



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - ICAT**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA - PPGMET**

**VALTER RAMOS DE SOUSA FILHO**

**Dinâmica dos Focos de Calor nas Mesorregiões Climáticas do Estado de  
Alagoas**

Maceió - AL

Abril, 2022

VALTER RAMOS DE SOUSA FILHO

**Dinâmica dos Focos de Calor nas Mesorregiões Climáticas do Estado de  
Alagoas**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Meteorologia, área de concentração Processos de Superfície Terrestre.

Orientador: **Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior**

Coorientador: **Prof. Dr. Givanildo de Gois**

Maceió - AL

Abril, 2022

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S725d Sousa Filho, Valter Ramos de.  
Dinâmica dos focos de calor nas mesorregiões climáticas do estado de Alagoas / Valter Ramos de Sousa Filho. – 2022.  
52 f. : il.

Orientador: José Francisco de Oliveira Júnior.  
Coorientador: Givanildo de Gois.  
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 46-52.

1. Incêndios. 2. Queimada - Alagoas. 3. Análise multivariada. 4. Secas. 5. Urbanização. I. Título.

CDU: 551.524.3(813.5)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO**

**N.º de ordem: MET-UFAL-MS-190.**

**“DINÂMICA DOS FOCOS DE CALOR NAS MESORREGIÕES CLIMÁTICAS DO ESTADO DE ALAGOAS”**

**VALTER RAMOS DE SOUSA FILHO**

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

---

Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Junior  
(Orientador)

---

Profa. Dra. Maria Luciene Dias de Melo  
(Membro Interno)

---

Prof. Dr. Givanildo de Gois  
(Membro Externo)

---

Prof. Dr. David Mendes  
(Membro Externo)

**ABRIL/2022**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha família, aos meus pais, minha irmã e a Melka Gomes Lima (in memoriam).

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus todos os dias pela grande graça da vida, pela saúde durante um período tão difícil para humanidade.

À minha família que me deu o suporte necessário e sempre esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis. Em especial à minha esposa (Perolina), que em muitos momentos minha ausência foi necessária e compreendida por vezes até alterando planos de viagem e tantas outras situações. Aos meus filhos (Inez e Gabriel), Aos meus pais (Valter e Maria) que sempre me deram amor sem medidas. À minha irmã (Jacinta) que vem travando uma luta desde 2019 contra uma doença difícil e dolorosa, porém vencendo com a graça de Deus e segue sempre me apoiando a não desistir dos meus sonhos.

Ao meu orientador Professor Doutor José Francisco de Oliveira Júnior e coorientador Doutor Givanildo de Gois pela paciência, disponibilidade, por muitas vezes, deixar de lado seus momentos de descanso para me ajudar e me orientar e principalmente pela percepção no momento certo em que o desamino estava me dominando e não mediu esforços para que eu não desistisse do curso. Serei eternamente grato por tudo que fizeram e por terem acreditado em mim, que Deus esteja sempre com vocês. A minha colega de mestrado Lourdes, que muito me ajudou em sinótica tirando dúvidas, agregando seu conhecimento científico e prático. A todos que fazem parte do PPGMET por terem contribuído nessa longa jornada com meu aprendizado.

À Universidade Federal de Alagoas, em especial ao ICAT por ter me proporcionado a oportunidade de concluir o Mestrado.

Non querias te atrasar no caminho. Non querias retornar ou sair do caminho. Quem não avança, recua. Quem não corre atrás, retarda. (Santo Agostinho)

## RESUMO

Este estudo avaliou a variabilidade espaço-temporal dos focos de calor (FC) nas três mesorregiões climáticas de Alagoas: Sertão, Leste e Agreste Alagoano. Os dados de FC foram obtidos do Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas) entre 1998-2020. A série temporal de FC foi submetida às análises estatísticas descritiva, exploratória e multivariada aplicada aos 102 municípios alagoanos. Com base no agrupamento hierárquico identificaram-se três grupos homogêneos (G1, G2 e G3) no Sertão e dois grupos homogêneos de FC no Agreste e Leste Alagoano (G1 e G2). Alguns municípios não formaram grupos (NA), tais como: Belo Monte ( $26,83 \pm 25,87$  focos), Limoeiro de Anadia ( $54,48 \pm 38,65$ ), Penedo ( $262,83 \pm 183,80$  focos) e Coruripe ( $553 \pm 369,40$  focos). A variabilidade interanual dos FC em Alagoas está associada com atividades agrícolas, desmatamento, novas áreas para a criação de animais e colheita da cana-de-açúcar. Na avaliação espacial via densidade de FC por município utilizou-se o período total (1998-2020) e os anos de destaque na série temporal (2012 e 2019). O maior registro de densidade de FC no período total encontra-se na mesorregião do Leste Alagoano e não se descarta que os anos em destaque sejam influenciados pela ocorrência de seca e períodos de estiagens em Alagoas. O bioma Mata Atlântica é mais ameaçado segundo quantidade de registros de focos de calor anual, porém, em alguns anos há aumento no bioma Caatinga.

**Palavras-chave:** incêndios, áreas queimadas, análise multivariada, seca, urbanização.

## ABSTRACT

This study evaluated the spatiotemporal variability of fire focus (FF) in the three climatic mesoregions of Alagoas: Arid Zone, East and Hinterland Alagoano. FF data were obtained from the Queimadas Database (BDQueimadas) between 1998-2020. The FF time series was submitted to descriptive, exploratory, and multivariate statistical analysis applied to 102 municipalities in Alagoas. Based on the hierarchical grouping, three homogeneous groups were identified (G1, G2 and G3) in the Arid Zone and two homogeneous groups of FF in the Hinterland and East Alagoas (G1 and G2). Some municipalities did not form groups (NA), such as: Belo Monte ( $26.83 \pm 25.87$  foci), Limoeiro de Anadia ( $54.48 \pm 38.65$ ), Penedo ( $262.83 \pm 183.80$  foci) and Coruripe ( $553 \pm 369.40$  foci). The interannual FF variability in Alagoas is associated with agricultural activities, deforestation, new areas for animal husbandry and sugarcane harvest. In the spatial evaluation via FF density per municipality, the total period (1998-2020) and the years highlighted in the time series (2012 and 2019) were used. The highest FF density record in the total period is found in the East Alagoas mesoregion and it is not ruled out that the highlighted years are influenced by the occurrence of drought and dry periods in Alagoas. The Atlantic Forest biome is more threatened according to the number of records of annual hotspots, however, in some years there is an increase in the Caatinga biome.

**Keywords:** fires, burned areas, multivariate analysis, drought, urbanization.



## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Mesorregiões climáticas (Leste, Agreste e Sertão) do Estado de Alagoas. ....	23
<b>Figura 2.</b> Biomas Brasileiros .....	27
<b>Figura 3.</b> Curva de inércia que ilustra o número ideal de grupos a serem constituídos (a), e dendrograma dos grupos homogêneos de focos de calor (b) na mesorregião do Sertão Alagoano. ....	30
<b>Figura 4</b> Curva de inércia que ilustra o número ideal de grupos a serem constituídos (a), e dendrograma dos grupos homogêneos de focos de calor (b) na mesorregião do Leste Alagoano. ....	32
<b>Figura 5.</b> Curva de inércia que ilustra o número ideal de grupos a serem constituídos (a), e dendrograma dos grupos homogêneos de focos de calor (b) na mesorregião do Agreste Alagoano.....	33
<b>Figura 6.</b> Distribuição temporal dos FC anual nos Grupos G1, G2 e G3 na mesorregião Sertão estado de Alagoas entre 1998 e 2020. ....	36
<b>Figura 7.</b> Distribuição temporal dos FC anual nos Grupo G1, G2 e NA, na mesorregião Leste estado de Alagoas entre 1998 a 2020. ....	38
<b>Figura 8</b> Distribuição temporal dos FC anual nos Grupos G1, G2 e NA, na mesorregião Agreste estado de Alagoas entre 1998 e 2020. ....	40
<b>Figura 9.</b> Distribuição espacial da densidade dos FC total (a), 2012 (b) e 2019 (c) no Estado de Alagoas. ....	43
<b>Figura 10.</b> Distribuição anual dos FC nos Biomas Alagoanos (1998-2020).....	44

## LISTA DE TABELAS

pág.

<b>Tabela 1</b> - Localização dos 102 municípios de Alagoas, com suas respectivas coordenadas geográficas (latitude e longitude, °), altitude (m) e as mesorregiões climáticas (Sertão, Agreste e Leste Alagoano).....	23
<b>Tabela 2</b> - Resultado da ED aplicado à série temporal 1998-2020 entre os grupos do Sertão alagoano.....	34
<b>Tabela 3</b> - Resultado da ED e EE aplicado à série temporal 1998-2020 entre os grupos do Leste alagoano.....	37
<b>Tabela 4</b> - Resultado da ED e EE aplicado à série temporal 1998-2020 entre os grupos do Agreste alagoano. ....	39

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APA	Áreas de Preservação Ambiental
ASAS	Alta subtropical do Atlântico Sul
CA	<i>Cluster Analysis</i>
CAM	<i>Crassulacean Acid Metabolism</i> (MAC: Metabolismo ácido das crassuláceas)
CCC	Coefficiente de Correlação Cofenética
CV	Coefficiente de variação
ENOS	El Niño Oscilação Sul
FC	Focos de Calor
HPA	Hidrocarboneto Poliaromático
NE	Nordeste
NEB	Nordeste do Brasil
PNCD	Plano Nacional de Combate à Desertificação
RMM	Região Metropolitana de Maceió
SF	Sistemas frontais
SR	Sensoriamento Remoto
VCAN	Vórtice Ciclônico de Alto Nível
ZCIT	Zona de convergência intertropical
MMA	Ministério do meio ambiente
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
AVHRR	<i>Advanced Very High-Resolution Radiometer</i>
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
CPTEC	Centro de Pesquisa do Tempo e Estudos Climáticos
CEDEC	Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Corpo de Bombeiros Militares de Alagoas
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
ED	Estatística descritiva
Dp	Desvio padrão
AIQ	Amplitude interquartil

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
2.1	Geral	14
2.2	Específicos	14
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>15</b>
3.1	Detecção de Focos de Calor	15
3.2	Incêndios e Queimadas no NEB	15
3.3	Impacto Socioambiental dos Incêndios e das Queimadas nos Biomas do NEB	18
3.4	Clima e Incêndios	21
3.5	Poluentes e riscos à saúde pública	21
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>22</b>
4.1	Caracterização da Área de Estudo	22
4.2	Caracterização dos biomas Alagoanos	26
4.3	Série Temporal de dados (1998-2020)	27
4.4	Estatística Multivariada	28
4.5	Estatística Aplicada e Mapeamento dos Focos de Calor	29
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>29</b>
5.1	Grupos Homogêneos de Focos de Calor nas Mesorregiões	29
5.2	Estatística Aplicada aos Focos de Calor nas Mesorregiões	34
5.3	Análise espacial dos focos de calor	40
5.4	Estatística aplicada aos Biomas	43
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Incêndios florestais ocorrem em vários ecossistemas existentes no mundo (WHITE et al., 2017; GARCIA et al., 2021). Os incêndios podem ser naturais (causados por queda de raios ou longos períodos de estiagem) - ou antrópicos, sendo esta última a principal problema ambiental do Brasil (LOPES et al., 2018; MEDEIROS et al., 2004; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2020;). No Brasil, nos últimos anos tem sido frequente a ocorrência das queimadas e dos incêndios florestais, sendo intensificado a partir do desmatamento, do agronegócio, pelos períodos de estiagens e pelas secas severas (SILVA JÚNIOR et al., 2020; SANTOS et al., 2021; TEODORO et al., 2022).

Vale destacar a diferença entre as queimadas e os incêndios. A queimada é uma atividade controlada e regulamentada pelo Governo Federal de acordo com o Código Florestal, no artigo n.º 38 da Lei n.º 12.651/12, que abrange todas as atividades agrícolas, as Unidades de Conservação (UC) e as Áreas de Preservação Ambiental (APA) - (CLEMENTE et al., 2017; MMA, 2010). Ao contrário do incêndio, que se refere à perda do controle da queimada ou quando ela é resultante do processo antrópico ou natural (CAÚLA et al., 2015; MARINHO et al., 2021).

Tanto as queimadas quanto os incêndios florestais são uma das maiores ameaças à preservação da biodiversidade (WHITE et al., 2017; LIBONATI et al., 2022). Além dos seus impactos diretos sobre a fauna e a flora, contribuem, indiretamente, com a degradação ambiental, por exemplo, o solo se torna susceptível a processos erosivos e com tempo intensifica o processo de desertificação (CASTELLETTI et al., 2003; SANTOS et al., 2022) e, ainda libera na atmosfera os gases de efeito estufa (GEE), que por sua vez contribuem para o Aquecimento Global - (SOARES E BATISTA, 2007; WHITE et al., 2013; SILVA JÚNIOR et al., 2020; LIBONATI et al., 2022).

A detecção de queimadas e incêndios florestais por meio de satélites é uma tecnologia antiga, iniciada na década de 1980 (WANG et al., 2012; CAÚLA et al., 2015). Em geral, a nível global, os satélites da série National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), com os sensores *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), e o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) são os mais utilizados neste tipo de monitoramento. As imagens geradas pelos sensores termais e infravermelhos a bordo das plataformas orbitais, são enviadas para o centro de controle onde são processadas por meio de algoritmos de detecção (BATISTA, 2004; WANG et al., 2012).

No Brasil, o Centro de Pesquisa do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), gera e disponibiliza publicamente, via Internet, dados de focos de calor (FC) registrados por satélites ambientais (CAÚLA et al., 2015; MARINHO et al., 2021). Os dados FC são tratados por algoritmos que indicam apenas os registros de fogo em vegetação, e são disponibilizados a partir do Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas) - (CPTEC, 2020). Apesar de receberem imagens de diversos satélites ambientais em operação, o “satélite de referência” é utilizado na composição da série temporal ao longo dos anos e assim, permite avaliar os FC sobre as regiões de interesse (CPTEC, 2020).

Recentemente, foram realizados os primeiros estudos sobre FC em Alagoas, por exemplo, Santos et al. (2020) avaliaram a espaço-temporalidade dos FC na Região Metropolitana de Maceió (RMM), e identificaram que alta variabilidade dos FC estava diretamente associada às atividades agrícolas na RMM, destaque para a relação com a colheita de cana-de-açúcar. Eles também apontaram, que os maiores registros de FC estavam associados à degradação de vegetação litorânea (bioma Mata Atlântica). Já o estudo realizado por Oliveira-Júnior et al. (2020), apontaram que a variabilidade dos FC estava diretamente associada aos indicadores socioeconômicos no Estado de Alagoas, neste caso, Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o índice de Gini. Ambos os estudos não destacam a influência dos FC nas mesorregiões climáticas do estado (Sertão, Leste e Agreste Alagoano) e a sua variabilidade espaço-temporal. Portanto, o estudo é fundamental na avaliação da variabilidade espaço-temporal dos FC nas mesorregiões climáticas no Estado de Alagoas, visto que tal identificação desta variabilidade pode ser usada como futuras políticas públicas e adoção de monitoramento a nível estadual e municipal das queimadas e incêndios.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

- **AVALIAR** os focos de calor nas mesorregiões climáticas do Estado de Alagoas e os impactos geosocioambientais.

### 2.2 Específicos

- **APLICAR** análise de agrupamento na identificação de regiões homogêneas de focos de calor dentro das mesorregiões climáticas de Alagoas.
- **IDENTIFICAR** qual ou quais as mesorregiões climáticas com maiores registros de focos de calor a partir de estatística descritiva e exploratória.
- **MAPEAR** a densidade de focos de calor nas mesorregiões climáticas Alagoanas via Sistema de Informação Geográfica (SIG).

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Detecção de Focos de Calor**

O INPE desde a década de 1980, vem aprimorando um sistema de detecção de queimadas a partir de imagens de sensores a bordo de satélites polares e geoestacionários. São os chamados "focos de calor", que são pontos geográficos captados por sensores espaciais na superfície do solo, quando detectado temperatura superior a 47°C e área mínima de 900 m<sup>2</sup>. Atualmente, as informações são disponibilizadas operacionalmente aos usuários cerca de 20 minutos após as passagens dos satélites ambientais. Todo o País e grande parte da América do Sul, são cobertos pelas imagens, pois se utiliza recepções das estações do INPE em Cachoeira Paulista, SP e de Cuiabá, MT (CPTEC/INPE, 2004).

