

**XIX ENCONTRO ECONOMIA DO CEARÁ EM DEBATE****ÁREA 3 - HISTÓRIA E GEOGRAFIA ECONÔMICA****ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A FOCOS DE CALOR, INCÊNDIOS E QUEIMADAS  
NO ESTADO DO CEARÁ****Wesley Leitão de Sousa**

Doutor em Economia, CAEN/UFC  
Avenida da Universidade, 2700 – 2º Andar, Benfica – Fortaleza/CE  
Tel: (85) 98884-5470 | wesleyleitao@alu.ufc.br

**Daniel Barboza Guimarães**

Professor Associado do Depto de Administração e do  
Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria UFC  
Rua Marechal Deodoro, 400, Benfica – Fortaleza/CE  
Tel: (85) 3366-7807 | barbozadan@hotmail.com

**Ana Karine Justino da Costa**

Doutoranda em Economia, CAEN/UFC  
Avenida da Universidade, 2700 – 2º Andar, Benfica – Fortaleza/CE  
Tel: (88) 98817-1955 | anakarinejc@gmail.com

**Moisés Dias Gomes de Azevedo**

Doutorando em Economia Rural, PPGER/UFC  
Avenida Mister Hull, 2977, Bloco 826 – Fortaleza/CE  
Tel: (85) 98889-3470 | moisesdga@gmail.com

## **Análise da Suscetibilidade a Focos de Calor, Incêndios e Queimadas no Estado do Ceará**

### **Resumo:**

Este estudo objetiva identificar as causas da atividade do fogo no estado do Ceará e propor um Índice de Suscetibilidade a Focos de Calor, Incêndios e Queimadas utilizando análise fatorial por componentes principais. Os dados utilizados são de natureza secundária e foram obtidos a partir de diversas fontes, abrangendo aspectos agropecuários, econômicos e sociais. Os resultados revelam que os indicadores ligados ao desenvolvimento agropecuário influenciam na suscetibilidade municipal, como o número de imóveis rurais, a área destinada às lavouras, pastagens e o rebanho da pecuária. Portanto, a substituição da cobertura vegetal por lavouras ou pastagens tem impacto significativo na atividade do fogo. Do total de 184 municípios, apenas três possuem alta vulnerabilidade, enquanto 121 têm risco médio-baixo, indicando moderada fragilidade à atividade do fogo. Ressalta-se que os resultados podem auxiliar no planejamento de prevenção, mitigação e recuperação das áreas degradadas, reduzindo riscos para as populações mais vulneráveis.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento Agropecuário, Fogo, Riscos

**Classificação JEL:** O13, Q01, Q54

## **Analysis of Susceptibility to Hot Spots, Fires and Burnings in the State of Ceará**

### **Abstract:**

This study aims to identify the causes of fire activity in Ceará and propose a Susceptibility Index to Hot Spots, Fires, and Burnings using principal component factor analysis. The data used are secondary and were obtained from various sources, covering agricultural, economic, and social aspects. The results reveal that indicators of agricultural development influence municipal susceptibility, such as the number of rural properties, the area allocated to crops, pastures, and livestock herds. Therefore, the replacement of vegetative cover with crops or pastures has a significant impact on fire activity. Out of 184 municipalities, only three have high vulnerability, while 121 have medium-low risk, indicating moderate fragility to fire activity. It is emphasized that the results can assist in planning for prevention, mitigation, and recovery of degraded areas, reducing risks for the most vulnerable populations.

**Keywords:** Agricultural Development, Fire, Risks

**JEL Classification:** O13, Q01, Q54

## 1. Introdução

O estado do Ceará, situado no nordeste do Brasil, é uma região com vasto litoral e rica em diversidade de ecossistemas, incluindo a Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica. Estima-se que em 2021, 5,57 milhões de pessoas<sup>1</sup> residem nos 171 municípios que compõem a Região Semiárida (RSA), conforme delimitação atualizada da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 2023).

