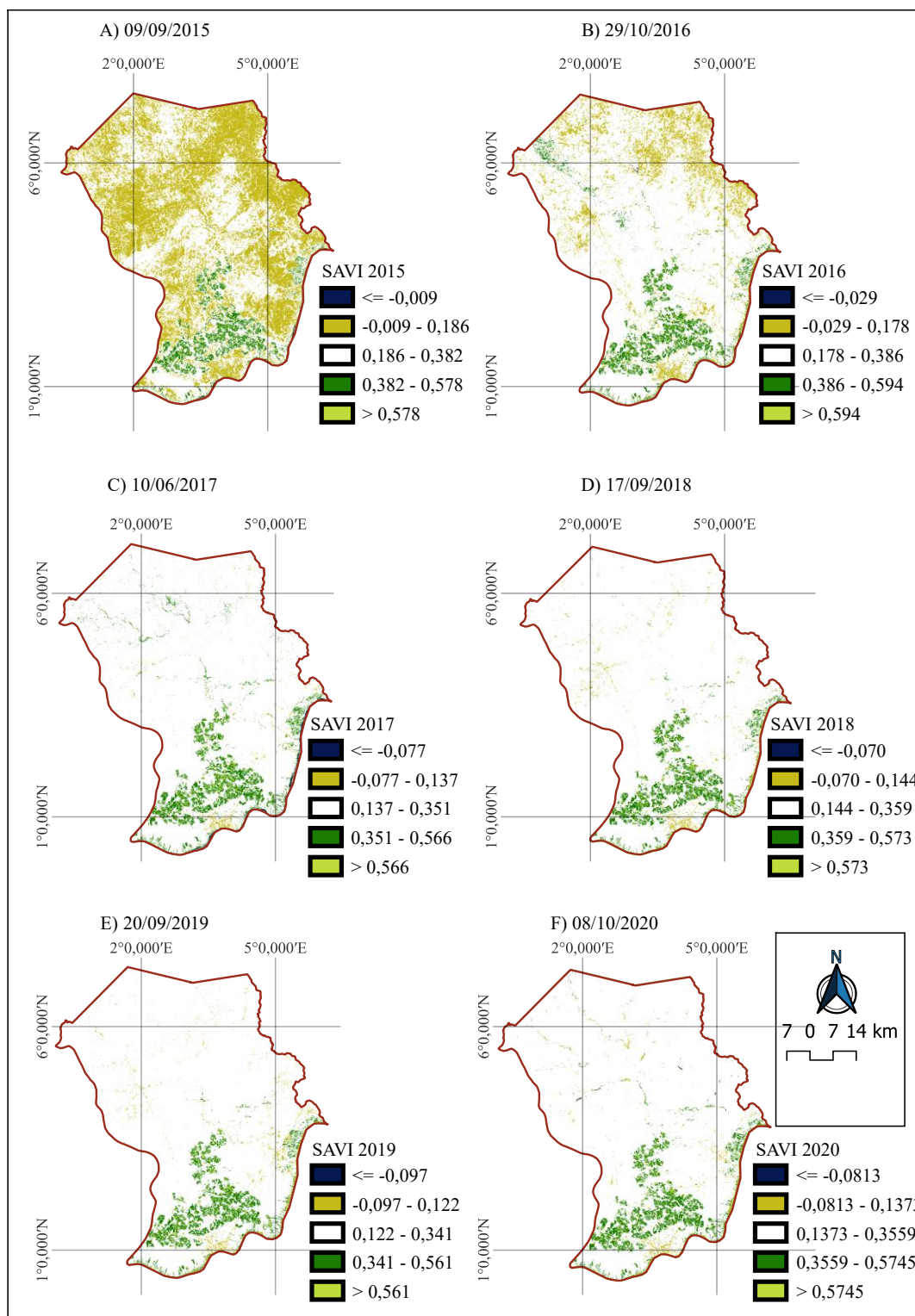
Fonte: Autor (2023)

De acordo com a figura 2, apenas os três primeiros anos apresentaram um NDVI melhor, obtendo maiores índices de acordo com a tonalidade verde claro no mapa vale ressaltar que os maiores índices se concentram na agricultura, pois comparados com o mapa de uso e cobertura do solo nota-se basicamente mesmos dados. As cores verde-claras representam o infravermelho próximo, ou seja, as bandas (NIR) do satélite landsat-8, indicando boa qualidade. Quanto mais elevado verde claro (NIR), mais saudável será a vegetação. Numa vegetação morta, com folhas secas, a diferença é basicamente nenhuma, os valores das bandas pouco variam.