Os focos de calor são obtidos através do site do BDQueimadas do CPTEC/INPE (<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>). Os satélites de órbitas polares se deslocam em sentido norte-sul e tem menor distância da terra, já os satélites geoestacionários estão em órbita equatorial geoestacionária e tem seu ponto de observação mais distante da terra (LIU, 2006). Após a identificação e detecção de focos de calor, vários métodos estatísticos têm sido usados a fim de avaliar os padrões de variabilidade espaço-temporal, e a intensidade desses eventos, por exemplo, *cluster analysis* (CA) - (CAÚLA et al. 2015; OLIVEIRA-JÚNIOR et al. 2020).

#### **3.2 Incêndios e Queimadas no NEB**

Os incêndios influenciam os ecossistemas florestais. Eles têm um forte impacto tanto sobre as condições bióticas como as abióticas. Como um elemento de perturbação natural, é um componente essencial para o funcionamento de diversos ecossistemas. Nas últimas décadas, houve um aumento significativo nas ocorrências de incêndios em diversas áreas do mundo. Isso resultou em um desequilíbrio entre os episódios de fogo e a recuperação do ecossistema, o que leva a fragmentação da paisagem e sua degradação (ADÁMEK et al., 2015). Há décadas, os incêndios florestais vêm sendo estudados, entretanto, à medida que as florestas passaram a ganhar maior importância econômica, começaram a surgir pesquisas e estudos específicos com o objetivo de reduzir os impactos negativos causados pelo fogo.



Com a chegada da colonização europeia, as queimadas passaram a ser utilizadas de forma indiscriminada, principalmente após a adoção dos grandes latifúndios coloniais de exportação. Nesse período, difundiu-se a visão de que a natureza estava ali para servir, uma fonte inesgotável de recursos naturais, e daí se iniciou o processo de devastação das matas, inicialmente as litorâneas, com o uso do fogo e outras técnicas danosas ao meio ambiente (LEONEL, 2000).

Todavia, é importante salientar que a técnica da queimada controlada se destaca pelo seu uso ao longo da história tendo participação na evolução do homem em função, principalmente, de seu baixo custo de aplicação, tendo em vista a rapidez e eficiência com que elimina material vegetal indesejável (RIBEIRO, 2009). Atualmente, a realização de queimadas controladas no Brasil é um tema polêmico e regido por legislação a níveis federais, estaduais e municipais. Em nível federal, as queimadas são permitidas somente como fator de produção e manejo em atividades agropastoris e mediante prévia obtenção de autorização de órgão do Sistema Nacional do Meio Ambiente com atuação na área onde se realizará a operação (DECRETO FEDERAL nº 2.661/98), entretanto, nos últimos anos, alguns municípios passaram a proibi-las em função da poluição do ar, como por exemplo a fuligem, e problemas de saúde públicas (doenças respiratórias e cardiovasculares) decorrentes. Em países como Estados Unidos, Austrália e Canadá, a queima controlada constitui uma das principais técnicas de prevenção de incêndios florestais de grande porte, à medida que contribuem com a redução do material combustível e conseqüente redução do risco.

Apesar da detecção de fogo em vegetação por satélite, essa técnica possui a vantagem de ter uma ampla abrangência, podendo recobrir grandes extensões de Terra totalmente isoladas, limitações técnicas impedem que queimadas controladas ou incêndios de pequeno porte, geralmente com linha de frente do fogo com largura inferior a 50 m, sejam detectados.

Além disso, algumas situações como fogos que iniciaram e terminaram durante o intervalo de passagem dos satélites ambientais; presença de nuvens na área ardida; fogo superficial em vegetação com dossel fechado; e, fogo em encostas de montanhas enquanto o satélite só observou o outro lado, limitam a eficiência desta tecnologia. Portanto, o número de focos de calor registrado via satélite para uma determinada região corresponde apenas a uma fração do total de incêndios florestais e/ou queimadas controladas ocorridas (SETZER et al., 1992; PEREIRA et al., 2012; INPE, 2016).

As queimadas também estão associadas a modificações do clima, gerando um ambiente cada vez menos adequado para as populações, com agravamento de doenças, principalmente respiratórias (SOUZA et al., 2012). As queimadas antrópicas, como a queima de limpeza para instalação de grandes áreas agropastoris, ou para a despalha da cana-de-açúcar, é uma técnica que foi amplamente difundida e utilizada (RAMOS et al., 2019). Esse fato é preocupante, principalmente em regiões com alta produção dessa cultura. A microrregião do sudoeste goiano contém extensas áreas destinadas ao cultivo da cana-de-açúcar, portanto, se há ocorrências de práticas de queimada para a despalha, podem ocorrer efeitos significativos na emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Conforme Araújo et al. (2013), a emissão de CO<sub>2</sub> tem a partir das queimadas e incêndios tem intensificado o Efeito Estufa. Bezerra et al. (2018) constataram que as queimadas ocorrem em períodos mais secos e as ocorrências provocam efeitos negativos nos aspectos sociais, econômicos e ambientais.

Carneiro e Albuquerque (2019), consideram importante o uso de dados espaço-temporal de focos calor para o planejamento e alerta para os períodos mais críticos do ano, esses mesmos autores relatam que o uso de ferramentas de sensoriamento remoto é uma ferramenta importante para a identificação e prevenção de incêndios. As características biofísicas da superfície terrestre podem ser facilmente obtidas por meio de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) - (BARBOZA et al, 2020). As vantagens do uso de dados de satélite estão relacionadas a aplicações em áreas extensas, menor custo, possibilidade de aplicações, disponibilidade histórica, entre outros (LIMA et al., 2020). Soares et al., (2016) ressaltam que a análise da dinâmica de foco de calor com o uso de sensoriamento remoto e suas possíveis causas deve ser investigada para elaboração de medidas de preservação e controle.

Saber quais são as causas e onde as queimadas acontecem com maior intensidade é de extrema importância para a criação de planos de prevenção e combate ao fogo. De acordo com Fonseca e Ribeiro (2003) as atividades preventivas são mais eficientes quando baseadas em informações como em quais áreas o fogo surge com maior frequência e o que favoreceu o seu acontecimento nessas áreas. Mediante essa perspectiva, Santos et al. (2011) afirmam que as geotecnologias surgem como um importante recurso de subsídio na identificação das queimadas permitindo localizar, quantificar e fazer estudos de análises espaço-temporais das áreas onde ocorrem incêndios. Uma ferramenta importante para essa identificação é o Sensoriamento Remoto (SR) que permite cruzar informações georreferenciadas e saber a quantidade e a localização dos focos de calor (TOMZHINSKI et al., 2011).

Em Alagoas, as queimadas nas comunidades agrícolas são observadas, em geral, no período da pré-estação (dezembro e janeiro) chuvosa e/ou nos meses que a antecedem. Historicamente, os meses de outubro e novembro se caracterizaram como os de elevado índice de queimadas, afirmando a questão cultural de limpar o terreno com fogo para as práticas agrícolas e pecuárias. Apesar de existirem vários programas do governo, através da “Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Corpo de Bombeiros Militares de Alagoas” (CEDEC), para a conscientização do uso do solo e conseqüentemente dos problemas (incêndios) associados às queimadas de vegetação nessa região.

Em Sergipe, as queimadas controladas são geralmente realizadas de forma irregular, sem a requisição de autorização pela Administração Estadual do Meio-Ambiente (ADEMA). São frequentemente empregadas por grandes lavradores de cana-de-açúcar para facilitar o procedimento de colheita; por pecuaristas para estimular o nascimento de gramíneas; e por pequenos agricultores tradicionais como forma de limpeza de terreno. Entretanto, queimadas mal realizadas, em que o agricultor ou pecuarista, não tomando os devidos cuidados, acaba perdendo o controle do fogo que escapa a área delimitada e atinge demais regiões de forma descontrolada, compreendem uma das principais causas de ocorrência dos incêndios florestais no Brasil (SANTOS et al., 2006; SOARES, 2009). O fogo quando atinge áreas de conservação, torna-se ainda mais danoso ao meio ambiente, podendo, inclusive, levar determinadas espécies endêmicas e sensíveis ao fogo à extinção (DEBANO et al., 1998).

### **3.3 Impacto Socioambiental dos Incêndios e das Queimadas nos Biomas do NEB**

Os incêndios florestais têm degradado inúmeras áreas de floresta causando graves danos ao ambiente, comprometendo a manutenção e a qualidade de vida de espécies da fauna e flora e impactando negativamente no desenvolvimento socioeconômico e nos serviços ecossistêmicos locais (FIEDLER et al., 2006). Essa degradação é ainda mais intensa no semiárido do NEB devido à irregularidade na distribuição espacial e temporal das precipitações pluviométricas que associadas às elevadas temperaturas registradas ao longo do ano e à limpeza de áreas para expansão agrícola e pecuária contribuírem para a maior incidência de incêndios florestais (ASSIS et al., 2014; FERNANDES et al., 2016).

No Brasil um dos biomas mais afetados por incêndios é a caatinga, um bioma exclusivamente brasileiro, e que ocupa 10% do território nacional. A caatinga termo que teve origem do tupi-guarani e significa mata branca, caracteriza por apresentar no período de chuvas um comportamento específico de mudança rápida da paisagem, com renascimento de plantas, no qual são expostas novas folhas dando aspecto verde à vegetação e uma beleza esplêndida a paisagem (PRADO, 2003; ALVES et al., 2009).

A Caatinga apresenta um alto nível de degradação por atividades antrópicas e fenômenos naturais, relacionados com aspectos climáticos, tais como a seca, altas temperaturas, déficit de água, baixa umidade e ocorrência de incêndios (MARIANO et al., 2018). O bioma Caatinga é extremamente afetado pelos incêndios originados, predominantemente, por atividades humanas. Esse Bioma é rico em espécies animais e vegetais, porém muitas espécies ainda são desconhecidas. Apesar de sua importância, tem sido alvo de incêndios e desmatamentos, principalmente nos últimos anos, devido ao consumo de lenha nativa, explorada de forma ilegal e insustentável e a conversão para pastagens e agricultura. Por isso, a vegetação preservada é pouca, fragmentada e geralmente localizada nos pontos mais inacessíveis (GARIGLIO et al., 2010). Tais impactos promovem o desaparecimento de espécies que podem levar períodos de carência de alimentos para alguns grupos de animais e a uma drástica redução de suas populações, à perda de processos ecológicos e o surgimento de vários e extensos núcleos de desertificação na região.

Nesse sentido, diversos autores têm chamado a atenção para a ameaça da sustentabilidade do bioma Caatinga que faz parte do conjunto de florestas secas, consideradas as mais ameaçadas do mundo, contudo é o bioma brasileiro menos estudado. Leal et al. (2003) e Santos et al. (2011) comentam que a caatinga é um dos ecossistemas mais ameaçados e negligenciados do país, onde dificilmente encontram-se remanescentes de vegetação nativa maiores que 10 mil hectares (ha).

No Brasil, o Plano Nacional de Combate à Desertificação (PNCD), considerou que a grande maioria das terras susceptíveis à desertificação se encontra nas áreas semiáridas e subúmidas do NEB. A quantificação dessas áreas mostra que cerca de 181 mil km<sup>2</sup> (o que corresponde a aproximadamente 20% da área semiárida da região Nordeste) se encontram em processo de desertificação – aproximadamente o mesmo valor de área apontado por Lacerda (2004) como estando em processo grave ou muito grave de desertificação no NEB.

De acordo com Santos et al (2011), as florestas secas tropicais têm atraído poucos investimentos de ciência e conservação. Em seu estudo, verificou que a caatinga apresentou os escores mais baixos em termos de pesquisa e geração de conhecimento, com um número inferior de artigos publicados em revistas internacionais. Esse panorama é ainda mais preocupante quando se trata dos efeitos do fogo na caatinga.

Embora diversas literaturas ressaltem sobre as perdas decorrentes do fogo, pouco se estudou acerca das respostas das comunidades florestais a este agente de impacto (MELO e DURIGAN, 2010). No caso da caatinga, os estudos científicos são aplicados principalmente na análise da biodiversidade (LEAL et al. 2003; CASTELLETTI et al. 2005; SANTOS e NOGUEIRA, 2012; SOUZA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016) na análise eco geográfica da degradação (ALVES et al. 2009) e relações hídricas e profundidade de raízes das árvores (DOMBROSKI et al., 2011; PINHEIRO et al., 2013). Especificamente para os efeitos do fogo, as informações na literatura são mais escassas, no qual podemos citar os trabalhos de Nunes et al. (2006, 2009) que avaliaram a dinâmica dos FC e o impacto das queimadas utilizando fogo controlado.

Castro (2012) cita que no NEB, e em particular na região semiárida, onde estão 95% dos municípios cearenses, encontra-se 82,6% da mão de obra do campo voltada para a agricultura familiar, mesmo com todos os problemas estruturais e processos de desertificação observados nessa região. Ainda segundo Castro (2012) a metade dessa população não utiliza práticas recomendadas de agricultura e aproximadamente 25% das 170 mil famílias existentes nessa região usam o fogo controlado na vegetação como prática de limpeza do terreno para fins agrícolas. Em Alagoas, por exemplo, a área destinada para lavouras temporárias é quase dez vezes maior do que a área destinada para as lavouras permanentes. Nesse caso, isso se explica pelo predomínio da cana-de-açúcar entre as lavouras desse estado.

### **3.4 Clima e Incêndios**

As condições meteorológicas são fatores que influenciam diretamente as etapas do incêndio. Os incêndios apresentam impactos significativos em nível microclimatológico, ambiental e socioeconômico. De acordo com Fernandes et al. (2016), a área incendiada é controlada por uma grande variedade de fatores estáticos e dinâmicos, entre eles a cobertura do solo (vegetação), variáveis meteorológicas e as atividades antrópicas, incluindo o desenvolvimento do solo, densidade de estradas, distância de assentamentos, prevenção de incêndios e estratégias contrastantes. Conforme o IPCC (em inglês - *Intergovernmental Panel On Climate Change*, 2013), Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, as mudanças climáticas tendem a aumentar os riscos de grandes incêndios na Terra.

Em relação à climatologia das chuvas observada em Alagoas, tem-se bem definido um período chuvoso nos meses de Abril a Junho de cada ano, por exemplo, para mesorregião Leste Alagoano (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2012; LYRA et al., 2014). Devido à sua posição geográfica espacial, Alagoas possui uma característica de transição entre os regimes pluviométricos do norte (com máximos de fevereiro a maio) e do sul dos setores NEB (dezembro a fevereiro) - (PEREIRA et al., 2012).