Dadas estas características particulares, a região está sob constante ameaça devido à ocorrência antrópica e natural dos focos de calor, incêndios e queimadas. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2023a), no período de 1998 a 2022, o bimestre outubro-novembro registrou, na média, o maior número de detecções dos focos de calor no Ceará. Nos anos recentes, em 2021, foram notificados 4379 focos de calor, já em 2022, cerca de 4136 focos, uma redução de 5,54% em relação ao ano anterior.

Quando confrontado ao monitoramento dos focos de calor em outros estados brasileiros, até setembro de 2023, o Ceará encontra-se na 16ª posição nacional, com 15 vezes menos focos de calor detectados quando comparado ao estado do Pará no mesmo período (INPE, 2023b). Importante salientar que, embora os números revelados para o estado do Ceará indiquem uma incidência reduzida, essas estatísticas correspondem à contagem dos potenciais pontos de ignição, locais onde os incêndios e as queimadas tem início, resultantes de causas naturais ou ações humanas. Portanto, a verdadeira extensão deste problema deve ser avaliada em termos da área afetada pelo fogo, um dado de difícil obtenção.

No Ceará, ainda de acordo com os dados do INPE (2023b), é especificamente no segundo semestre do ano que se observa uma maior incidência dos focos de calor e queimadas. Isso pode ser atribuído, como mencionado pela Secretaria de Saúde do Estado do Ceará (SESA, 2022), às condições de baixa umidade do ar e do solo, à vegetação ressecada, às elevadas temperaturas e ao uso intensivo das queimadas na preparação das áreas para atividades agrícolas. De tal forma que, esses eventos não representam apenas uma ameaça direta à biodiversidade e aos ecossistemas frágeis da região, mas também acarretam sérias repercussões socioeconômicas.

Os danos sociais e econômicos decorrentes dos focos de calor e queimadas são expressivos. De acordo com informações da SESA (2022), os impactos da combustão de biomassa estão diretamente associados à emissão de poluentes atmosféricos capazes de penetrar nos sistemas respiratório e circulatório. Como consequência, Dittrich e McCallum (2020) descrevem que os custos associados à exposição à fumaça proveniente dos incêndios são excessivamente elevados, frequentemente na ordem de milhões ou bilhões de dólares americanos, em parte devido à significativa taxa de mortalidade decorrente desse fenômeno.

Nesse contexto, o Ceará apresenta programas<sup>2</sup> a nível estadual e municipal direcionados ao enfrentamento dos focos de calor e incêndios, buscando atenuar os danos e preservar seus recursos naturais. No entanto, a eficácia dessas iniciativas depende da capacidade de avaliar e prever a suscetibilidade a esses eventos. Logo, é de suma importância compreender a extensão desse problema.

Portanto, o presente estudo teve como objetivo investigar os fatores agropecuários e socioeconômicos associados à atividade do fogo no estado do Ceará. Especificamente, buscou-se construir o Índice de Suscetibilidade a Focos de Calor, Incêndios e Queimadas (ISFIQ) para os municípios cearenses, utilizando a Análise Fatorial por Componentes Principais e técnicas de geoprocessamento para explorar os resultados encontrados pelo ISFIQ. Desse modo, a pesquisa visa contribuir para a preservação do Ceará, fornecendo resultados contra os desafios persistentes

---

<sup>1</sup> Informação obtida mediante o cruzamento das cidades cearenses que compõem a RSA e a estimativa da população residente no ano de 2021, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023a).

<sup>2</sup> Programa de Prevenção, Monitoramento, Controle de Queimadas e Combate aos Incêndios Florestais da Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima (SEMA, 2023a), a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Ceará da Secretaria da Segurança Pública e Defesa Social (SSPDS, 2023).

dos focos de calor, incêndios e queimadas, bem como servir de referência para outras regiões que enfrentam problemas semelhantes.

Além desta introdução, a presente pesquisa é estruturada em outras quatro seções. A próxima seção aborda o referencial teórico, que abrange diversos fatores relacionados à ocorrência dos focos de calor, incêndios e queimadas. Na seção de metodologia, são detalhadas a área de estudo e a base de dados utilizada na Análise Fatorial por Componentes Principais. Por fim, os resultados são expostos e discutidos seguidos das conclusões derivadas deste trabalho.