#### **4.9 Análises do SAVI**

Na figura 2, verifica-se o resultando do Índice de Vegetação Ajustada ao Solo (SAVI), um pouco semelhante ao NDVI. Em 2015 nota-se um SAVI de -0,009 a 0,578, em comparação aos demais anos, verificaram que não há tanta presença de vegetação morta, até o ano de 2016 percebe-se que a vegetação pouco se altera. De acordo com a figura apenas nos últimos quatros que houve uma modificação relevante. O número de vegetação morta sobe e em 2020 percebe-se uma pequena queda. O SAVI representa muito bem áreas preservadas e agricultura.

**Figura 9-** Índice de Vegetação Ajustada ao Solo (SAVI), nas datas: A. 09/09/2015; B.29/10/2016; C.10/06/2017; D. 17/09/2018; E. 20/09/2019 e F. 08/10/2020.



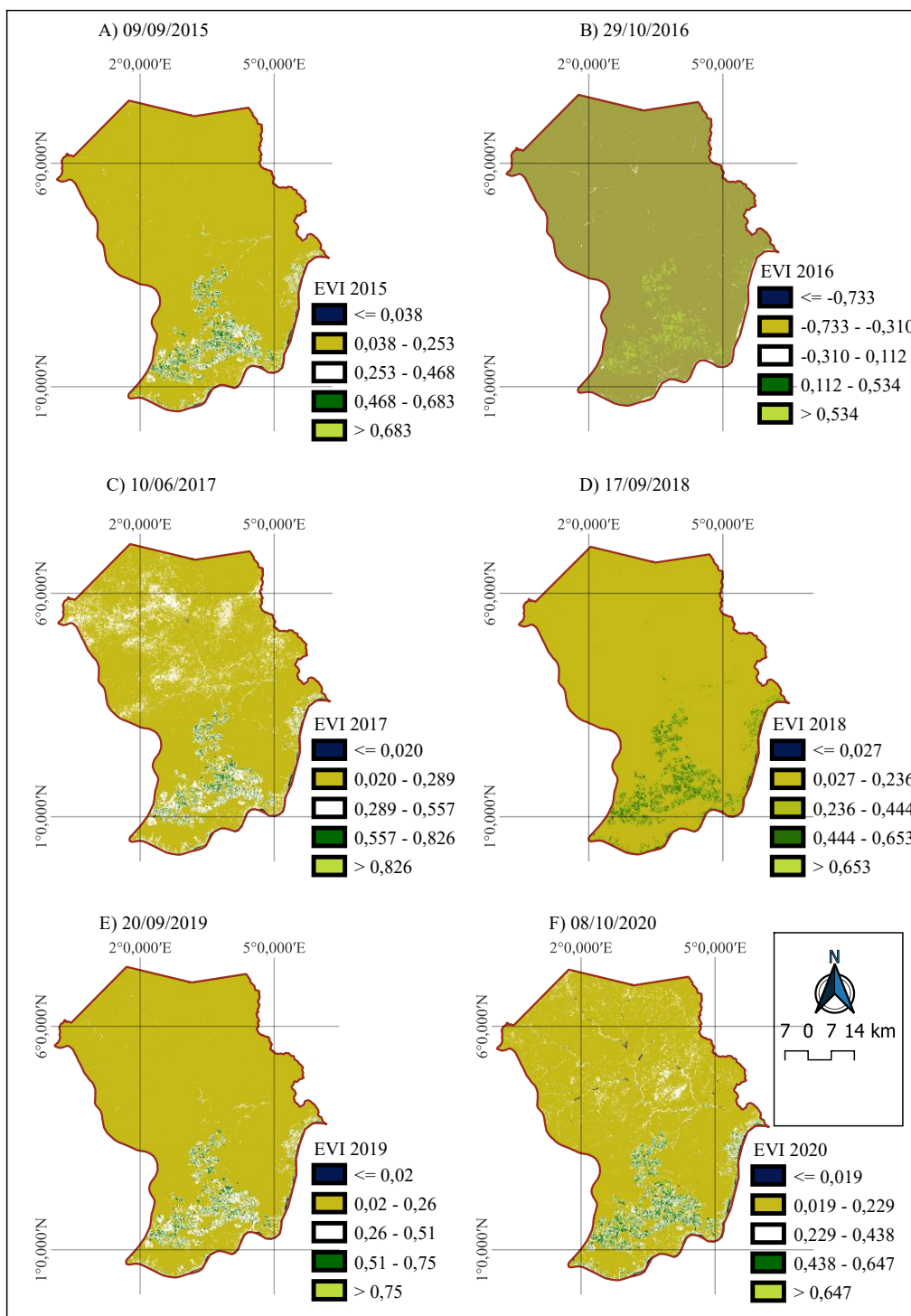
Fonte: Autor (2023)