Em relação às ocorrências de secas ou períodos chuvosos com chuvas abaixo da média climatológica, ou ainda ausência de chuvas no período chuvoso nessa região, observa-se, nessa região a seca hidrológica que significa pouca ou nenhuma acumulação de águas nos açudes, e de seca agrícola que significa chuvas insuficientes ou com distribuição no tempo e no espaço de forma prejudicial à lavoura, que também é denominada de seca verde. (SILVA et al., 2021)

### **3.5 Poluentes e riscos à saúde pública**

Nas queimadas são emitidos vários poluentes clássicos, entre eles o óxido de nitrogênio (NOx), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e material particulado (MP), além de substâncias altamente tóxicas. O efeito agudo à saúde da população em geral fica restrito àquelas pessoas mais próximas à área da queimada, em especial as que estejam atuando no seu combate. O efeito pode ir de intoxicação até a morte por asfixia, pela redução da concentração de oxigênio em níveis críticos e pela elevação no nível de CO, que compete com o oxigênio na sua ligação com a hemoglobina (RIBEIRO, 2008). O MP pode se depositar na traqueia ou nos brônquios. Partículas com menos de 1 µm, em geral depositam-se por difusão nos pequenos bronquíolos e alvéolos (WHO, 1979). Os cortadores de cana estão altamente expostos aos

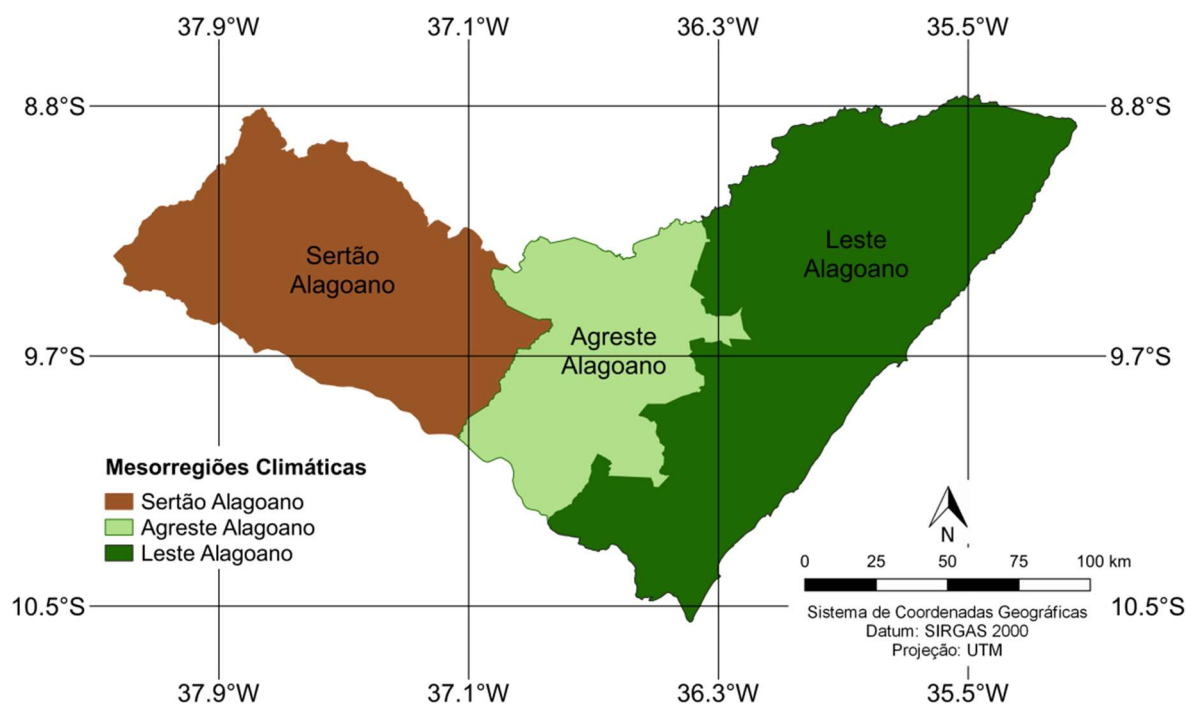
Hidrocarbonetos Poli Aromáticos (HPAs) no período de safra, devido à queima dos canaviais (BOSSO, 2004). Estudos têm avaliado, os efeitos poluentes das queimadas sobre a saúde da população, incluindo taxas de mortalidade, de internação e atendimentos emergenciais por doenças respiratórias. As doenças respiratórias foram responsáveis por quase 421 mil internações de crianças entre 0 e 10 anos no Brasil, produzindo custos para o Sistema Único de Saúde (SUS) de R\$ 85 milhões no ano de 2012 (MACHIN e NASCIMENTO, 2018).

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Caracterização da Área de Estudo**

O estado de Alagoas possui uma área aproximada de 27.767 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021), o que representa aproximadamente 0,33% do território brasileiro. Localiza-se entre os paralelos 8°48'12" e 10°29'12" Sul (S) e entre os meridianos 35°09'36" e 38°13'54" Oeste (W). Está limitado ao norte (N) e W com o estado de Pernambuco, ao sul (S) com os estados de Sergipe e Bahia e a leste (E) com o oceano Atlântico (Figura 1). Possui 339 km de extensão na direção do seu eixo maior (E-W) e 186 km na direção de seu eixo menor (N-S) – (LYRA et al., 2014).

Alagoas possui apenas 1% de seu território localizado em áreas superiores a 600 m de altitude. Atualmente, o estado de Alagoas está dividido em três mesorregiões: o Leste, o Agreste e o Sertão Alagoano (**Figura 1**). O Leste é a maior região em aspecto territorial e abrange o Litoral e a Zona da Mata. O Agreste é uma região de transição entre as zonas úmida e seca, e o Sertão Alagoano corresponde às localidades com características climáticas áridas e semiáridas (IBGE, 2021).



**Figura 1.** Mesorregiões climáticas (Leste, Agreste e Sertão) do Estado de Alagoas.

**Tabela 1** - Localização dos 102 municípios de Alagoas, com suas respectivas coordenadas geográficas (latitude e longitude, °), altitude (m) e as mesorregiões climáticas (Sertão, Agreste e Leste Alagoano).

ID	Municípios	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Mesorregiões Climáticas
1	Água Branca	09° 15' 39" S	37° 56' 10" W	570	Sertão Alagoano
2	Batalha	09° 40' 40" S	37° 07' 29" W	120	Sertão Alagoano
3	Belo Monte	09° 49' 42" S	37° 16' 48" W	30	Sertão Alagoano
4	Canapi	09° 07' 01" S	37° 36' 08" W	342	Sertão Alagoano
5	Carneiros	09° 28' 57" S	37° 22' 38" W	347	Sertão Alagoano
6	Delmiro Gouveia	09° 23' 19" S	37° 59' 57" W	256	Sertão Alagoano
7	Dois Riachos	09° 23' 33" S	37° 06' 02" W	245	Sertão Alagoano
8	Inhapi	09° 13' 17" S	37° 44' 55" W	410	Sertão Alagoano
9	Jacaré dos Homens	09° 38' 08" S	37° 12' 17" W	135	Sertão Alagoano
10	Jaramataia	09° 39' 34" S	37° 00' 07" W	164	Sertão Alagoano
11	Major Isidoro	09° 31' 56" S	36° 59' 06" W	182	Sertão Alagoano
12	Maravilha	09° 14' 08" S	37° 21' 00" W	362	Sertão Alagoano
13	Mata Grande	09° 07' 03" S	37° 43' 56" W	633	Sertão Alagoano
14	Monteirópolis	09° 36' 10" S	37° 14' 54" W	228	Sertão Alagoano
15	Olho D'agua das Flores	09° 32' 10" S	37° 17' 38" W	286	Sertão Alagoano



## CONTINUAÇÃO.

16	Olho D'agua do Casado	09° 30' 07" S	37° 50' 02" W	230	Sertão Alagoano
17	Olivença	09° 31' 07" S	37° 11' 26" W	231	Sertão Alagoano
18	Ouro Branco	09° 10' 00" S	37° 21' 24" W	380	Sertão Alagoano
19	Palestina	09° 40' 19" S	37° 19' 45" W	160	Sertão Alagoano
20	Pão De Açúcar	09° 44' 54" S	37° 26' 12" W	19	Sertão Alagoano
21	Pariconha	09° 15' 10" S	38° 00' 17" W	550	Sertão Alagoano
22	Piranhas	09° 37' 25" S	37° 45' 24" W	88	Sertão Alagoano
23	Poço das Trincheiras	09° 18' 45" S	37° 17' 08" W	292	Sertão Alagoano
24	Santana do Ipanema	09° 22' 42" S	37° 14' 43" W	250	Sertão Alagoano
25	São José da Tapera	09° 33' 30" S	37° 22' 52" W	255	Sertão Alagoano
26	Senador Rui Palmeira	09° 27' 59" S	37° 27' 25" W	352	Sertão Alagoano
27	Arapiraca	09° 45' 09" S	36° 39' 40" W	264	Agreste Alagoano
28	Belém	09° 34' 16" S	36° 29' 32" W	311	Agreste Alagoano
29	Cacimbinhas	09° 24' 01" S	36° 59' 25" W	270	Agreste Alagoano
30	Campo Grande	09° 57' 28" S	36° 47' 30" W	142	Agreste Alagoano
31	Coite do Noia	09° 37' 56" S	36° 34' 43" W	280	Agreste Alagoano
32	Craibas	09° 37' 05" S	36° 46' 05" W	252	Agreste Alagoano
33	Estrela de Alagoas	09° 23' 25" S	36° 45' 36" W	290	Agreste Alagoano
34	Feira Grande	09° 54' 01" S	36° 40' 39" W	220	Agreste Alagoano
35	Girau Do Ponciano	09° 53' 03" S	36° 49' 44" W	244	Agreste Alagoano
36	Igaci	09° 32' 13" S	36° 38' 01" W	240	Agreste Alagoano
37	Lagoa da Canoa	09° 49' 47" S	36° 44' 16" W	283	Agreste Alagoano
38	Limoeiro de Anadia	09° 44' 26" S	36° 30' 10" W	140	Agreste Alagoano
39	Mar Vermelho	09° 26' 51" S	36° 23' 17" W	542	Agreste Alagoano
40	Maribondo	09° 34' 38" S	36° 18' 19" W	157	Agreste Alagoano
41	Mínador do Negrão	09° 18' 19" S	36° 51' 53" W	270	Agreste Alagoano
42	Olho D'agua Grande	10° 03' 30" S	36° 49' 00" W	118	Agreste Alagoano
43	Palmeira dos Índios	09° 24' 26" S	36° 37' 39" W	342	Agreste Alagoano
44	Paulo Jacinto	09° 21' 58" S	36° 22' 11" W	292	Agreste Alagoano
45	Quebrangulo	09° 19' 08" S	36° 28' 16" W	366	Agreste Alagoano
46	São Brás	10° 07' 40" S	36° 54' 02" W	25	Agreste Alagoano
47	São Sebastiao	09° 56' 01" S	36° 33' 15" W	201	Agreste Alagoano
48	Tanque D'arca	09° 31' 55" S	36° 25' 58" W	212	Agreste Alagoano
49	Taquara	09° 38' 42" S	36° 29' 50" W	159	Agreste Alagoano
50	Traipu	09° 58' 14" S	37° 00' 12" W	10	Agreste Alagoano
51	Anadia	09° 41' 04" S	36° 18' 15" W	153	Leste Alagoano
52	Atalaia	09° 30' 07" S	36° 01' 22" W	54	Leste Alagoano
53	Barra de Santo Antônio	09° 24' 17" S	35° 30' 26" W	10	Leste Alagoano
54	Barra de São Miguel	09° 50' 24" S	35° 54' 28" W	2	Leste Alagoano
55	Boca da Mata	09° 38' 29" S	36° 13' 13" W	132	Leste Alagoano
56	Branquinha	09° 14' 44" S	36° 00' 55" W	100	Leste Alagoano
57	Cajueiro	09° 23' 48" S	36° 09' 13" W	102	Leste Alagoano
58	Campestre	08° 50' 45" S	35° 34' 05" W	200	Leste Alagoano

## CONTINUAÇÃO.

59	Campo Alegre	09° 46' 55" S	36° 21' 03" W	176	Leste Alagoano
60	Capela	09° 24' 27" S	36° 04' 25" W	84	Leste Alagoano
61	Chã Preta	09° 15' 19" S	36° 17' 46" W	463	Leste Alagoano
62	Colônia Leopoldina	08° 54' 32" S	35° 43' 30" W	140	Leste Alagoano
63	Coqueiro Seco	09° 38' 18" S	35° 48' 11" W	31	Leste Alagoano
64	Coruripe	10° 07' 32" S	36° 10' 32" W	16	Leste Alagoano
65	Feliz Deserto	10° 17' 31" S	36° 18' 22" W	6	Leste Alagoano
66	Flexeiras	09° 11' 51" S	35° 46' 51" W	78	Leste Alagoano
67	Ibateguara	08° 58' 21" S	35° 56' 22" W	505	Leste Alagoano
68	Igreja Nova	10° 07' 31" S	36° 39' 43" W	14	Leste Alagoano
69	Jacuípe	08° 50' 30" S	35° 27' 36" W	74	Leste Alagoano
70	Japaratinga	09° 05' 18" S	35° 15' 30" W	5	Leste Alagoano
71	Jequiá da Praia	10° 00' 51" S	36° 01' 47" W	16	Leste Alagoano
72	Joaquim Gomes	09° 08' 00" S	35° 44' 54" W	104	Leste Alagoano
73	Jundiá	08° 56' 05" S	35° 34' 25" W	94	Leste Alagoano
74	Junqueiro	09° 55' 31" S	36° 28' 33" W	175	Leste Alagoano
75	Maceió	09° 39' 57" S	35° 44' 07" W	16	Leste Alagoano
76	Maragogi	09° 00' 44" S	35° 13' 21" W	5	Leste Alagoano
77	Marechal Deodoro	09° 42' 37" S	35° 53' 42" W	31	Leste Alagoano
78	Matriz de Camaragibe	09° 09' 06" S	35° 32' 00" W	16	Leste Alagoano
79	Messias	09° 23' 00" S	35° 50' 30" W	148	Leste Alagoano
80	Murici	09° 18' 24" S	35° 56' 36" W	82	Leste Alagoano
81	Novo Lino	08° 54' 54" S	35° 38' 48" W	146	Leste Alagoano
82	Paripueira	09° 27' 54" S	35° 33' 06" W	5	Leste Alagoano
83	Passo de Camaragibe	09° 14' 18" S	35° 29' 36" W	4	Leste Alagoano
84	Penedo	10° 17' 25" S	36° 35' 11" W	27	Leste Alagoano
85	Piaçabuçu	10° 24' 20" S	36° 26' 04" W	3	Leste Alagoano
86	Pilar	09° 35' 50" S	35° 57' 24" W	13	Leste Alagoano
87	Pindoba	09° 28' 31" S	36° 17' 24" W	310	Leste Alagoano
88	Porto Calvo	09° 02' 42" S	35° 23' 54" W	54	Leste Alagoano
89	Porto de Pedras	09° 09' 30" S	35° 17' 42" W	22	Leste Alagoano
90	Porto Real do Colégio	10° 11' 09" S	36° 50' 24" W	10	Leste Alagoano
91	Rio Largo	09° 28' 42" S	35° 51' 12" W	39	Leste Alagoano
92	Roteiro	09° 49' 58" S	35° 58' 40" W	32	Leste Alagoano
93	Santa Luzia do Norte	09° 36' 12" S	35° 49' 21" W	32	Leste Alagoano
94	Santana do Mundaú	09° 10' 05" S	36° 13' 20" W	221	Leste Alagoano
95	São José da Laje	09° 00' 35" S	36° 03' 30" W	256	Leste Alagoano
96	São Luís do Quitunde	09° 19' 06" S	35° 33' 40" W	4	Leste Alagoano
97	São Miguel dos Campos	09° 46' 52" S	36° 05' 37" W	12	Leste Alagoano
98	São Miguel dos Milagres	09° 15' 56" S	35° 22' 23" W	1	Leste Alagoano
99	Satuba	09° 33' 48" S	35° 49' 28" W	6	Leste Alagoano
100	Teotônio Vilela	09° 54' 19" S	36° 21' 10" W	156	Leste Alagoano
101	União dos Palmares	09° 09' 46" S	36° 01' 55" W	155	Leste Alagoano
102	Viçosa	09° 22' 17" S	36° 14' 27" W	210	Leste Alagoano

## 4.2 Caracterização dos biomas Alagoanos

O bioma Caatinga é considerado o único tipicamente brasileiro, ocupando cerca de 11% do território, com ampla diversidade de flora e fauna o que o coloca nesta posição dentre os sete biomas existentes que predomina no país (SENAR, 2016; AVANCINI, 2013; DOS SANTOS SILVA, 2013).

Além disso, é considerada a maior e mais diversificada Floresta Tropical Sazonalmente Seca do Brasil (SILVA et al., 2017), predominantemente sua área corresponde a 969.589 km<sup>2</sup> de acordo com a delimitação (INPE, 2015). Vale destacar que, esta área é concomitante com a região do semiárido brasileiro, sua vegetação é classificada como savana estépica e heterogênea com grande variedade de espécies vegetais, por exemplo, xerofítica e caducifólia, as quais são adaptadas para suportar longos períodos de déficit hídrico mantendo suas folhas verdes mesmo com a estação seca, devido à presença do metabolismo de plantas CAM (plantas adaptadas para não fazer fotorrespiração durante o dia, evitando a perda de água pelo fechamento dos estômatos). (MMA, 2010). O juazeiro, o umbuzeiro e a barriguda são árvores típicas da Caatinga. Além da vegetação predominante, há vários outros tipos, como os que se formam nos grotões das serras ou nas áreas de lajedos (formações rochosas características), todos ainda poucos estudados.