## 2. Referencial Teórico

Para identificar alguns fatores associados a ocorrência dos focos de calor, incêndios e queimadas, realizou-se uma pesquisa no Google Acadêmico usando o termo “*determinants of*” acompanhado das seguintes palavras-chave: “*fires*”, “*forest fires*”, “*hotspots*” ou “*wildfires*”. Em seguida, foram selecionados artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais, resultando no agrupamento das variáveis identificadas em indicadores demográficos e sociais, fatores econômicos e aspectos ligados à agricultura, pecuária e aos empreendimentos rurais.

Dentre os aspectos sociais, destaca-se o indicador de analfabetismo, estudado por Barati Jozan *et al.* (2023) para identificar os padrões de incêndio em Mashhad, a segunda cidade mais populosa do Irã. Para dados de 2015 a 2019 e com uso de econometria espacial aplicada a 29.889 eventos de incêndio, os autores constataram que dentre os critérios socioeconômicos, a taxa de analfabetismo foi um dos fatores que mais contribuiu com os incêndios na localidade.

Por outro lado, foi constatado que um elevado nível de capital humano pode reduzir o quantitativo dos focos de calor e a extensão das áreas queimadas. Tal fato foi corroborado por Michetti e Pinar (2019) em regiões italianas no período de 2000 a 2011. Os autores observaram que um maior percentual da população com idade entre 25 e 64 anos que possuía ensino superior desempenhou um papel significativo na redução dos danos causados pelos incêndios. Portanto, os níveis elevados de educação têm destaque na prevenção desses eventos.

Na linha do desmatamento, que por sua vez se relaciona com as questões dos focos de calor, incêndios e queimadas, Rocha e Meyer (2023) observaram a conexão entre o Programa Bolsa Família (PBF) e a supressão vegetal na Amazônia e no Cerrado brasileiro. Dentre os resultados da abordagem do modelo de diferença-em-diferenças, surgem evidências de que o maior programa de transferência de renda nacional expandiu a agropecuária, e por consequência o desmatamento na região.

A literatura também destaca outro aspecto demográfico significativo, a pobreza, que está diretamente ligada à incidência dos focos de calor, incêndios e queimadas, como revelado por De Torres Curth *et al.* (2012). Nessa pesquisa, uma análise fatorial por componentes principais demonstrou uma relação entre as condições socioeconômicas e os incêndios na região do norte da Patagônia Argentina. Os resultados indicaram que áreas com maior índice de pobreza apresentavam maior propensão à ocorrência de incêndios.

Um estudo conduzido por Edwards *et al.* (2020), avaliou as causas associadas aos incêndios florestais na Indonésia, a nível distrital e nas 30.000 aldeias, das cidades de Sumatra e Kalimantan. No tocante à pobreza, observou-se estreita ligação com a atividade do fogo, sugerindo que as aldeias com maiores chances de sofrerem incêndios, são aquelas mais afastadas, menos desenvolvidas e que apresentam uso do fogo na agricultura.

Além disso, no contexto dos aspectos sociais, é importante considerar o tamanho da população. No Irã, Ghorbanzadeh *et al.* (2019) elaboraram dois índices por meio de técnicas de aprendizado de máquina (*machine learning*), o primeiro de suscetibilidade a incêndios florestais e outro de vulnerabilidade social e de infraestrutura. Dentre os achados da pesquisa, observou-se que conforme aumenta a população, maior a proporção dos focos de calor na região do norte do Irã. De Torres Curth *et al.* (2012), concluíram que uma baixa frequência dos incêndios foi

associada a uma baixa densidade populacional, ao passo que, uma maior frequência dos incêndios está ligada a densidades populacionais intermediárias.