#### **4.10 Análises do EVI**

O Índice de Vegetação Espectral (EVI) é essencial para dar continuidade aos trabalhos e identificar. Quanto o valor de EVI mais se aproxima de 0 a -1, indica que a área é mais suscetível a ocorrência de incêndios, área onde a vegetação predominante é seca e consequentemente possui elevadas temperaturas. Na figura 4 em 2016 o EVI varia de -0,733 a 0,534 isso corresponde a um ano que teve facilidade em ocorrência de incêndios e pode-se dizer que houve poucas precipitações. Os anos de 2017 e 2019 se assemelham, os dados são próximos 1, ou seja, não houve tantas áreas com facilidades a ocorrer incêndios assim como assim como 2015, 2018 e 2020, como mostra a figura 4, abaixo:



**Figura 10-** Índice de Vegetação Espectral (EVI), nas datas: A. 09/09/2015; B.29/10/2016; C.10/06/2017; D. 17/09/2018; E. 20/09/2019 e F. 08/10/2020.



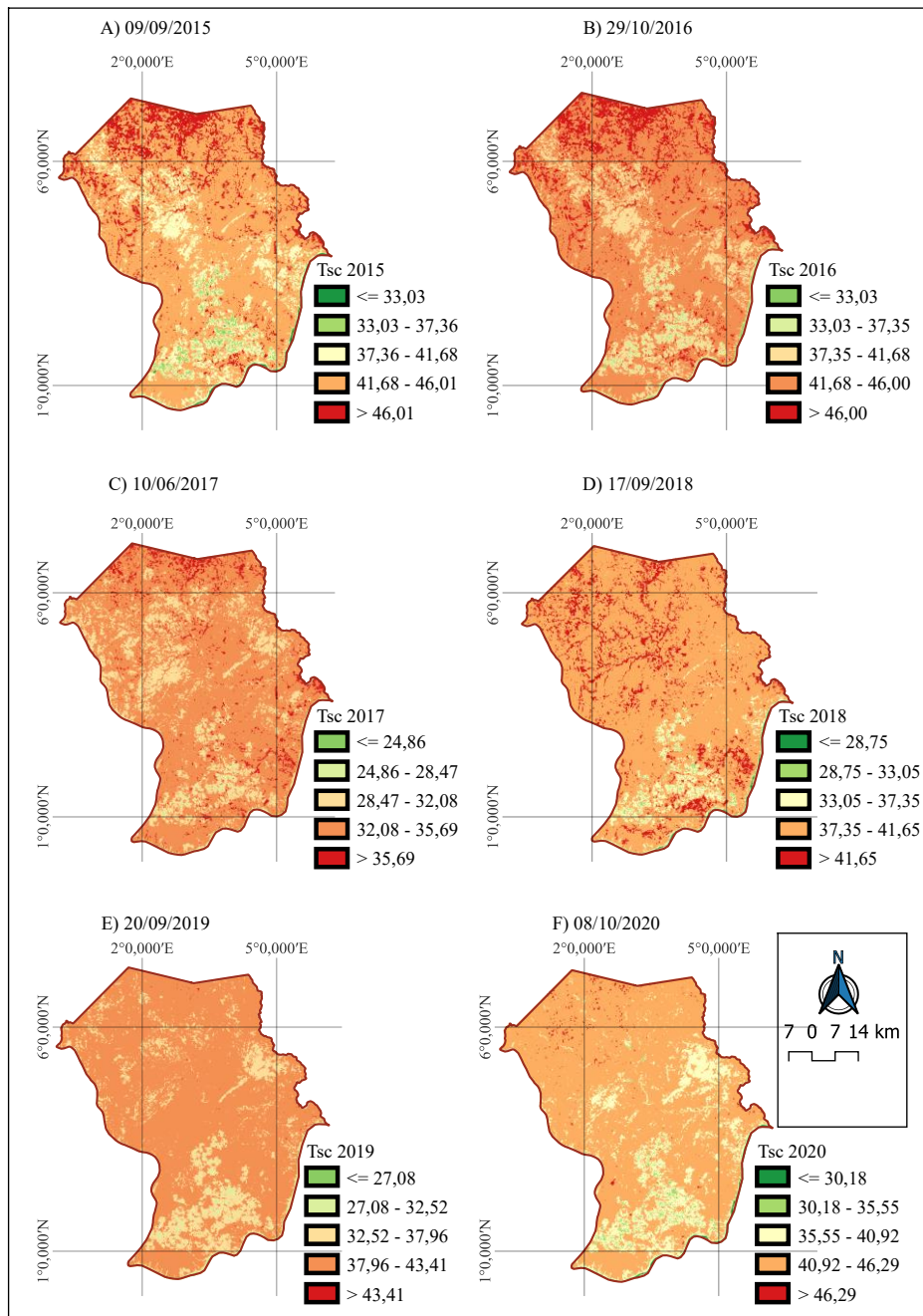
Fonte: Autor (2023)