O Brasil, por sua dimensão continental, apresenta uma diversidade de solos e conseqüentemente de usos da terra. O solo varia de acordo com as condições ambientais (DALMOLIN E PEDRON, 2004) apresentando, portanto, uma grande variabilidade espacial. Conforme Ab'Saber (2003), esses diferentes ambientes são chamados de Biomas (ou Domínios Morfoclimáticos) conforme Figura 2:

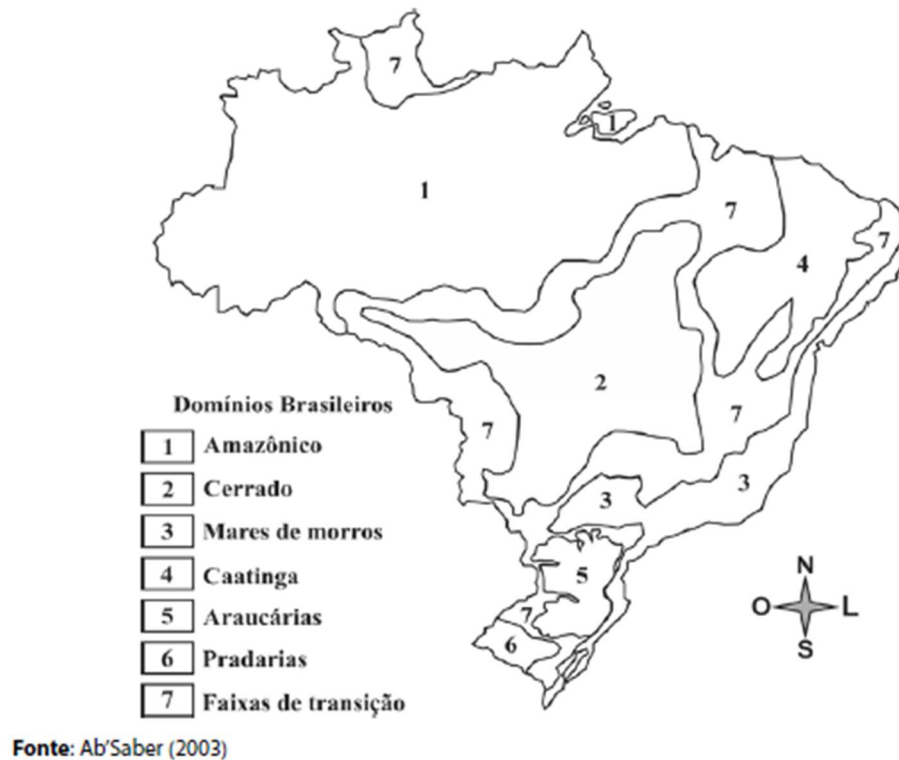
I – Domínio Amazônico – região norte do Brasil, com terras baixas e grande processo de sedimentação; clima e floresta equatorial;

II – Domínios do Cerrado – região central do Brasil, com vegetação tipo cerrado e chapadões;

III – Domínio dos Mares de Morros (Mata Atlântica) – região leste (litoral brasileiro), onde se encontra a floresta Atlântica que possui clima diversificado;

IV – Domínio das Caatingas – região nordeste do Brasil, de formações cristalinas, área depressiva Inter montanhas e de clima semiárido;

V – Domínio das Araucárias – região sul brasileira, área do habitat da araucária, onde predominam planaltos e de clima subtropical e



**Figura 2.** Biomas Brasileiros

A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, ocupa 862.818 km<sup>2</sup> e abrangendo 9 estados da federação (IBGE, 2021). A Caatinga, apesar de ser o bioma menos conhecido do Brasil, é considerada o semiárido mais biodiverso do mundo, por possuir uma elevada diversidade de ecossistemas e de espécies (SILVA et al., 2018). Além disso, cerca de 80% de seus ecossistemas originais já foram alterados, principalmente por meio de desmatamentos, queimadas e desertificação, em um processo de ocupação que remonta ao período colonial.

Os biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica possuem uma grande diversidade de tipos vegetacionais, o que é explicado, sobretudo, pela distribuição em amplos gradientes latitudinal, longitudinal e altitudinal, além de variadas condições climáticas, geomorfológicas e pedológicas (OLIVEIRA-FILHO e FONTES, 2000).

#### 4.3 Série Temporal de dados (1998-2020)

A base de dados de FC usadas no estudo compreendeu o período de 1998 a 2020, sendo obtida a partir do BDqueimadas do CPTEC/INPE no seguinte endereço eletrônico: <http://>

queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/BDqueimadas/ (CPTEC, 2020). Vale ressaltar que foi desenvolvido um script do software ambiente R versão 4.1.1 (R Development Team, 2021), para aquisição dos dados de FC por municípios nas mesorregiões climáticas de Alagoas.

#### 4.4 Estatística Multivariada

A técnica *Cluster Analysis* (CA) foi aplicada a série temporal de FC na escala municipal por meio do software R versão 4.1.1 (R DEVELOPMENT TEAM, 2021). Assim, o respectivo número de grupos e o dendrograma foram determinados para os municípios pertencentes às mesorregiões climáticas do Estado. O número de grupos adotados e a estratificação foram baseados no método hierárquico aglomerativo da média das distâncias (*average linkage*) O método aglomerativo de ligação média consiste na medida de similaridade entre dois clusters, sendo definida pela maior distância de todos os pontos do 1º cluster em relação aos pontos do 2º cluster (LYRA et al., 2014; GOIS et al., 2020). A distância euclidiana é dada pela Eq. 1:

em que,  $d_E$  = distância euclidiana e  $x_{ij}$  e  $x_{kj}$  = quantitativos variáveis dos indivíduos  $p$  e  $k$ , respectivamente.

$$d_E = \sqrt{\sum_{j=1}^p (x_{ik} - x_{kj})^2} \quad (1)$$

O grau de ajuste do método de ligação média foi avaliado pelo coeficiente de correlação cofenética (CCC). Isto mede a associação entre a matriz de dissimilaridade ( $F$ ) e a matriz resultante da simplificação fornecido pelo método de agrupamento. O CCC é baseado em Coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), sendo calculado entre a matriz de dissimilaridade e a matriz resultante do processo de agrupamento (SOKAL e ROHLF, 1962). Assim, o quanto maior o valor de  $r$ , menor será a distorção. Rohlf (1970) e Biagiotti et al. (2013) mencionam que quanto maior o valor obtido para o CCC, o menor a distorção causada por CA. Na prática, dendrogramas com  $CCC < 0,7$  indicam a inadequação da técnica de CA. O CCC é definido pela Eq. 2:

$$CCC = r_{cof} = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{j'=j+1}^n (c_{ij'} - \bar{c})(f_{ij'} - \bar{f})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{j'=j+1}^n (c_{ij'} - \bar{c})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{j'=j+1}^n (f_{ij'} - \bar{f})^2}} \quad (2)$$

em que,  $c$  e  $f$  são as médias aritméticas definidas pelas Eqs. 3 e 4.

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n} \quad (3)$$

$$\bar{f} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n} \quad (4)$$

em que,  $CCC$  é o coeficiente de correlação cofenética,  $c$  é a matriz cofenética,  $\bar{c}$  é a média da matriz cofenética,  $f$  é a matriz fenética,  $\bar{f}$  é a média da matriz fenética e  $n$  é o número de elementos.

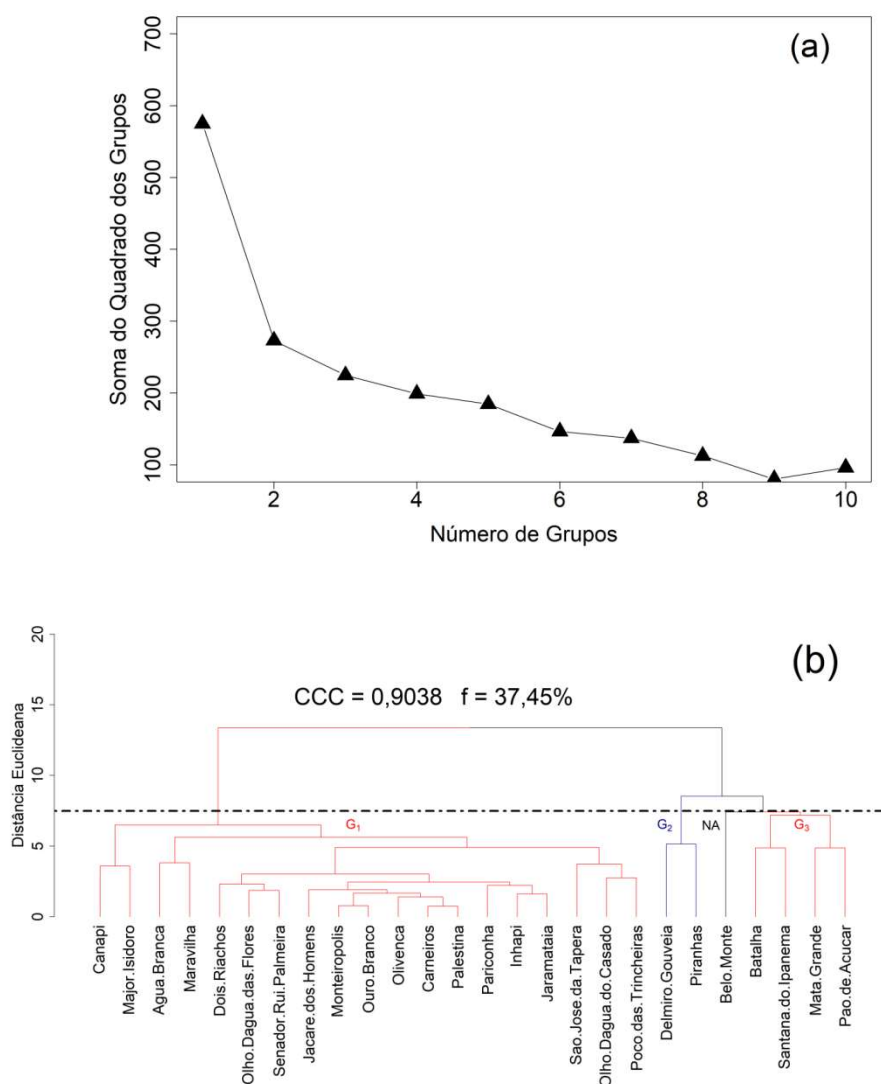
#### 4.5 Estatística Aplicada e Mapeamento dos Focos de Calor

A avaliação dos FC nas mesorregiões de Alagoas foi baseada na estatística descritiva (ED). Os indicadores usados foram: média (M), mediana ( $M_d$ ), máximo ( $M_x$ ), mínimo ( $M_n$ ), amplitude total (AT), desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV, %), conforme metodologia proposta por Gois *et al.* (2020). Na estatística exploratória (EE) foram definidos os seguintes indicadores: Valores Máximo (Vma), Mínimo (Vmi), Amplitude Interquartílica (AIQ), 1º quartil (Q1), 3º quartil (Q3) e os Limites inferior (Li) e superior (Ls). Todos os indicadores estatísticos calculados via software ambiente R versão 4.1.1 (R Development Team, 2021). Para a confecção dos mapas de FC, foi usado software QGIS (Quantum GIS) na versão 3.16.9. A interpolação dos FC foi baseada no método de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IQD).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Grupos Homogêneos de Focos de Calor nas Mesorregiões

A técnica CA por meio do método hierárquico aglomerativo com base no método das ligações médias, obteve um CCC de 0,90 e uma linha de Fenon de 37,45% (corte na horizontal). A decisão do corte do dendograma se baseou na distância normalizada de ligação dos grupos, sendo determinados três grupos homogêneos de FC ( $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$ ) no Sertão Alagoano (**Figura 3a**), exceto o município de Belo Monte que não formou grupo de FC (NA) – (**Figura 3b**). A formação dos grupos homogêneos de FC obteve consistência, visto que o CCC foi superior a 0,90, onde o recomendado na literatura é  $CCC > 0,70$  (SOKAL E ROHLF, 1962; SARAÇLI *et al.*, 2013, GOIS *et al.*, 2020). O grupo  $G_1$  ( $5,77 \pm 8,81$  focos) é o maior grupo de FC formados por 19 municípios, porém com a menor média anual, enquanto o grupo  $G_2$  ( $16,15 \pm 15,49$  focos) com 2 municípios possuem as médias intermediárias, e o grupo  $G_3$  ( $24,26 \pm 23,59$  focos) composto por 4 municípios exibe a maior média de FC anuais, respectivamente.



**Figura 3.** Curva de inércia que ilustra o número ideal de grupos a serem constituídos (a), e dendrograma dos grupos homogêneos de focos de calor (b) na mesorregião do Sertão Alagoano.

O município de Belo Monte (NA) - ( $26,83 \pm 25,87$  focos) compreende 10% dos FC da mesorregião, com um total de 617 FC no período de estudo, seguido das maiores M, DP e CV% ( $> 95\%$ ). O maior registro de FC no município de Belo Monte (NA), pode estar associado às práticas agrícolas, por exemplo, manejo das culturas de feijão, o milho e de palma (alimentação de animais) ou desmatamento para abrigar novas áreas para criação de animais, vale a pena destacar que o município faz parte da Bacia Leiteira de Alagoas, onde 83% da sua população é essencialmente rural e ocupa a 94ª posição no IDH com valor de 0,517 (IBGE, 2020, SANTOS, et al., 2020, OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2020). Vale ressaltar, que no semiárido ocorrem os menores registros de chuva anual, um fator determinante para o surgimento de longos períodos de estiagem, e de secas severas e prolongadas (MARENGO et al., 2017; COSTA et al., 2021)

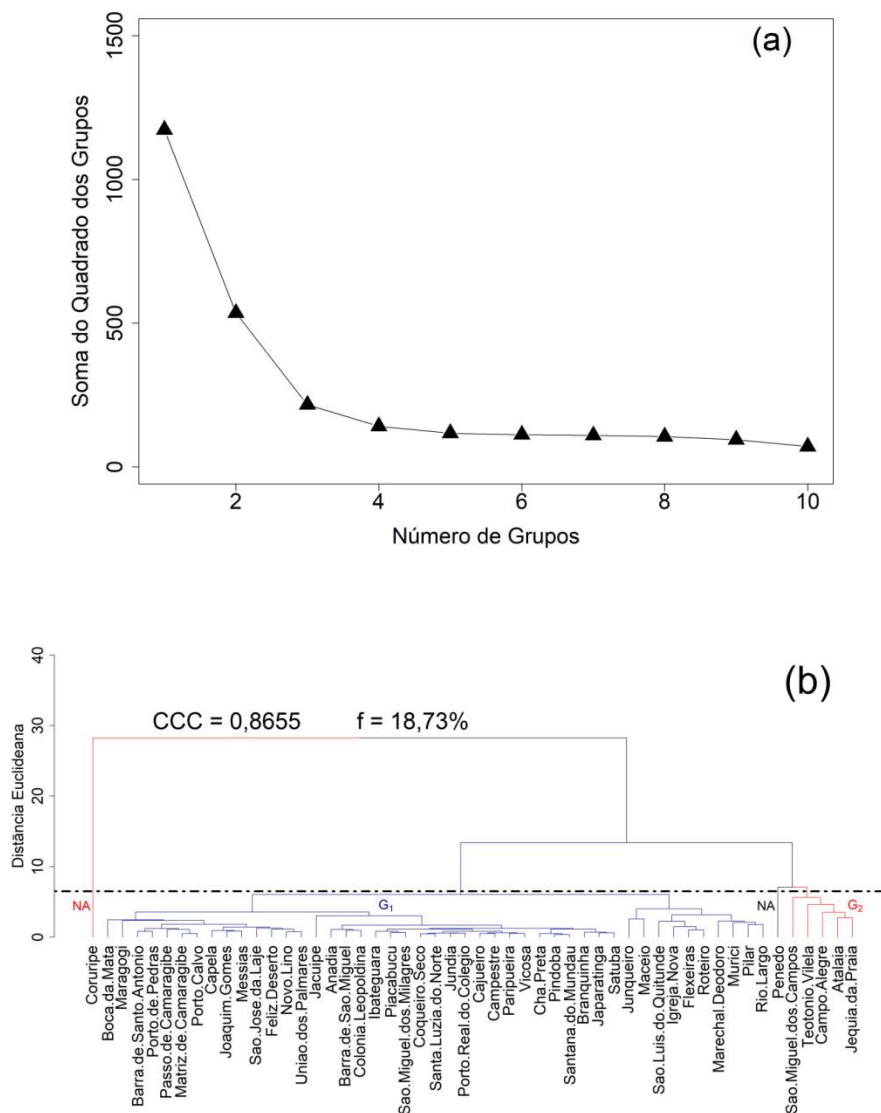
e, assim aumenta a susceptibilidade a incêndios (CAÚLA et al., 2015; SILVA JÚNIOR et al., 2020). Não se descarta o aumento da probabilidade de incêndios via FC no NEB estarem relacionados ao desmatamento e a expansão da agricultura via consórcios agrícolas (Oliveira-Júnior et al., 2021; Garcia et al., 2021).