Um tema recorrente dentre os fatores econômicos que afetam a ocorrência dos focos de calor diz respeito ao Produto Interno Bruto (PIB). No contexto dessa discussão, Zhang *et al.* (2019) investigaram por meio de regressão, a relação entre o desempenho da gestão da segurança contra incêndios e o desenvolvimento da urbanização. Os resultados obtidos, corroboram que dentre as covariadas que explicam o processo de urbanização, o PIB por habitante (PIB *per capita*) é uma das que apresenta relação positiva com a ocorrência dos incêndios.

Em contrapartida, Morello *et al.* (2020), constataram que na Amazônia brasileira, durante o período de 2008 a 2014, o PIB apresentou relação negativa com o número de focos de calor, na maioria dos modelos testados. Segundo os autores, embora existam indícios de que a agricultura na região continue baseada no uso do fogo, a conclusão decorrente do sinal da variável é de que muitas cidades amazônicas já avançaram dos estágios iniciais do desenvolvimento econômico, nas quais a agricultura baseada no uso do fogo era predominante.

Nas províncias chinesas de Liaoning, Jilin, e Heilongjiang, Wang *et al.* (2023) investigaram o impacto dos fatores socioeconômicos nos níveis de ocorrência de incêndios no período de 2001 a 2019. A nível distrital, foi observada uma associação positiva entre o PIB e a densidade de ocorrência dos incêndios, enquanto, a nível de cidades, o PIB teve um efeito negativo sobre os incêndios. O estudo também examinou a hipótese da relação entre o percentual do PIB oriundo das atividades agrícolas e a ocorrência de incêndios, no entanto, essa relação não se mostrou significativa nas análises.

No que se refere ao mercado de trabalho, existe a hipótese de que uma maior taxa de emprego está associada a uma maior propensão a evitar incêndios. Essa suposição foi abordada em um estudo conduzido por Farinha, Cunha e Dimuccio (2022), que realizaram uma análise fatorial por componentes principais com o objetivo de investigar a vulnerabilidade social aos riscos de incêndio florestal em Portugal entre 2010 e 2018. Os resultados desse estudo revelaram uma relação negativa entre a variável que representa famílias sem membros desempregados e os riscos de incêndios naquela localidade, ou seja, localidades com pessoas ocupadas são menos vulneráveis aos riscos do fogo.

Corroboram ainda com a hipótese anterior, o trabalho de Bowman, Amacher e Merry (2020) que avaliou 220 domicílios a fim de examinar a prevenção de incêndios e a escala das atividades de prevenção a queimadas entre povos tradicionais de subsistência na Floresta Nacional dos Tapajós no estado do Pará, Brasil. Como resultados, evidenciaram que o melhor acesso aos mercados de trabalho e de bens agrícolas encorajaram a prevenção dos incêndios entre os pequenos agricultores nas comunidades.

Por fim, citam-se os aspectos relacionados à agricultura, pecuária e sua relação com os focos de calor, incêndios e queimadas. Em termos de imóveis rurais, existe a premissa de que quanto maior for a área desses estabelecimentos, maior será a incidência de focos de calor na região. Essa hipótese foi verificada por Martínez, Vega-Garcia e Chuvieco (2009) ao identificar os fatores antrópicos relacionados aos incêndios florestais na Espanha. Dentre as variáveis explicativas, concluíram que uma elevada densidade de propriedades agrícolas aumenta os riscos de incêndios, pois mais prováveis se tornam os conflitos e a negligência.

Ainda segundo Martínez, Vega-Garcia e Chuvieco (2009), um outro elemento que apresenta conexão com os riscos de incêndios é o maquinário agrícola, visto na forma de ceifeiras-debulhadoras, fresadoras, enxadas, tratores e semeadoras. Por meio de regressão logística aplicada a 6066 municípios espanhóis no período de 1988 a 2000, concluíram que a densidade do maquinário agrícola (número de equipamentos a cada  $km^2$ ) é a variável mais relevante para explicar os incêndios florestais, e isso se deve novamente, aos conflitos e a negligência.