#### 4.11 Temperatura da Superfície

Na Figura -11 verifica-se a variação da temperatura no presente estudo. Foram calculadas em Graus Celsius nos mapas de (A) a (F) e observa-se que a temperatura mínima foi da data 10/06/2017 obtendo 24,86°C e o máximo em 08/10/2020 com 46,29°C.

**Figura 11-** Mapa de Temperatura da Superfície em Graus Celsius nas datas: A. 09/09/2015; B.29/10/2016; C.10/06/2017; D. 17/09/2018; E. 20/09/2019 e F. 08/10/2020.



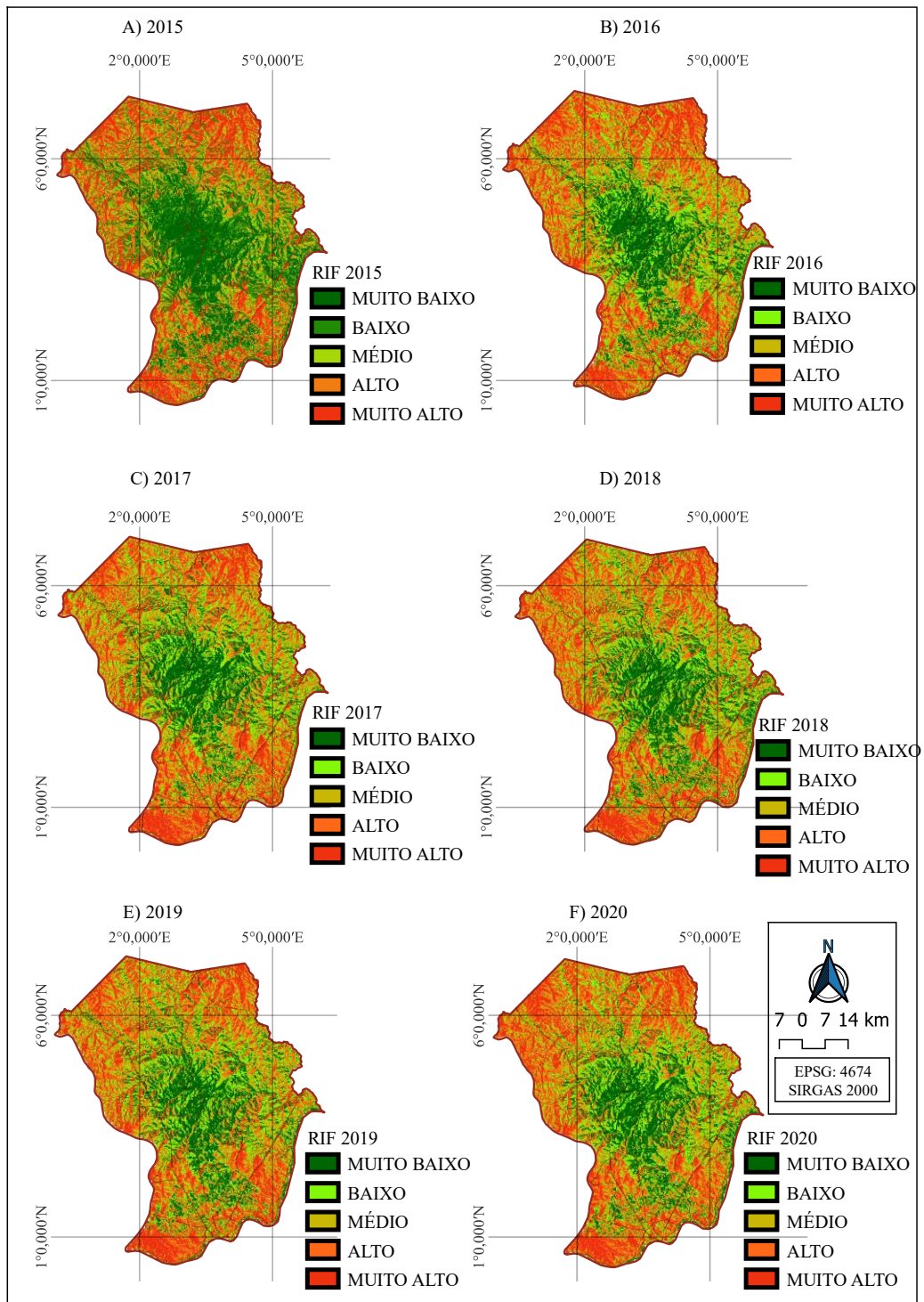
Fonte: Autor (2023)