No Leste Alagoano delimitou dois grupos homogêneos de FC ( $G_1$ ,  $G_2$ ) (**Figura 4a**), novamente houve exceção, no caso os municípios de Coruripe e Penedo (NA) - (**Figura 4b**) via técnica CA por meio do método hierárquico aglomerativo com base no método das ligações médias (JOHNSON E WICHERN, 1992). O CCC obtido foi de 0,86 e uma linha de Fenon de 18,73% (corte na horizontal), sendo inferior a mesorregião do Sertão.

Os municípios de Coruripe e Penedo totalizaram 18767 FC, ambos correspondem a 25% do número total de FC no período avaliado. Vale ressaltar que ambos os municípios têm as maiores M e DP. Ambos os municípios de Coruripe e Penedo possuem produção sucroalcooleira e, portanto, maior queima da cana-de-açúcar durante o período da colheita, prática usual e comum no NEB (FERNANDES e CORREIA FILHO, 2014; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2020). O grupo  $G_1$  ( $36,33 \pm 42,37$  focos) é o maior grupo de FC formados por 45 municípios, enquanto o grupo  $G_2$  ( $174,24 \pm 143,51$  focos) foi menor, com apenas 5 municípios na mesorregião.

Os resultados obtidos foram similares aos de Gois *et al.* (2020) para o estado do Rio de Janeiro (ERJ), próximo do ambiente costeiro e no mesmo bioma, Mata Atlântica. Os autores atribuem o aumento dos FC ao crescimento populacional, seguido do adensamento urbano, resultantes das mudanças no uso e ocupação do solo, sendo identificado recentemente no Leste alagoano (OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2020; SANTOS et al., 2021).



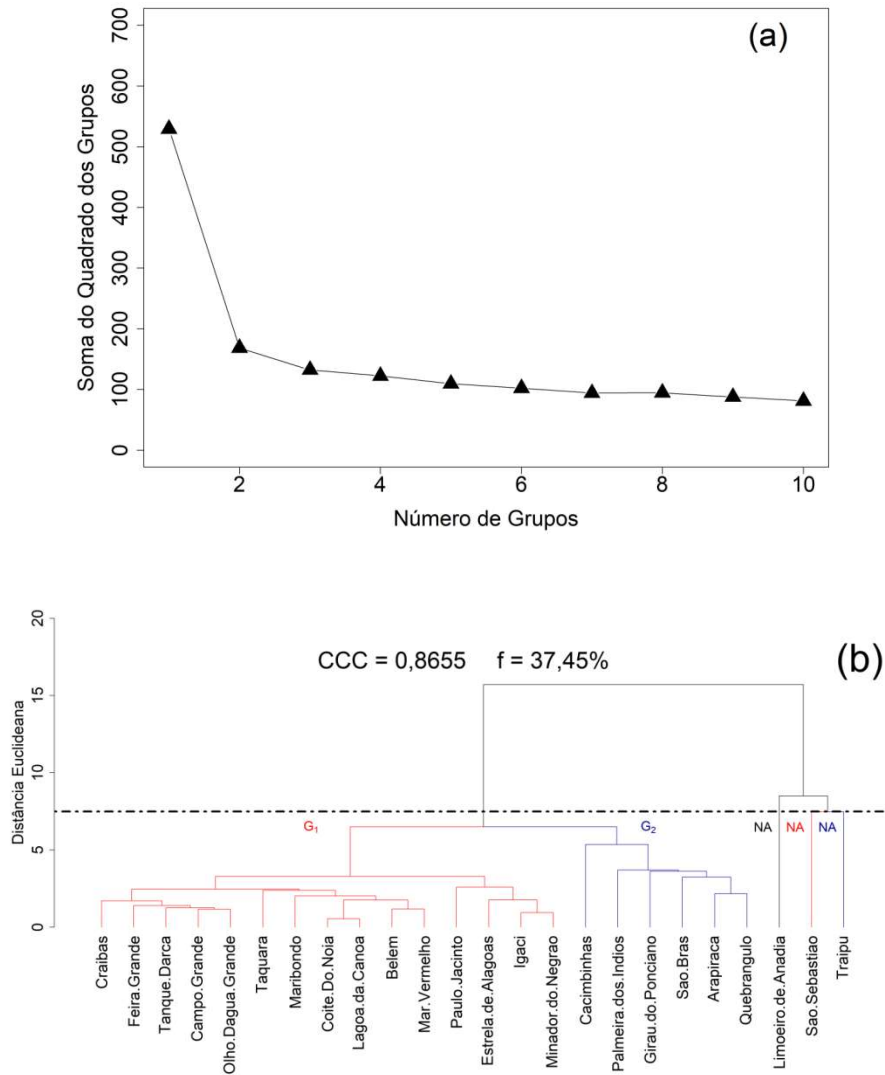


**Figura 4** Curva de inércia que ilustra o número ideal de grupos a serem constituídos (a), e dendrograma dos grupos homogêneos de focos de calor (b) na mesorregião do Leste Alagoano.

A técnica CA por meio do método hierárquico aglomerativo com base no método da ligação média determinou um CCC de 0,8655 e uma linha de Fenon de 37,45% (corte na horizontal) delimitou dois grupos homogêneos de focos de calor (G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>) no Agreste Alagoano (**Figura 5a**), similar ao Leste alagoano, e os municípios de Limoeiro de Anadia (54,48 ± 38,65 focos), São Sebastião (40,43 ± 27,70 focos) e Traipu (61,26 ± 55,47 focos) - (NA) - (**Figura 5b**).

O grupo NA formado pelos municípios: Limoeiro de Anadia, São Sebastião e Traipu totalizaram 3592 focos, correspondendo a 46% dos FC no período avaliado na mesorregião do Agreste. Os FC detectados nestes municípios do Grupo (NA) podem estar associados à

produção de cana-de-açúcar e conseqüentemente maior queima no período da colheita (FERNANDES E CORREIA FILHO, 2014; SINDAÇÚCAR-AL, 2020; OLIVEIRA JUNIOR *et al.*,2020). O grupo G<sub>1</sub> ( $5,31 \pm 6,45$  focos) é o maior grupo de FC com 15 municípios, enquanto G<sub>2</sub> ( $16,98 \pm 19,57$  focos) com 6 municípios foi o menor.



**Figura 5.** Curva de inércia que ilustra o número ideal de grupos a serem constituídos (a), e dendrograma dos grupos homogêneos de focos de calor (b) na mesorregião do Agreste Alagoano.

## 5.2 Estatística Aplicada aos Focos de Calor nas Mesorregiões

Em relação à ED no Sertão Alagoano, os grupos G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub> e NA apresentaram as maiores M anuais e DP dos FC, ao contrário do grupo G<sub>1</sub>, com destaque para os municípios de Carneiros (0,87 ± 1,25 focos) e Palestina (1,04 ± 1,94 focos). Na maioria dos municípios, a M<sub>d</sub> foi inferior a M. Vale ressaltar que os municípios do grupo G<sub>1</sub> obtiveram as maiores M anuais de FC, por exemplo, Major Isidoro (13,17 ± 15,72 focos), Canapi (13,13 ± 15,16 focos), Olho D'água do Casado (9,91 ± 12,48 focos), Água Branca (9,78 ± 12,8 focos) - (**Tabela 2**). O número elevado de registro de FC nesses municípios pode estar associado a atividades antrópicas, neste caso, atividades agrícolas e desmatamento - (OLIVEIRA-JÚNIOR *et al.*, 2021; SANTOS *et al.*, 2021), seguido de secas severas frequentes em Alagoas (OLIVEIRA-JÚNIOR *et al.*, 2012; LYRA *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2021). Na mesorregião do Sertão, ocorreu alta variabilidade dos FC dentro dos grupos homogêneos, visto que os valores de DP e AIQs se sobressaíram em relação a M<sub>d</sub>. Destaque para o município de Belo Monte (NA) obteve maior DP (25,87 focos) e M (26,83 focos).

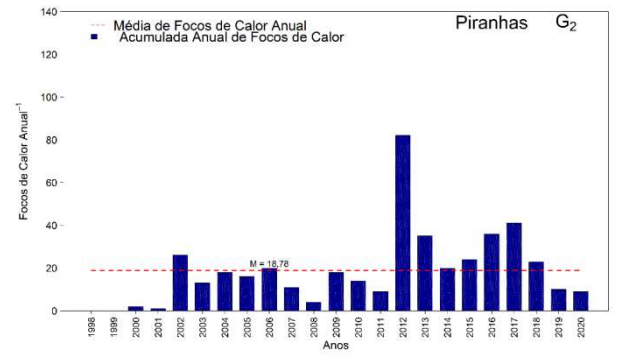
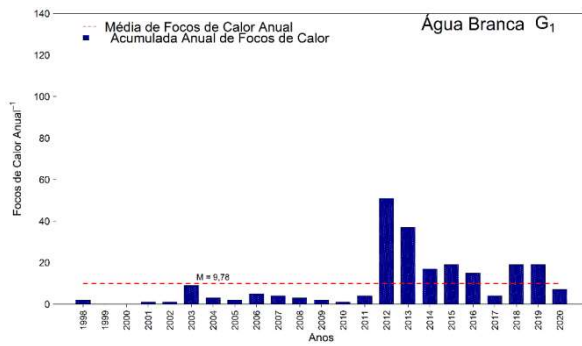
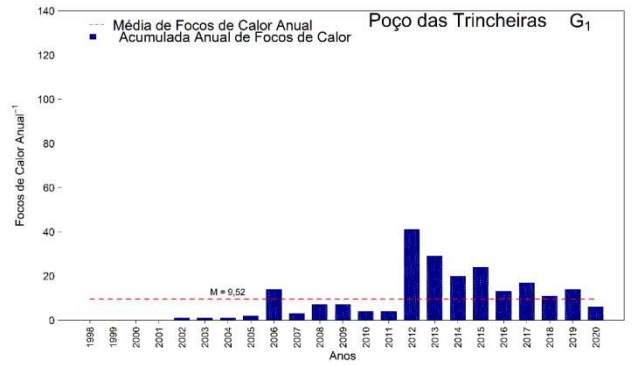
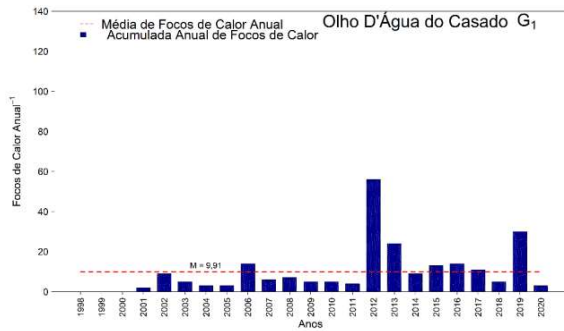
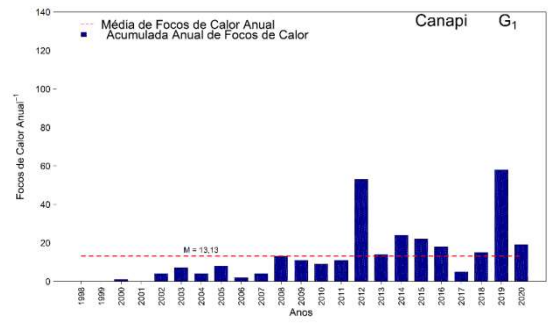
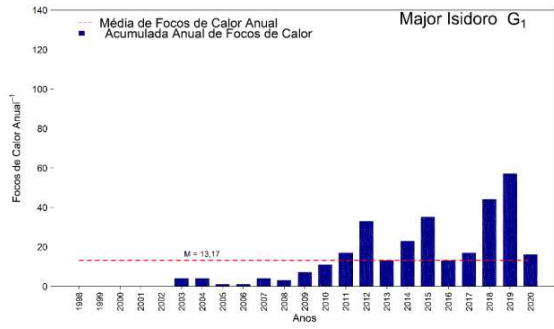
**Tabela 2** - Resultado da ED aplicado à série temporal 1998-2020 entre os grupos do Sertão alagoano.

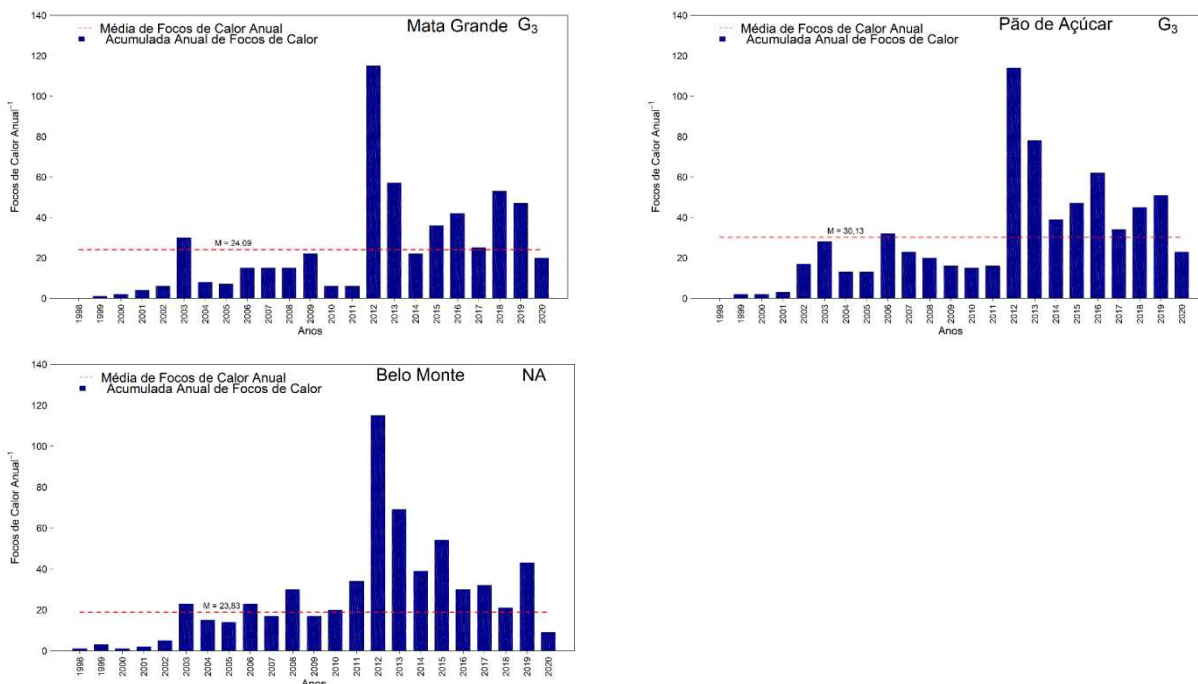
Grupos	$\bar{x}$	Md	Valores			Limites	
			Vmi	Vma	At	Li	Ls
G <sub>1</sub>	5,77	3,00	0,00	58,00	58,00	-10,88	18,13
G <sub>2</sub>	16,15	12,50	0,00	82,00	82,00	-20,63	48,38
G <sub>3</sub>	24,26	17,00	0,00	115,00	115,00	-32,38	72,63
NA	26,83	21,00	1,00	115,00	114,00	-20,75	65,25

Grupos	CV %	Dp	Quartis		AIQ
			Q1	Q3	
G <sub>1</sub>	152,61	8,81	0,00	7,25	7,25
G <sub>2</sub>	95,90	15,49	5,25	22,50	17,25
G <sub>3</sub>	97,23	23,59	7,00	33,25	26,25
NA	96,42	25,87	11,50	33,00	21,50

A Figura 5 mostra a média de FC anual em alguns municípios da mesorregião Sertão. Vale destacar os anos de 2012 e 2019, obteve os maiores registros dos FC, devido à seca que ocorreu no NEB no período (MARENGO *et al.*, 2017). A partir do ano de 2012 até o ano de 2019 os FC foram superiores a M na maioria dos municípios analisados da mesorregião, com destaque para os municípios do grupo G<sub>3</sub> (Batalha, Santana do Ipanema, Mata Grande, Pão de Açúcar).