Quanto à agricultura, D'este *et al.* (2020) examinaram as causas que influenciam a ocorrência dos incêndios florestais na região mediterrânea da Espanha e Itália entre os anos de

2000 e 2012. Dentro das oito categorias de cobertura da terra, destacam-se o efeito positivo da cobertura florestal, a extensão das áreas destinadas à agricultura e o tamanho dos campos na ocorrência dos incêndios. Em particular, é na região da Sardenha (Itália) que a atividade agrícola apresenta a maior capacidade preditiva.

Uma outra fonte de contribuição para os focos de calor, incêndios e queimadas é a área destinada ao pastoreio. Cano-Crespo *et al.* (2015) investigaram na Amazônia brasileira como o processo de desmatamento e a degradação ambiental estão relacionados aos incêndios florestais, determinando a proporção daqueles que se originam fora das áreas manejadas. Os resultados indicam que uma parte significativa dos incêndios florestais não está associada ao desmatamento, mas sim às atividades agropastoris, o que tem implicações relevantes para o manejo e monitoramento destes eventos.

Na atividade de extração vegetal, o carvão é um produto resultante da queima ou carbonização da madeira, e, portanto, é um importante indicador de incêndio. Conforme mostraram Baboin *et al.* (2022) ao estudarem a relação temporal entre os regimes de incêndios e a mudança na diversidade vegetal, o carvão se mostrou uma importante variável que compõe o regime de incêndios.

Para a exploração dos recursos madeireiros, Morello *et al.* (2020) adotaram o valor das exportações de madeira como uma variável *proxy* da extração desse recurso na Amazônia brasileira. Embora esse indicador represente uma considerável alteração quanto ao uso da terra devido à queima da vegetação antes do corte da madeira, a pesquisa realizada pelos autores não identificou uma relação entre esse indicador e os incêndios florestais na região Amazônica.

Em última análise, é importante considerar a presença do efetivo da pecuária e sua relação com o fogo. Nesse sentido, Martínez, Vega-Garcia e Chuvieco (2009) observaram que a persistência da pecuária tradicional, que envolve a queima para manutenção das pastagens, desempenha um papel crítico na determinação dos elevados níveis de risco de incêndios. Em contrapartida, em propriedades privadas de grande escala na Califórnia, Siegel *et al.* (2020) constataram que o pastoreio do gado pode reduzir a probabilidade anual de incêndios florestais na região, uma vez que os animais diminuem a biomassa disponível.

### 3. Metodologia

#### 3.1 Contextualização e Características da Área de Estudo

A área de estudo compreende o estado do Ceará, que abrange uma extensão territorial de 148.894  $km^2$  distribuídos entre 184 municípios. Destaca-se que aproximadamente 98% do território está incluído na RSA (SUDENE, 2023), zona caracterizada por baixos índices pluviométricos. Para o ano de 2021, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023a), cerca de 8,79 milhões de pessoas residem no estado do Ceará, dos quais 2,60 milhões vivem na capital Fortaleza. Além disso, 149 municípios possuem uma população inferior a 50.000 habitantes.

No que se refere aos indicadores econômicos e sociais, segundo o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Estado do Ceará (IPECE, 2023a) o PIB do Ceará cresceu 1,63% entre o primeiro e segundo semestre de 2023, resultado inferior ao PIB nacional que cresceu 3,40% no mesmo período. Em 2021, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), registrado em 0,734 (IBGE, 2023a), posiciona a região na décima segunda posição no *ranking* nacional. Por outro lado, a taxa de analfabetismo entre os municípios variou de 6,80% a 39,30% no ano de 2010 (IBGE, 2023b).

#### 3.2 Variáveis de Estudo

As variáveis delineadas para compor o ISFIQ foram escolhidas conforme o referencial teórico da pesquisa e considerando a disponibilidade das informações. Essas variáveis estão apresentadas no Quadro 01, organizadas conforme a semelhança temática dos indicadores,

ademais dispõe-se o ano mais recente da informação, uma breve descrição da variável, a métrica de avaliação empregada e a fonte de pesquisa correspondente.

Quadro 01 - Variáveis escolhidas para integrar o ISFIQ.