No ano de 2015 (A) e 2016 (B) a temperatura da superfície (Ts) pouco variam, com médias de 37,96°C e 40,92°C. Nos anos 2017 (C) e 2018 (D) nota-se uma variação nas médias de 32,8°C e 37,35°C e em 2018 obteve um máximo 41,65°C. E por fim os anos de 2019 (E) e 2020 (F), a Ts variam desde as mínimas com 27,08°C, médias de 37,96 e 40,92°C e com máximas de 43, 41°C e 46, 29°C, com quase 3°C de diferença. Analisando as figuras os anos de 2015 (A), 2016 (B) e 2018 (D) se concentram maiores temperaturas em maiores áreas do município.

#### **4.12 Análise do Risco de Incêndio**

Na Figura -6 Analisa-se os riscos de incêndios de A a F nos anos de 2015 a 2020. Foi obtido por meio da metodologia AHP, foi considerada as variáveis uso e cobertura do solo, NDVI, declividade, precipitação, temperatura, sistema viário, hipsometria e orientação de encostas. Após a classificação com a metodologia AHP, foi realizado o processamento das imagens com seus pesos atribuídos, em seguida foi feita uma reclassificação de classes de RIF; muito baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto.

**Figura 12-** Mapa de Risco de Incêndios de A a F de 2015 a 2020.

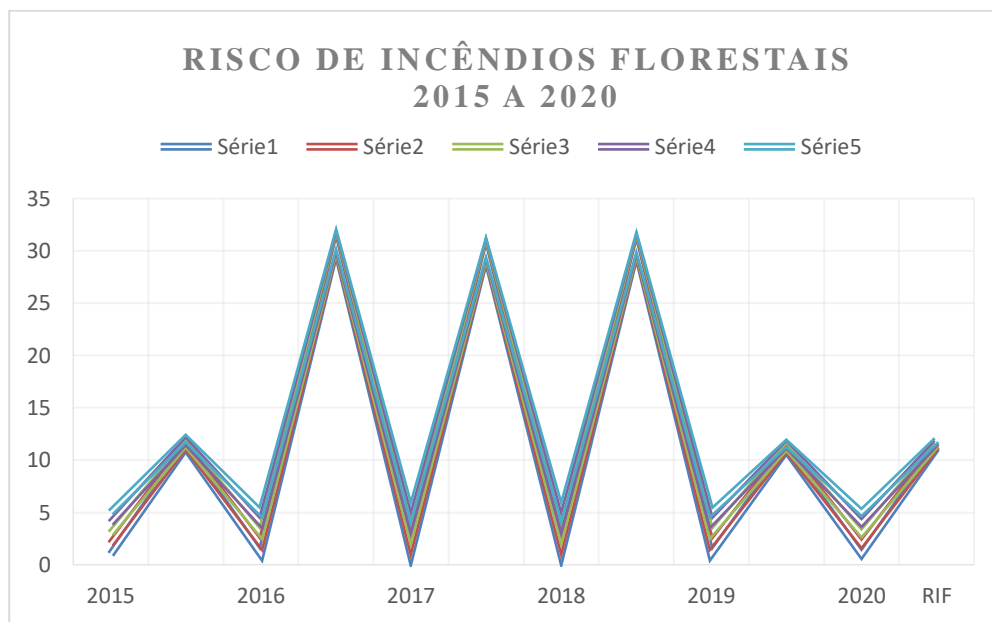


Fonte: Autor (2023)

De acordo com os resultados o ano de 2015 varia com 11,22% a 18,82%, 2016 varia com 30,33% a 31,10%; 2017 variando de 29,64% a 30,30%; 2018 com 30,10% a 30,80%; 2019 com 10,91% a 11,60% e por fim 2020 com uma variação de 11,13% a 11,91%. Dentre esses

valores os anos que mais se destaca são 2016, 2017 e 2018, pois são anos em que ocorreram o maior risco de incêndios florestais. O ano de 2019 obteve menor risco em relação aos demais, embora a amplitude de 2015, 2019 e 2020 é muito baixa. Comparando com Enos, em 2016 foi um ano em que ocorreu El niño e 2017 e 2018 ocorreu a La niña, ou seja, em 2016 se obteve maiores focos de calor e 2017 e 2018 com um pouco menos. Em 2015 e 2019 houve a predominância de El niño, e 2020 La niña, mesmo assim não influenciou tanto no município de Petrolina.

Gráfico 1. Risco de Incêndios Florestais



Fonte: Autor (2023)

## 5 CONCLUSÃO

A partir das análises cartográficas dos dados obtidos na USGS, INMET, Topodata, IBGE e os demais banco de dados. Foi possível desenvolver a análise temporal de risco de incêndios florestais para o município de Petrolina, onde os pontos de ignição foram identificados, classificados e quantificados em fatores de risco, possibilitando apontar áreas prioritárias para tomada de decisões.