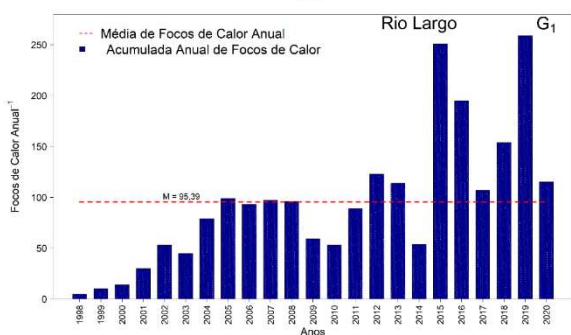
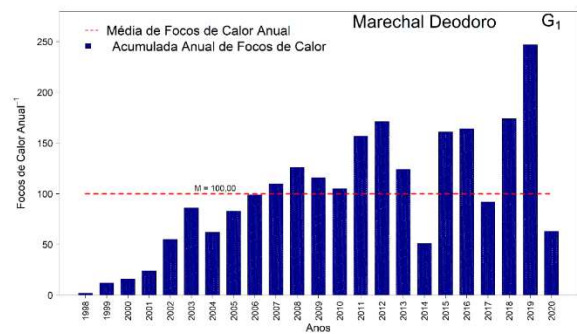
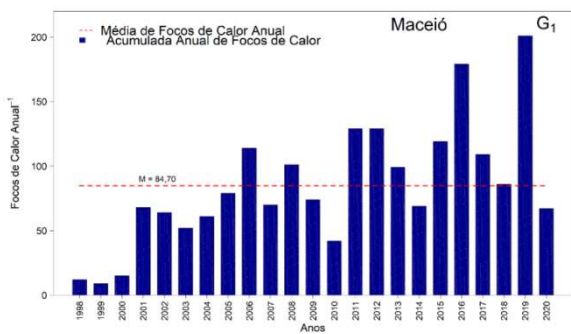
**Figura 6.** Distribuição temporal dos FC anual nos Grupos G1, G2 e G3 na mesorregião Sertão estado de Alagoas entre 1998 e 2020.

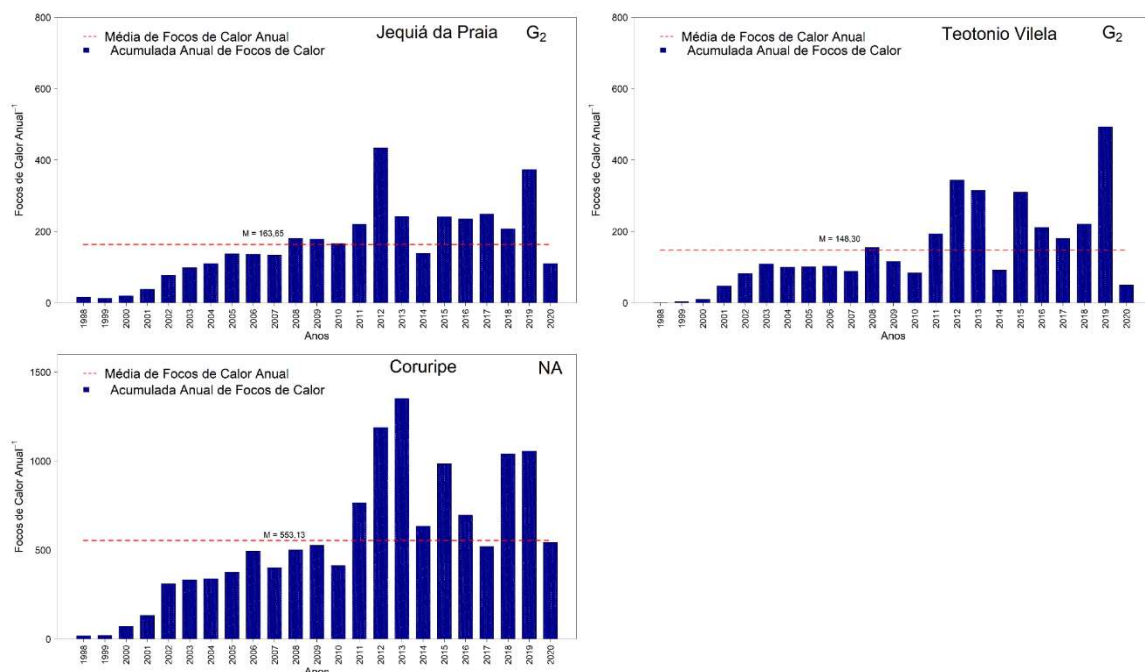
Em relação à ED, o grupo G2 e NA apresentaram as maiores M anuais e DP dos FC, ao contrário do grupo G1, com os menores valores M anuais e DP dos FC, com destaque para Chã preta ( $2,13 \pm 2,51$  focos) e Pindoba ( $0,65 \pm 1,11$  focos). Para a Md, na maioria dos municípios, observam-se valores inferiores a M (Tabela 2). Vale ressaltar os municípios do grupo G2, com maiores M anuais de FC, por exemplo, São Miguel dos Campos ( $200,17 \pm 160,45$  focos), Jequiá da Praia ( $163,55 \pm 100,36$  focos), Campo Alegre ( $158,43 \pm 114,43$  focos), Teotônio Vilela ( $148,30 \pm 122,37$  focos), Coruripe (NA) ( $553,13 \pm 369,40$  focos) - (Tabela 2 e Figura 6). O maior registro de FC nesses municípios está relacionado a áreas com plantio de cana-de-açúcar, e tal cultivo utiliza o fogo para a colheita, sendo uma prática secular no NEB e no Brasil (FERNANDES E CORREIA FILHO, 2014; OLIVEIRA-JÚNIOR *et al.*, 2020; MARINHO *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2021).

A Tabela 3 apresenta a ED dos FC nos grupos da mesorregião Leste Alagoano durante o período de estudo. No Leste Alagoano foram registrados 74812 focos de calor, com destaque para o município de Coruripe e Penedo que não formaram grupo mesmo apresentando um dos maiores registros de focos de calor com aproximadamente 25% do acumulado total da mesorregião (18767 focos).

**Tabela 3** - Resultado da ED e EE aplicado à série temporal 1998-2020 entre os grupos do Leste alagoano.

Grupos	$\bar{x}$	Md	Valores			Limites	
			Vmi	Vma	At	Li	Ls
Focos de Calor. Ano <sup>-1</sup>							
G <sub>1</sub>	36,33	20,50	0,00	291,00	291,00	-60,13	118,88
G <sub>2</sub>	174,24	135,00	1,00	586,00	585,00	-141,75	460,25
NA	407,98	357,00	8,00	1351,00	1343,00	-360,38	1066,63
Grupos	CV	DP	Quartis		AIQ		
			Q1	Q3			
Focos de Calor. Ano-1							
G <sub>1</sub>	116,63	42,37	7,00	51,75	44,75		
G <sub>2</sub>	82,36	143,51	84,00	234,50	150,50		
NA	79,34	323,68	174,75	531,50	356,75		





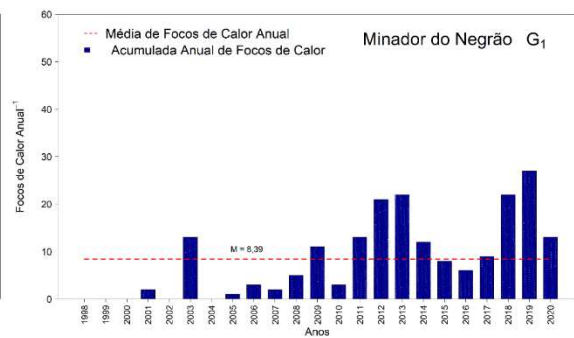
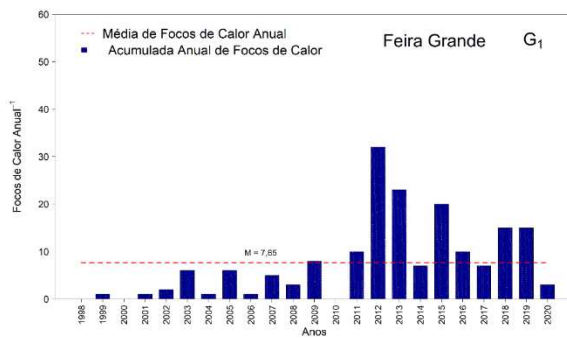
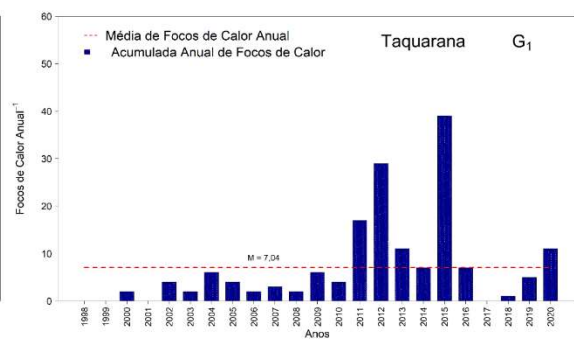
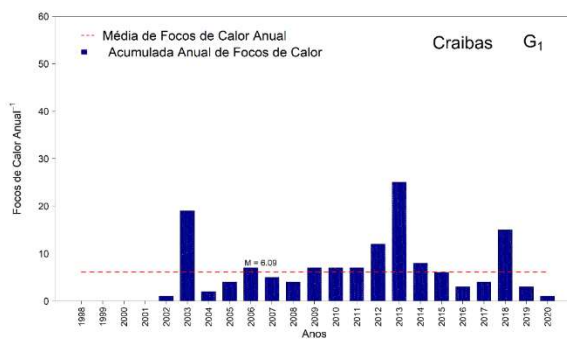
**Figura 7.** Distribuição temporal dos FC anual nos Grupo G1, G2 e NA, na mesorregião Leste estado de Alagoas entre 1998 e 2020.

Em relação à ED, o grupo G<sub>2</sub> e NA apresentaram as maiores M anuais e DP dos FC, ao contrário do grupo G<sub>1</sub>, com os menores valores M anuais e DP dos FC, destacando-se os municípios de Lagoa da Canoa ( $1,26 \pm 1,68$  focos) e Belém ( $2,43 \pm 3,63$  focos). Para a Md, na maioria das estações, observam-se valores inferiores a M (**Tabela 3**). Vale ressaltar que os municípios do grupo G<sub>2</sub>, com maiores M anuais de FC, por exemplo, Cacimbinhas ( $21,30 \pm 28,01$  focos), Girau do Ponciano ( $20,74 \pm 21,61$ ), Craíbas ( $6,09 \pm 6,38$  focos), Feira Grande ( $7,65 \pm 8,37$  focos), Tanque D'arca ( $7,26 \pm 7,17$  focos), Taquarana ( $7,04 \pm 9,58$  focos) Estrela de Alagoas ( $7,87 \pm 8,64$  focos), Igaci ( $8,30 \pm 7,38$  focos) Minador do Negrão ( $8,39 \pm 8,32$  focos) - (**Figura 8** e Tabela 4). O maior registro de FC nesses municípios pode estar relacionado com atividades antrópicas (atividades agrícolas ou desmatamento) - (CAÚLA et al., 2016; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2021).

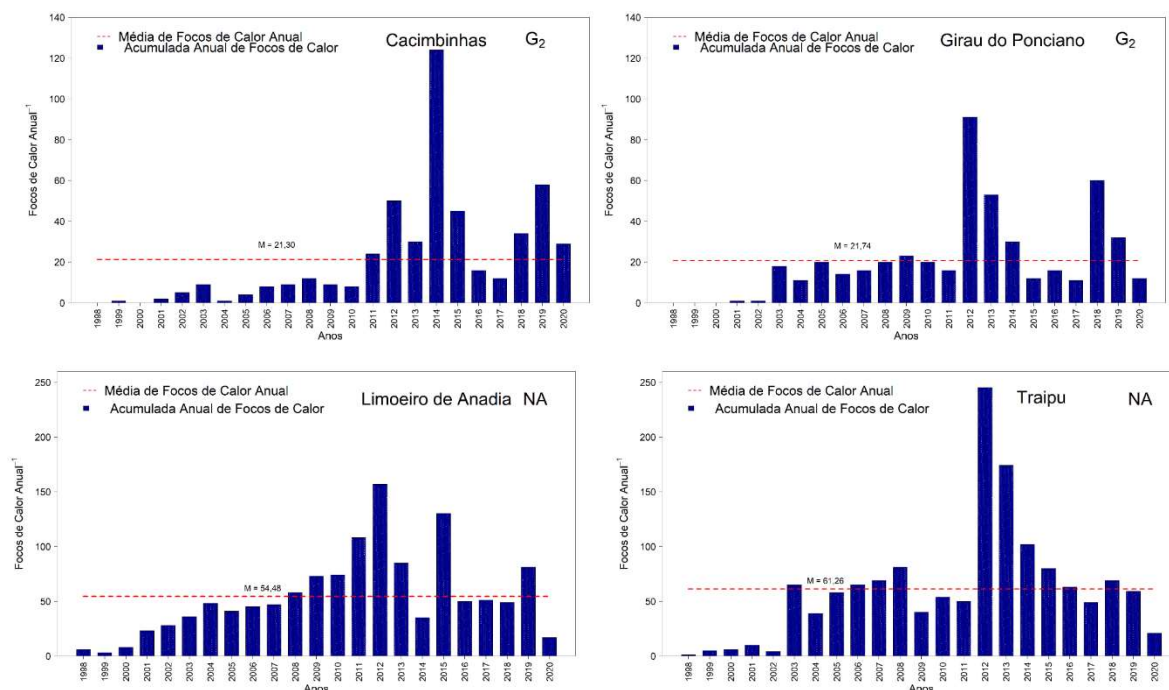
A **Tabela 4** apresenta a ED dos FC nos grupos da mesorregião Agreste Alagoano durante o período de estudo, os resultados obtidos da ED dos FC nos grupos homogêneos obtidos do Agreste Alagoano no período de estudo. No Agreste Alagoano foram registrados 7789 focos, com destaque para os municípios de Limoeiro de Anadia (1253 focos) São Sebastião (930 focos) e Traipu (1409 focos) que não formaram grupo mesmo apresentando um dos maiores registros de FC aproximadamente 46% do acumulado anual da mesorregião (3592 focos).