Variável	Ano	Descrição	Unidade	Fonte
Analfabetismo	2010	Percentual da população analfabeta	%	IBGE (2023b)
Bolsa Família	2021	Famílias beneficiárias do Programa Bolsa Família (PBF)	Contagem	Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome (2023)
Pobreza	2010	População extremamente pobre		IBGE (2023b)
População	2021	População residente por município		IBGE (2023c)
PIBpc	2020	Produto Interno Bruto <i>per capita</i>	R\$ de 2020	IPECE (2023b) e IBGE (2023a)
VABagropc		Valor Adicionado Bruto da Agropecuária <i>per capita</i>		
EmpAgro	2021	Empregos nos setores da agropecuária, extração vegetal, caça e pesca, e extrativismo mineral	Contagem	Ministério do Trabalho e do Emprego (2023)
Imóveis Rurais	2017	Área dos estabelecimentos agropecuários	ha	IBGE (2023d)
Tratores		Quantidade de tratores	Contagem	
Lavouras	2021	Soma da área destinada às lavouras temporárias e permanentes	ha	IBGE (2023e)
Pastagem		Área destinada a pastagem		
Carvão Vegetal		Quantidade produzida de carvão vegetal	Tonelada	
Lenha		Quantidade produzida de lenha	m <sup>3</sup>	
Madeira		Quantidade produzida de madeira em tora		
Bovinos		Efetivo de bovinos	Contagem	
Caprinos	Efetivo de caprinos			
Ovinos	Efetivo de ovinos			

Fonte: elaborado pelos autores.

### 3.3 Análise Fatorial por Componentes Principais

Conforme Fávero e Belfiore (2017), a análise fatorial é apropriada para variáveis explicativas correlacionadas, pois gera fatores que condensam o comportamento dos dados originais, através de um agrupamento orientado por critérios predefinidos. Hair Jr *et al.* (2009) destaca ainda que a análise fatorial engloba a avaliação de componentes principais e a análise de fatores comuns, sendo empregada para explorar relações entre várias variáveis, explicando-as por meio de dimensões subjacentes chamadas de fatores.

Entre as técnicas de extração dos fatores, Fávero e Belfiore (2017) ressaltam que a Análise de Componentes Principais (ACP) é amplamente adotada, pois fundamenta-se na análise das correlações entre as variáveis explicativas. Diferentemente das outras abordagens, que se apoiam em medidas de distância ou similaridade entre as unidades avaliadas para formar agrupamentos ou *clusters*.

Segundo Fávero e Belfiore (2017), a análise fatorial visa identificar correlações entre variáveis para criar fatores que representem combinações lineares das variáveis originais, validar construtos estabelecidos na literatura ao avaliar como variáveis são alocadas em fatores e elaborar *rankings* usando indicadores baseados nesses fatores.

No entanto, é necessário realizar testes para avaliar a adequação da amostra à ACP. O teste mais simples consiste em verificar as correlações na matriz de dados. Hair Jr *et al.* (2009) indicam que, se uma inspeção visual não mostrar correlações entre variáveis acima de 0,30, a análise fatorial provavelmente não é viável. De acordo com o autor, correlações parciais superiores a 0,70 são um indicativo sólido para a aplicabilidade do método.

Existem ainda outros testes que verificam a adequabilidade global da amostra ao método de extração de fatores. O teste de esfericidade de Bartlett tem por finalidade capturar a presença de correlação entre as variáveis, implicando que um resultado estatisticamente significativo sugere a existência de tal correlação, o que permite prosseguir com a análise (HAIR JR *et al.*, 2009). Uma alternativa para observar a adequação global da amostra consiste da estatística Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) (FÁVERO e BELFIORE, 2017), cujos valores de 0,9 a 1,0 indicam alta adequação. Entre 0,8 e 0,9 são bons, entre 0,7 e 0,8, média adequação, e abaixo de 0,5 os dados são considerados inadequados para a análise.