O RIF contribui para o melhor entendimento geoespacial da ocorrência de propagação de evento de fogo. Todas as variáveis foram consideradas fundamentais para o presente trabalho, todos os produtos cartográficos obtidos tiveram uma grande contribuição, com o mapa de uso e ocupação do solo, hipsometria, declividade, sistema viário, NDVI, EVI, SAVI, temperatura da superfície, orientação de encostas que resultaram no produto final, mapa de risco de incêndio, que ao observar nota-se uma constante evolução do ano 2015 a 2020.

Os ENOS foram fundamentais para análises, pois na dinâmica de RIF houve tanto El Niño quanto La Niña, onde os anos mais quentes foram compreendidos de 2016 a 2019, sendo que 2016 e 2019 obterão maior influência do El Niño.

Diante disso, este trabalho servirá como um norte para órgãos ambientais para a otimização e melhor definição do risco de incêndios florestais.

Ademais, esse trabalho é capaz de embasar o desenvolvimento de uma nova norma técnica, capaz de padronizar a forma de avaliação dos RIFs, considerando os Enos.

Uma vez que esse tema é de suma importância para determinação das áreas mais propensas a ignição.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R., SANTOS, L., MATRICARDI, E., & BATISTA, I. Zoneamento de risco de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros–GO. *Enciclopédia Biosfera*, v. 11, n. 21, 2015. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/agrarias/zoneamento%20de%20risco.pdf>.

AHP - PROCESSO HIERÁRQUICO ANALÍTICO. Disponível em <<https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>> acesso em 05 jan. 2023

ALVES, DANIEL BORINI et al. 2018. Análise multitemporal de áreas afetadas pelo fogo no enclave de Cerrado do Parque Nacional dos Campos Amazônicos utilizando sensoriamento remoto e trabalho de campo. **Revista Geografia, Ensino & Pesquisa**. Vol. 22 (2018), e18, p. 01-24 ISSN: 2236-4994 DOI: 10.5902/2236499433584

AMANCIO ALVES, JOSE JAKSON et al. **Degradação da Caatinga: Uma Investigação Ecogeográfica**. *Revista Caatinga*, vol. 22, núm. 3, julio-septiembre, 2009, pp. 126-135.