**Tabela 4 - Resultado da ED e EE aplicado à série temporal 1998-2020 entre os grupos do Agreste alagoano.**

Grupos	$\bar{x}$	Md	Valores			Limites	
			Vmi	Vma	At	Li	Ls
Focos de Calor. Ano <sup>-1</sup>							
G <sub>1</sub>	5,31	3,00	0,00	39,00	39,00	-8,00	16,00
G <sub>2</sub>	16,98	12,00	0,00	124,00	124,00	-27,00	53,00
NA	52,06	46,00	1,00	245,00	244,00	-41,00	135,00
Grupos	CV	DP	Quartis		AIQ		
			Q1	Q3			
Focos de Calor. Ano <sup>-1</sup>							
G <sub>1</sub>	121,54	6,45	1,00	7,00	6,00		
G <sub>2</sub>	115,28	19,57	3,00	23,00	20,00		
NA	81,57	42,47	25,00	69,00	44,00		







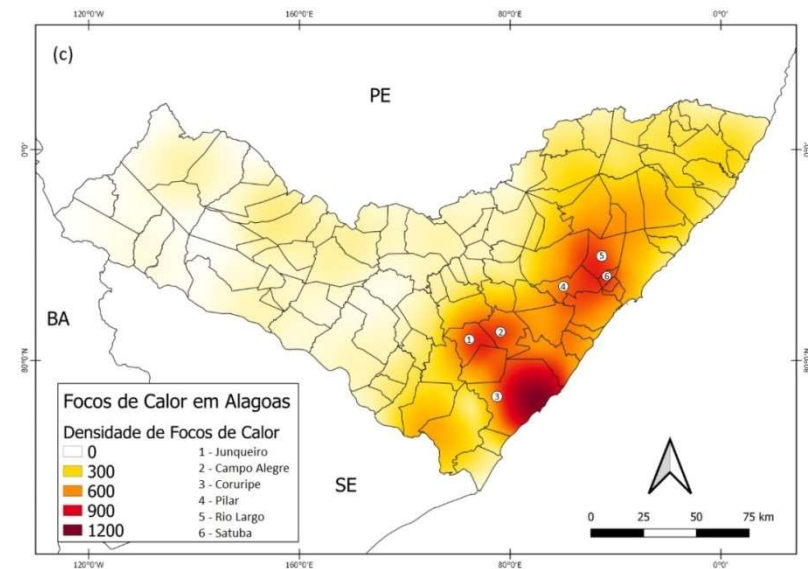
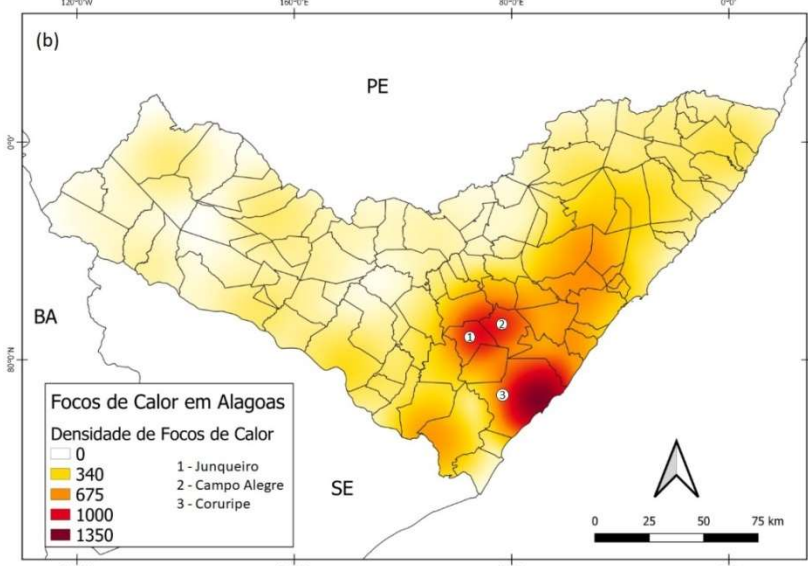
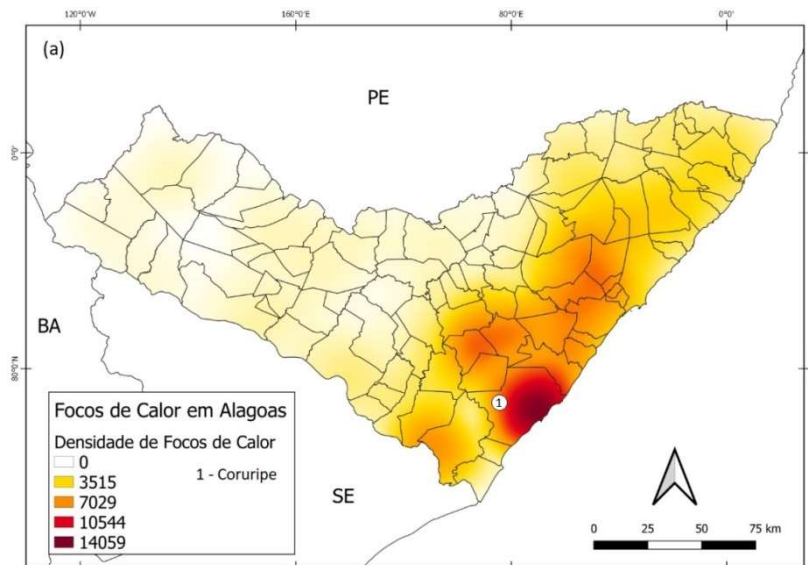
**Figura 8** Distribuição temporal dos FC anual nos Grupos G1, G2 e NA, na mesorregião Agreste estado de Alagoas entre 1998 e 2020.

### 5.3 Análise espacial dos focos de calor

Na avaliação espacial utilizou-se o período total (1998-2020) e anos de 2012 e 2019 via densidade de FC por município. Destaque para maior registro de densidade de FC no período total no Leste Alagoano (**Figura 9**) com valores entre 3515 a 14059 FC, isso se deve a colheita da cana-de-açúcar nos municípios produtores de cana-de-açúcar: São Miguel dos Campos, Campo Alegre, Penedo, São José da Laje, Junqueiro, Rio Largo e Pilar com destaque a Coruripe (SINDAÇÚCAR - AL 2022, SILVA et al., 2020), seguido do desmatamento do bioma Mata Atlântica, que por sua vez ocupa a área e se estende do litoral até o Agreste (FERNANDES e CORREIA FILHO, 2014; CORREIA FILHO et al., 2019).

Além disso, nas últimas décadas, o Leste Alagoano passou por diversas mudanças de uso e ocupação do solo, sendo confirmado recentemente por Santos et al., (2020) via índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Costa et al. (2021) e Oliveira-Júnior et al. (2021) encontraram mudanças marcantes nos períodos de chuva no Estado de Alagoas, com destaque, para dois períodos de chuva, um chuvoso entre 1960-1990 e outro seco entre 1990-2016, tal mudança se deve as alterações no uso e ocupação da terra, particularmente, o processo de urbanização (SANTOS et al., 2020) e, com isso podem ter aumentado a detecção dos FC.

Comparativamente, os anos de 2012 e 2019, houve um aumento considerável dos FC, que por sua vez podem ser associados à degradação da vegetação litorânea, fatores climáticos, tais como, alta temperatura e baixo registro de chuvas, atividades antrópicas e principalmente ao manejo do cultivo da cana-de-açúcar, sendo observado por (OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2020). É sabido que o NEB é fortemente afetado pelas fases do El Niño – Oscilação Sul (ENOS) – (MOLION E BERNARDO, 2002; LYRA et al., 2017). Os eventos La Niña, a chuva no NEB é geralmente superior à média climatológica. No entanto, no evento La Niña de 2011-2012, atribuiu ao NEB sua pior seca dos últimos 30 anos (RODRIGUES et al., 2014), durante a estação chuvosa de 2012, muitas áreas receberam menos de 50% da chuva média, e assim muitos municípios decretaram estado de emergência (MARENGO et al., 2013; MARENGO et al., 2016).



**Figura 9.** Distribuição espacial da densidade dos FC total (a), 2012 (b) e 2019 (c) no Estado de Alagoas.

A técnica CA aplicada a séries temporais de focos de calor via método aglomerativo da ligação média são consistentes de acordo com o CCC ( $> 0,70$ ), ao qual consegue identificar três grupos homogêneos no Sertão e dois grupos homogêneos no Agreste e Leste Alagoano, tal diferença é em virtude das características climáticas e dos processos antrópicos. Alguns municípios não formaram grupos, tais como, Belo Monte (Sertão), Limoeiro de Anadia, São Sebastião e Traipu (Agreste) e Penedo e Coruripe (Leste). Portanto, tais municípios utilizam o fogo como ferramenta para preparação da terra para a criação de animais, ou limpeza para o plantio da monocultura da cana-de-açúcar ainda permitida pela legislação local, como o caso dos municípios situados na mesorregião Leste Alagoano. (OLIVEIRA-JÚNIOR et al. 2020)

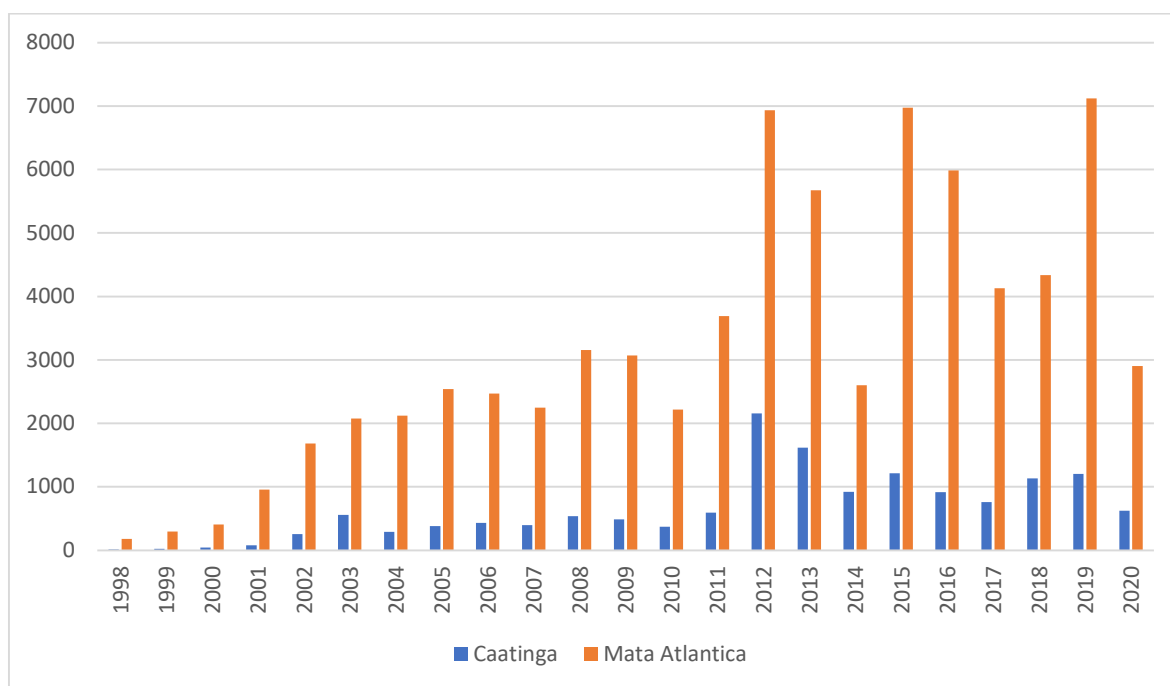
A análise estatística mostra que os grupos homogêneos formados pelos municípios de Alagoas apresentam alta variabilidade temporal dos FC, independente da mesorregião climática. Tal variabilidade dos FC no Leste Alagoano está relacionada às alterações no uso e ocupação da terra, particularmente ao processo de urbanização e, com isso aumenta a detecção dos FC. Já em relação ao Sertão o número elevado de detecção de FC nesses municípios pode estar associado a atividades agrícolas e desmatamento seguido de longos períodos de estiagem e secas severas. Temporalmente o número de FC tem aumentado significativamente em Alagoas, destaque a partir de 2010. Não se descarta que os anos superiores à média sejam influenciados pela ocorrência de seca e períodos de estiagens, comum no NEB e, principalmente no Estado de Alagoas. Especialmente a mesorregião do Leste Alagoano se destaca em relação às outras mesorregiões, sendo identificados alguns municípios associados à atividade sucroalcooleira como: Junqueiro, Campo Alegre, Coruripe, Pilar, Rio Largo e Satuba. Tais municípios merecem atenção especial por parte da gestão pública e dos órgãos ambientais em relação à ocorrência de futuros incêndios no Estado de Alagoas.

#### **5.4 Estatística aplicada aos Biomas**

Na avaliação dos FC versus Biomas Alagoanos utilizou-se o período total (1998-2020) com destaque para maior registro de FC no período total no Bioma Mata Atlântica (Figura 10), isso se deve a colheita da cana-de-açúcar nos municípios produtores de cana-de-açúcar: São Miguel dos Campos, Campo Alegre, Penedo, São José da Laje, Junqueiro, Rio Largo e Pilar com destaque a Coruripe (SINDAÇÚCAR - AL 2022, SILVA et al., 2020) seguido do desmatamento do bioma Mata Atlântica, conforme observado também nos mapas de

distribuição de densidade dos FC (Figura 9) - (FERNANDES e CORREIA FILHO, 2014; CORREIA FILHO et al., 2019).

Comparativamente os anos de 2012, 2015 e 2019, houve um aumento considerável dos FC no Bioma Mata Atlântica (Figura 10), que por sua vez podem estar associados à degradação da vegetação litorânea, fatores climáticos, tais como, alta temperatura e baixo registro de chuvas, atividades antrópicas e principalmente ao manejo do cultivo da cana-de-açúcar, sendo observado por (OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2020) e também nos anos de 2012 e 2019 é possível observar um aumento dos FC no Bioma Caatinga, como verificado na avaliação estatística da Mesorregião Sertão Alagoano onde predomina esse Bioma, possivelmente atribuído a Agricultura Familiar e condicionamento de novas áreas para criação de animais na região da Bacia Leiteira do Sertão do São Francisco.



**Figura 10.** Distribuição anual dos FC nos Biomas Alagoanos (1998-2020).

## 6 CONCLUSÕES

A técnica do CA aplicada a séries temporais de focos de calor via método aglomerativo da ligação média identificou três grupos homogêneos ( $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$ ) no Sertão e dois grupos homogêneos no Agreste e Leste Alagoano ( $G_1$  e  $G_2$ ). Alguns municípios não formaram grupos (NA), tais como, Belo Monte (Sertão), Limoeiro de Anadia, São Sebastião e Traipu (Agreste) e Penedo e Coruripe (Leste). Os resultados obtidos pela técnica do CA são consistentes de acordo com o CCC ( $> 0,70$ ). A análise estatística descritiva mostrou que os grupos formados pelos municípios de Alagoas apresentaram alta variabilidade temporal dos FC, independente da mesorregião.

A variabilidade dos FC nos maiores grupos homogêneos do Leste Alagoano está relacionada às alterações no uso e ocupação da terra, particularmente, o processo de urbanização e, com isso podem ter aumentado a quantidade de FC nessa mesorregião. Já em relação ao Sertão o número elevado de registro de FC nesses municípios pode estar associado a atividades agrícolas e desmatamento seguido de longos períodos de estiagem e secas severas. Ao longo dos anos o número de FC tem crescido no estado de Alagoas, com picos nos anos de 2012 e 2019, conforme análise de ED e espacial, com destaque a mesorregião do Leste Alagoano onde prevalece o bioma Mata Atlântica. O bioma Mata Atlântica é mais ameaçado segundo quantidade de registros de focos de calor anual, porém, em alguns anos há aumento no bioma Caatinga. Não se descarta que os anos em destaque sejam influenciados pela ocorrência de seca e períodos de estiagens, comum no Estado de Alagoas.