A próxima etapa consiste na determinação do número de fatores a serem extraídos. Em termos gerais, a quantidade de fatores está relacionada ao número de variáveis, e no caso desta pesquisa, se há 17 variáveis sob análise, então 17 fatores serão extraídos. O primeiro fator extraído representa uma síntese da melhor combinação linear das variáveis. O segundo fator, por sua vez, corresponde à segunda melhor combinação linear, sendo ortogonal<sup>3</sup> ao primeiro fator encontrado. De modo que, o procedimento se repete até que os fatores sucessivos expliquem toda a variância dos dados (HAIR JR *et al.*, 2009).

Devido à geração de um grande número de fatores (17), se faz necessário estabelecer critérios para selecionar uma quantidade relevante destes. Conforme Fávero e Belfiore (2017), um dos critérios notáveis é o dos autovalores ou das raízes latentes. Este critério determina que fatores com autovalores abaixo de um podem ser considerados insignificantes e descartados. Alternativamente, um outro método de seleção envolve manter fatores suficientes para alcançar uma variância explicada igual ou superior a 60%.

Após a seleção, os fatores ou cargas fatoriais obtidas são submetidas a um procedimento de rotação e embora existam alguns métodos de rotação fatorial, um dos mais empregados na literatura é o método da rotação ortogonal também conhecida como Varimax. Seu propósito é diminuir a quantidade de variáveis com cargas substanciais em um fator específico, redistribuindo as cargas fatoriais e maximizando a variância compartilhada nos fatores associados a autovalores inferiores (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

Na sequência, após a conclusão das análises, procede-se à avaliação das cargas fatoriais para compreender o papel de cada variável e sua contribuição na construção da estrutura fatorial. Quando fatores aceitáveis são obtidos, é natural atribuir algum significado ao padrão revelado pelas cargas fatoriais que se mostram relevantes. A partir dos fatores rotacionados extraídos, pode-se elaborar o *ranking* de suscetibilidade a atividade do fogo, o ISFIQ.

De acordo com as premissas delineadas por Fávero e Belfiore (2017), um dos métodos amplamente empregados envolve a utilização do critério da soma ponderada e ordenação. Neste

---

<sup>3</sup> Implica que os fatores não estão relacionados linearmente.

enfoque, os fatores (aqueles com autovalores excedentes a um) são somados para cada município, sendo ponderados pelos respectivos percentuais de variância compartilhada. Subsequentemente, os resultados são ordenados, estabelecendo uma hierarquia das informações.

Por fim, foi realizado um processo de padronização, com o intuito de normalizar o ISFIQ para uma escala uniforme, onde os valores foram reajustados para variar entre zero e um, conforme a expressão a seguir:

$$ISFIQ_j = \frac{ISFIQ_j - ISFIQ_{min}}{ISFIQ_{max} - ISFIQ_{min}} \quad (1)$$

Onde,  $ISFIQ_j$  é o valor do índice para o município  $j$ ,  $ISFIQ_{min}$  é o valor mínimo do índice e  $ISFIQ_{max}$  é o valor máximo do índice. De posse dos resultados padronizados, um mapa georreferenciado do ISFIQ será gerado para os municípios cearenses, por meio de um Sistema de Informação Geográfico (SIG).

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Indicadores de Suscetibilidade a Focos de Calor, Incêndios e Queimadas

A Tabela 01 permite identificar a extração de cinco fatores do modelo que possuem autovalores maiores do que um, os quais explicaram aproximadamente 75,15% da variância dos dados analisados. O modelo fatorial apresentou valor de KMO igual a 0,778, logo a adequação da análise fatorial pode ser considerada média. Ademais, o resultado da estatística de Bartlett indica que, para o nível de significância de 1% e 136 graus de liberdade, que a matriz de correlação de Pearson é estatisticamente diferente da matriz identidade de mesma dimensão, rejeitando-se a hipótese nula do teste.

Tabela 01 - Fatores principais da atividade do fogo no Ceará.