ANA, Agência Nacional de Águas -; BRASILEIRO, S. F. Água e Floresta: uso sustentável da Caatinga. 2014.

ARAUJO, T. R. Zoneamento de Riscos de Incêndios Florestais no Município de Brejo-MA. 2022. 41f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Maranhão, 2012.

BARRETTO, P. C. A. Avaliação Hidrológica De Microbacias De Nascentes De Rios: p. 196, 2010.

CAHU, T. B.; MACHADO, J.; ANDRADE, J. DA S.; WANDERLEY, R. A. Modelo digital de terreno na microrregião de Petrolina com base em índices de desenvolvimento local | Digital terrain model in the micro region of Petrolina based on local development indices. **Revista Geama**, [S. l.], v. 1, n. 3, p. 304–310, 2016. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/508>. Acesso em: 4 jan. 2023.

CORREIA, LUCAS REIS. Efeitos educacionais da expansão repentina de vagas em educação infantil: Petrolina e Juazeiro, um experimento natural. 2018. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, 2018. doi:10.11606/D.96.2018.tde-05072018-153935. Acesso em 03 jan 2023.

COSTA, J.A. O Fenômeno El Niño E As Secas No Nordeste Do Brasil. **EDUCTE: Revista Científica do Instituto Federal de Alagoas**. v. 3, n. 1, 2012.

DE ASSIS, FELLIPE RAGNER VICENTE ET AL. Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino. *Floresta*, v. 44, n. 1, p. 133-142, 2014. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v44i1.32618>.

ENGSAT- ENGENHARIA E SERVIÇOS DE TELECOMUNICAÇÕES. Disponível em < <http://engsat.com.br/>> acesso em 05 set. 2022.

SAITO, N. S. et al. Geotecnologia e Ecologia da Paisagem no Monitoramento da Fragmentação Florestal. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. Floresta Ambiente., 2016 23(2), abr.2016.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Sistemas Atmosféricos sobre o Nordeste do Brasil. Disponível em: < ([funceme.br](http://funceme.br/))>. Acesso em 28 set. 2021.

GONÇALVES, J. D. S. A Prática da Queimada no Saber Tradicional e na Concepção Científica de Risco: Estudo Sobre o Uso do Fogo por Pequenos Produtores Rurais do Norte do Estado de Minas Gerais. p. 159, [s.d.].

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de Biomas e de Vegetação. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 03 set . 2022.

INMET- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em < <https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em 05 set. 2022.

INPE- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em < <https://www.gov.br/inpe/pt-br>> acesso em 01 set. 2022.

JUVANHOL, RONIE SILVA. Modelagem da vulnerabilidade à ocorrência e propagação de incêndios florestais. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) — Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, 2014.

KOPROSKI, L.; FERREIRA, M. P.; GOLDAMMER, J. G.; BATISTA, A. C. Modelo de zoneamento de risco de incêndios para unidades de conservação brasileiras: o caso do Parque Estadual do Cerrado (PR). *Floresta*, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 551 -562, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v41i3.24049>.

LACERDA, HEITOR CARVALHO et al. Suscetibilidade a incêndios florestais em uma unidade de conservação localizada na região de transição dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 451-473, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509864171>.

MARCHESAN, J, et al. RISCO DE INCÊNDIOS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO TAIM, RIO GRANDE DO SUL. **Nativa**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 112-117, 2020. DOI: 10.31413/nativa.v8i1.8180. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/8180>. Acesso em: 16 fev. 2023.

MENDONÇA JGF. Campos de altitude do Parque Estadual da Serrado Papagaio, Minas Gerais, Brasil: Composição florística, fitogeográfica e estrutura da vegetação. Dissertação, 2017. Universidade Federal de Juiz de Fora- UFJF. Acesso em 07 Jan 2023.

MENESES, P. R. Princípios de sensoriamento remoto. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: CNPQ, UNB, 2012. Cap. 1, p. 11-33.

MOREIRA, P. A. G.; MENDES, T. A.; SANTOS, D. F. DOS. Avaliação de locais potenciais para instalação de torres de observação para prevenção de risco de incêndios florestais. **Ciência Florestal**, v. 30, n. Ciênc. Florest., 2020 30(4), out.2020.