## 7 RECOMENDAÇÕES

As principais recomendações deste estudo são:

1. Correlacionar os dados de produção agrícola com os FC, principalmente nos municípios que não formaram grupo no Leste e Agreste Alagoano via Regressão Linear Múltipla (RLM) ou Análise de Componente Principal (ACP);
2. Extrair as principais categorias do NDVI para cada mesorregião individualmente do Estado;
3. Estabelecer um modelo conceitual entre as reações químicas dos poluentes que ocorrem durante as queimadas e os incêndios florestais nas mesorregiões, com destaque para qualidade do ar a partir das resoluções CONAMA 1990 e 2018.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ADÁMEK, M.; BOBEK, P.; HADINCOVÁ, V.; WILD, J.; KOPECKÝ, M. **Forest fires within a temperate landscape: a decadal and millennial perspective from a sandstone region in Central Europe.** Forest Ecology and Management, v.336, n.2015, p.81-90, 2015.
- ARAÚJO, 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.** Revista Ciência Florestal, v. 23, n. 2, p.297308, 2013.
- AVANCINI, M. M.; TEGA, G. **Caatinga: um bioma entre a devastação e a conservação.** ComCiência, n. 149, p. 0-0, 2013.
- BARBOZA, E. N., BEZERRA NETO F. C., CAIANA, C. R. A. **Sensoriamento Remoto aplicado à análise do fenômeno de Ilhas de Calor Urbano na Cidade de Vitória, Espírito Santo.** Research, Society and Development, v. 9, n. 6, 121, 2020.
- BATISTA, A. C. **Deteção de incêndios florestais por satélites.** Floresta v. 34, n. 2, p. 237241, 2004.
- BOSSO, R. M. V. **Investigação de biomarcadores de suscetibilidade e de exposição ambiental em indivíduos ocupacionalmente expostos à queima de canaviais.** 106p. Tese (Doutor em Ciência Biológicas) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), São José do Rio Preto, 2004.
- CAMARGO, M. C. R.; TOLEDO, M. C. F. **Avaliação da contaminação de diferentes grupos de alimentos por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.** Brazilian Journal of Food Technology, v. 5, p. 19-26, 2002
- CARNEIRO, K. F. S.; ALBUQUERQUE, E. L. S. **Análise multitemporal dos focos de queimadas em Teresina, estado do Piauí.** Revista de Geociência do Nordeste, v.5, n. 2, p. 3140, 2019.
- CASTELLETTI, C. H. M. et al. **Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. Ecologia e conservação da caatinga.** Recife: Editora Universitária da UFPE, p. 719-34, 2003.
- CASTELLETTI, Henrique & Da Silva, José Maria & Tabarelli, Marcelo & Santos, A.M.M. (2003). **Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. Biodiversidade da Caatinga: Áreas e ações prioritárias para a conservação.** 91-100.
- CAÚLA, R. H.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; DELGADO, R. C.; PIMENTEL, L. C. G.; TEODORO, P. E. **Nonparametric statistics applied to fire foci obtained by meteorological satellites and their relationship to the MCD12Q1 product in the state of Rio de Janeiro, Southeast - Brazil.** Land Degradation & Development, v. 28, p. 1056-1067, 2016.

CAÚLA, R. H; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; LYRA, G. B; DELGADO, R. C; HEILBRON FILHO, P.F.L. **Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011**. *Environmental Earth Sciences*, v. 74, p. 1497-1508, 2015.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo: Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroesdequalidadedoar/>. Acesso em: Acesso em 20 de junho de 2021.

CLEMENTE, S. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; LOUZADA, M. A. P. **Focos de calor do bioma Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro: uma abordagem de gestão e legislação ambiental**. *Revista de Ciências Agroambientais (Online)*, v. 15, p. 158-174, 2017.

CORREIA FILHO, W. L. F.; SANTOS, T. V. dos; DIOGO, A. M.; AMORIM, R. F. C. de. Diagnóstico da Precipitação e EVI em Dois Eventos de Seca no Nordeste do Brasil. *Revista do Departamento de Geografia, [S. l.]*, v. 35, p. 102-112, 2018.

COSTA, M. S. et al. **Rainfall extremes and drought in Northeast Brazil and its relationship with El Niño–Southern Oscillation**. *International Journal of Climatology*, v. 41, p. E2111-E2135, 2021.

CPTEC - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Monitoramento de focos. Disponível em <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>, acesso em 27 de Out. 2020.

DEBANO, L. F.; NEARY, D. G.; FFOLLIOTT, P. F. **Fire's Effects on Ecosystems**. New York: John Wiley & Sons, 1998, 335 p.

FERNANDES, R. C; CORREIA FILHO, W. L. F. **Espacialização temporal dos focos de queimadas e de poluentes atmosféricos (CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) em Alagoas**. *Ciência e natureza*, v. 35, p. 287-294, 2014.

GARCIA, L. C., SZABO, J. K., DE OLIVEIRA ROQUE, F., PEREIRA, A. D. M. M., DA Cunha, C. N., DAMASCENO-Júnior, G. A., ... & Ribeiro, D. B. (2021). **Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans**. *Journal of Environmental Management*, 293, 112870.

GOIS, G.; FREITAS, W. K.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. **Spatial-temporal of fire foci in the state of Rio de Janeiro, Brazil**. *Bioscience Journal (On line)*, v. 36, p. 1008-1017, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário de 2017. Disponível em: [www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br). Acesso em: 20 de junho de 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Divisão regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas, 2019. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2269\\_1.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2269_1.pdf). Acesso em: 20 de junho de 2021.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 642p. 1992.



LACERDA, Marta Aurélio Dantas et al. **Planos de combate à desertificação no nordeste brasileiro**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 4, n. 1, p. 0, 2004.

LIBONATI, R.; GEIRINHAS, J. L.; SILVA, P. S.; RUSSO, A.; RODRIGUES, J. A.; BELÉM, L. B. C.; NOGUEIRA, J.; ROQUE, F. O; DACAMARA, C. C.; NUNES, A. M. B.; MARENGO, J. A ; TRIGO, R. M. **Assessing the role of compound drought and heatwave events on unprecedented 2020 wildfires in the Pantanal**. Environmental Research Letters, v. 17, p. 015005, 2022.

LIMA, D. L.; ALVES, T. S; OLIVEIRA, A. P. G., CATALANI, T. G. T., DALMAS, F. B., PARANHOS FILHO, A. C. **Identificação e quantificação semiautomática de desmatamento por Sensoriamento Remoto**. Research, Society and Development, v.9, n. 4, p.125, 2020.

LIU, W. T. H. - **Aplicações de sensoriamento remoto** – Campo Grande, Ed. UNIDERP, 2006. 908p ISBN 85-7704-040-0.

LOPES, E. R N; SILVA, A. P. P; PERUCHI, J. F; LOURENÇO, R W. **Zoneamento de Risco de Incêndio e Queimadas no Município de Sorocaba, São Paulo**. Revista do Departamento de Geografia. v. 36, 2018.

LYRA, G. B., OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., GOIS, G., CUNHA-ZERI, G., ZERI, M. **Rainfall variability over Alagoas under the influences of SST anomalies**. Meteorology and Atmospheric Physics, v. 129, p. 157–171, 2017.

LYRA, G.B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; ZERI, M. **Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil**. International Journal of Climatology, v. 34, n. 13, p. 3546-3558, 2014.

MACHIN, A. B; NASCIMENTO, L. F.C. **Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil**. Cadernos de Saúde Pública, v. 34, p. e00006617, 2018.

MARENGO, J. A., ALVES, L. M., SOARES, W. R., RODRIGUEZ, D. A., CAMARGO, H., RIVEROS, M. P., PABLÓ, A. D. **Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in northeast Brazil**. Journal of Climate, v. 26, n. 22, p.9137-9154, 2013.

MARENGO, J. A.; Alves, L. M. ; ALVALA, R. C.S ; CUNHA, A. P. ; BRITO, S. ; MORAES, O. L. L. **Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 23, p. 1-21, 2017.

MARENGO, Jose A.; CUNHA, Ana P.; ALVES, Lincoln M. **A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico**. Climanálise, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2016.

MARINHO, A. A. R., GOIS, G., OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., CORREIA FILHO, W. L. F., DE BARROS SANTIAGO, D., DA SILVA JUNIOR, C. A., ROGÉRIO, J. P. **Temporal record and spatial distribution of fire foci in State of Minas Gerais, Brazil**. Journal of Environmental Management, v. 280, p.111707, 2021.

MEDEIROS, M. B; FIEDLER, N. C; **INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA: DESAFIOS PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE** 1. *Ciência Florestal*, v. 14, p. 157-168, 2004.

MELO, Antônio Carlos Galvão de; DURIGAN, Giselda. **Impacto do fogo e dinâmica da regeneração da comunidade vegetal em borda de Floresta Estacional Semidecidual** (Gália, SP, Brasil). *Brazilian Journal of Botany*, v. 33, p. 37-50, 2010

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Subsídios para a Elaboração do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Caatinga. Brasília, dezembro de 2010. Disponível em:<<https://antigo.mma.gov.br/publicacoes/biomas/category/61-caatinga.html?download=391:subsídios-para-a-elaboracao-do-plano-de-acao-para-a-prevencao-e-controle-do-desmatamento-na-caatinga&start=20>>

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O.; **Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste brasileiro**. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17:1–10, 2002.

OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; LYRA, G.B.; GOIS, G.; BRITO, T.T.; MOURA, N.S.H. Análise de homogeneidade de séries pluviométricas para determinação do índice de seca IPP no estado de Alagoas. *Floresta e Ambiente*, v. 19, n. 1, p. 101-112, 2012.

OLIVEIRA-FILHO, A.; FONTES, M. **Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate**. *Biotropica*, v. 32, n. 2, p. 793–810, 2000.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F ; CORREIA FILHO, W.L.F. ; ALVES, L. E. R; LYRA, G. B ; DE GOIS, G; DA SILVA JUNIOR, C. A ; DOS SANTOS, P. J ; SOBRAL, B. S. **Fire foci dynamics and their relationship with socioenvironmental factors and meteorological systems in the state of Alagoas, Northeast Brazil**. *Environmental Monitoring And Assessment*, v. 192, p. 1-26, 2020.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; SILVA, I. J. L.; JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, M. V.; SHAH, M.; JAMJAREEGULGARN, P. **Wet and dry periods in the state of Alagoas (Northeast Brazil) via Standardized Precipitation Index**. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 224, p. 105746, 2021

PEREIRA, E. R. R. **Variabilidade do número de dias de chuva no estado de Alagoas**. *Applied Research & Agrotechnology*, v. 5, n. 1, p. 7-26, 2012.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2020). R: A Language And Environment For Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/old/4.1.0/>

RIBEIRO, G. A. **A queima controlada no manejo da terra**. In: SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. (Ogs.) **Os incêndios Florestais no Brasil: o estado da arte**. Curitiba: UFPR, p. 181214, 2009.

RIBEIRO, H. **Queimadas de cana de açúcar no Brasil: efeitos à saúde Respiratória**. *Revista de Saúde Pública* 2008, 42(2):3706.

RIBEIRO, Karoline Veloso; ALBUQUERQUE, Emanuel Lindemberg Silva. **ANÁLISE GEOESPACIAL DA OCORRÊNCIA DE FOCOS DE CALOR NO ESTADO DO PIAUÍ (2010 A 2019)**. v. 64049, p. 550, 2020.

RODRIGUES, R. R.; MCPHADEN, M. J. Why did the 2011–2012 **La Niña** cause a severe drought in the **Brazilian Northeast**?. *Geophysical Research Letters*, v. 41, n. 3, p. 1012-1018, 2014.

ROHLF, J. F. **Adaptative Hierarchical Clustering Schemes**. *Systematic Biology*, New Haven, vol. 19, n. 2, p. 58-82, mar., 1970

SANTOS SILVA, A., F. H., dos Santos, G., & de Holanda Leite, M. J. (2019). **Desmatamento multitemporal no bioma Caatinga no município de Delmiro Gouveia, Alagoas**. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 14(5), 654-657.

SANTOS, C. A. P. d; SOUZA, U. B. d; SILVA, W. L. **Quantificação dos focos de calor na Mesorregião do Extremo Oeste Baiano**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. In: Anais. São José dos Campos: INPE, 2011. p.7926 7933.

SANTOS, C. T. B; CORREIA FILHO, W. L. F; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F; SANTIAGO, D. B.; BATISTA, B. A. **Diagnóstico Espaço Temporal do Focos de Calor no Brasil**. *Research, Society and Development*, v. 10, p. 1-10, 2021.

SANTOS, F. S.; GOMES, H. B.; BARROS, G. V. P.; ALVES, L. E. R.; SILVA, D. F.; COSTA, R. L.; SILVA, F. D. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. **Análise Sazonal dos Parâmetros Biofísicos Utilizando o Sensor MODIS para o Estado de Alagoas**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, p. 955-968, 2021.

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Perfil dos Incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002**. *Floresta*, v. 36, n. 1, p. 93100, 2006.

SANTOS, J. N. R. **Agricultura familiar e políticas públicas: um estudo em municípios dos territórios da cidadania Cantuquiriguaçu Paranaense e Bacia Leiteira Alagoana**. 2020.

SARAÇLI, S; DOĞAN, N; DOĞAN, İ. **Comparison of hierarchical cluster analysis methods by cophenetic correlation**. *Journal of inequalities and Applications*, v. 2013, n. 1, p. 1-8, 2013.

SENAR. Bioma exclusivamente brasileiro, a Caatinga tem valor econômico e biológico para o País. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/noticias/bioma-exclusivamente-brasileiro-a-caatinga-tem-valor-econ%C3%B4mico-e-biol%C3%B3gico-para-o-pa%C3%ADs>>.

SILVA JUNIOR, C. A.; TEODORO, P. E. ; DELGADO, R. C.;TEODORO, L. P. R.; LIMA, MENDELSON ; PANTALEAO, A. A.; BAIIO, F. H. R.; AZEVEDO, G. B.; AZEVEDO, G. T. O. S. ; CAPRISTO-SILVA, G. F.; ARVOR, D.; FACCO, C. U. **Persistent fire foci in all biomes undermine the Paris Agreement in Brazil**. *Scientific Reports*, v. 10, p. 16246, 2020.

SILVA, E. M. S. et al. **Espaço-Temporalidade dos Focos de Calor na Região Metropolitana de Maceió**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, p. 1029-1043, 2021.

SILVA, E. M. D., CARVALHO, H. C. M., SILVA, L. L. D., & BARBOSA, W. A. (2021). **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, 36, 571-577.

SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America.** 1. ed. Springer International Publishing: Springer Nature, v. 1. 2017. 487 p.

SILVA, L. R.; STOŠIĆ, T.; STOŠIĆ, B. D. **Power law correlations in time series of wild-land and forest fires in Brazil.** International journal of remote sensing, v. 33, n. 7, p. 2059-2067, 2012.

SINDAÇÚCAR-AL. Boletim da Safra. Disponível em <https://www.sindacucar-al.com.br/boletim-da-safra/>, acesso em 28 de mar. 2022, 2020.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo.** Curitiba: UFPR, 2007. 264 p.

SOARES, T. B. O.; RESENDE, F. C.; PEREIRA, G. **Distribuição espacial dos focos de calor em Unidades de Conservação de Minas Gerais no período de 2007 a 2012.** Revista UD y la Geomática, v. 11, p. 3945, 2016.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **The comparison of dendrograms by objective methods.** Taxon, v. 11, n. 2, p. 33-40, 1962.

SOUZA, L. S.; LANDAU, L.; MORAES, N. O.; PIMENTEL, L. C. G. **Air quality 25 photochemical study over Amazonia Area, Brazil.** International Journal of Environment and Pollution, Genebra, v. 48, n. 1, p.194-202, 2012.

STOCKS, B. J. **Fire management: principles and options in the forested and savanna regions of the world.** Fire in the Environment: The Ecological, Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires., p. 315-326, 1993.

TEODORO, P.E.; SILVA JUNIOR, C. A.; DELGADO, R. C.; LIMA, M.; TEODORO, L. P. R.; BAILO, F. H. R.; AZEVEDO, G. B.; AZEVEDO, G. O. S.; PANTALEÃO, A. A.; CAPRISTO-SILVA, G. F.; FACCO, C. U. **Twenty-year impact of fire foci and its relationship with climate variables in Brazilian regions.** Environmental Monitoring And Assessment, v. 194, p. 90, 2022.

TOMZHINSKI, G. W.; COURA, P. H. F.; FERNANDES, M. C. **Avaliação da Detecção de Focos de Calor por Sensoriamento Remoto para o Parque Nacional do Itatiaia.** Biodiversidade Brasileira, ano I, nº 2, p. 201211, 2011.

WANG, S. D.; MIAO, L. L.; PENG, G. X. **An Improved Algorithm for Forest Fire Detection Using HJ Data.** Procedia Environmental Sciences, [S.l.], v. 13, p. 140150, 2012.

WARRICK, A. W., NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties the soil.** In: Hill, D. (ed.). Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980. p.319-344

WHITE, B. L. A., WHITE, L. A. S., RIBEIRO, G. T., FERNANDES, P. A. M. **Development of a fire danger index for eucalypt plantations in the northern coast of Bahia, Brazil.** Floresta, v. 43, n. 4, p. 601-610, 2013.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S. **Queimadas e incêndios florestais no estado de Sergipe, Brasil, entre 1999 e 2015.** Floresta, v. 46, n. 4, p. 561-570, 2017.