MONTALVAN, ROBERTH ANDRÉS VILLAZÓN. Aspectos ambientais do processo de pirólise lenta de biomassa florestal no contexto da agricultura familiar em Santa Catarina. 2017, 171f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MUTANGA, O.; KUMAR, L. Google Earth Engine Applications. **Remote Sensing**, v. 11, n. 5, p. 591, jan. 2019.

NHONGO, EUFRÁSIO JOÃO SOZINHO. Estudo sobre incêndios florestais na Floresta de Miombo Reserva do Niassa-Moçambique, com base em dados de sensoriamento remoto, Tese. Universidade Federal do Rio Grande Do Sul- UFRGS, 2019. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/195804>. Acesso em: 11 Jan, 2023.

NICÁCIO, R. M. Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do rio São Francisco. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPE. Rio de Janeiro/RJ. 2008.

NICOLETE, D. A. P.; ZIMBACK, C. R. L. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a fazenda experimental Edgardia – Botucatu (SP), através de sistemas de informações geográficas. **Revista Agrogeoambiental**, [S. l.], v. 5, n. 3, 2013. DOI: 10.18406/2316-1817v5n32013518. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/518>. Acesso em: 29 jan. 2023.

NICOLETE, DONIZETI APARECIDO PASTORI; ZIMBACK, CÉLIA REGINA LOPES. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a fazenda experimental Edgardia–Botucatu (SP), através de sistemas de informações geográficas. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, n. 3, 2013. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v5n32013518>.

PEREIRA JÚNIOR, A.C. Métodos de Geoprocessamento na Avaliação da Susceptibilidade do Cerrado ao Fogo. 2002. 98p. Tese (Doutorado em Ciências da Área de Concentração em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2002.

PRUDENTE, T. D. Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no parque nacional da Chapada dos Veadeiros e áreas de entorno. 2010. 114f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

PRUDENTE, T. D. Risco integrado de incêndio florestal em áreas de Cerrado: contribuições metodológicas. 2016. 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. DOI <https://doi.org/10.14393/ufu.te.2016.45>



RIBEIRO G.A, Bomfim V.R. Incêndio Florestal x Queimada Controlada. Revista Ação Ambiental, Viçosa, MG, n12, pg.8-11, 2000.

RIBEIRO, L.; SOARES, R. V.; BEPLLER, M. Mapeamento do risco de incêndios florestais no município de Novo Mundo, Mato Grosso, Brasil. **CERNE**, v. 18, n. CERNE, 2012 18(1), p. 117–126, jan. 2012.

SAATY, T. L. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. Pittsburg: RWS Publications, 2000.

SILVA JUNIOR, J. A. DA.; PACHECO, A. P. Avaliação de incêndio em ambiente de Caatinga a partir de imagens Landsat-8, índice de vegetação realçado e análise por componentes principais. **Ciência Florestal**, v. 31, n. Ciênc. Florest., 2021 31(1), Jan 2021.

SILVA JUNIOR, J. A.; PACHECO, A. P. Avaliação de incêndio em ambiente de Caatinga a partir de imagens Landsat-8, índice de vegetação realçado e análise por componentes principais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 417-439, 2021. DOI 10.5902/1980509843818. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509843818>. Acesso em: 21 jan. 2023.

SOARES, Ronaldo Viana; Batista, Antonio Carlos; Tetto, Alexandre França. Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2007. Disponível em: < <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/download/27650/20712> >. Acesso em: 05 out. 2022.

TAGLIARINI, F. DE S. N.; et al, S. Zoneamento do risco de incêndios florestais em bacia hidrográfica / Forest fire risk zoning in watershed. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 28779–28790, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n5-356. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/10253>. Acesso em: 29 jan. 2023.

TERRA. Porque a Caatinga Vive em Explosão em Números de Queimadas. Disponível em < [terra.com.br](https://terra.com.br) > . Acesso em 23 nov. 2021.

TORRES, FILLIPE TAMIOZZO PEREIRA et al. Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.025615>.

USGS- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Disponível em < <https://www.usgs.gov/> > acesso em 02 out. 2022.

YUAN, C.; LIU, Z.; ZHANG, Y. 2017. Aerial ImagesBased Forest Fire Detection for Firefighting Using Optical Remote Sensing Techniques and Unmanned Aerial Vehicles. **Journal of Intelligent & Robotic Systems** volume 88, 635– 654. DOI:10.1007/s10846-016-0464-7