Fator	% da Variância	Variáveis Dominantes	
Desenvolvimento Agropecuário (5,1813)	30,48%	Imóveis Rurais	+0,9459
		Pastagem	+0,9384
		Ovinos	+0,9281
		Lavouras	+0,9213
		Caprinos	+0,8382
		Bovinos	+0,7776
Indicadores Sociais e Econômicos (2,4150)	14,21%	Pobreza	+0,8766
		Analfabetismo	+0,8576
		PIBpc	-0,7395
Assistência Social e Demografia (2,2230)	13,08%	População	+0,9648
		Bolsa Família	+0,9544
Exploração Vegetal (1,5573)	9,16%	Carvão Vegetal	+0,9137
		Lenha	+0,7719
Recursos Naturais e Economia (1,3981)	8,22%	VABagropc	+0,7391
		Madeira	+0,6121

Fonte: elaborada com base nos dados da pesquisa.

Obs: valores entre parênteses representam os autovalores em cada fator.

Realizada a rotação da matriz de componentes principais, notou-se a composição dos seguintes fatores:

- Fator um (Desenvolvimento Agropecuário): número de imóveis rurais, área destinada às lavouras, pastagens, e o efetivo dos rebanhos de bovinos, caprinos e ovinos.
- Fator dois (Indicadores Sociais e Econômicos): taxa de analfabetismo, pobreza e PIBpc.
- Fator três (Assistência Social e Demografia): número de beneficiários do bolsa família e a população.

- Fator quatro (Exploração Vegetal): a quantidade produzida de carvão vegetal e de lenha.
- Fator cinco (Recursos Naturais e Economia): quantidade produzida de madeira em tora e o VAB da agropecuária *per capita*.

Importante enfatizar que pesquisas semelhantes também exploraram técnicas de análise fatorial para simplificar conjuntos de dados complexos. Para constatar a vulnerabilidade social em relação aos riscos de incêndio florestal, Farinha, Cunha e Dimuccio (2022) reduziram a dimensionalidade de 31 variáveis subdivididas em seis categorias distintas. Por meio da ACP, foram derivados nove fatores latentes, responsáveis por explicar 79,20% da variância total dos dados. Dentre estes, destaca-se o primeiro, que explicou 27,60% da variância, tendo a proporção de idosos na população como a variável dominante.

De forma análoga, Wigtil *et al.* (2016), desenvolveram um índice de vulnerabilidade social usando a ACP para reduzir a dimensionalidade de 26 variáveis, o que gerou sete fatores que explicaram 62,76% da variância total dos dados. A análise para os Estados Unidos revelou que aspectos relacionados a educação e a proporção de não americanos explicam as fragilidades locais quanto aos incêndios. Portanto, pode-se constatar que cada estudo possui características únicas, uma vez que os resultados dependem das variáveis empregadas, do número destas e das associações vistas na ACP. No caso dessa pesquisa, cada fator será mais detalhado em sua respectiva sessão.

#### *Desenvolvimento Agropecuário*

Dada a composição dos fatores, é possível identificar que o primeiro deles, o Desenvolvimento Agropecuário explica 30,48% da variância total dos dados. Dessa forma, como pode ser observado pelo sinal das cargas fatoriais, todas as variáveis significantes apresentaram relação positiva com a vulnerabilidade dos municípios cearenses à ocorrência dos focos de calor, incêndios e queimadas.

Na visão de Coutinho *et al.* (2013), a pecuária apresenta maior estabilidade que as atividades agrícolas, pois muitas culturas requerem regularidade pluviométrica, o que pode ser um desafio considerável em regiões como o Ceará, que é conhecido por seu clima semiárido e pela variabilidade na distribuição das chuvas ao longo do ano. Vale destacar que a atividade da agropecuária está presente no estado desde os tempos coloniais (FARIAS, 2015), e se relaciona com a história da região por ser um meio de subsistência durante os períodos de seca.

Um grande problema para o estado do Ceará seria a substituição das áreas de vegetação por novas áreas destinadas às lavouras e pastagens, questões que agravam o problema da ocorrência dos focos de calor e queimadas. Os possíveis canais seriam o uso do fogo para ampliação direta destas áreas e um provável incremento no VAB da agropecuária que de acordo com o quinto fator é relacionado com a ocorrência dos focos de calor.

#### *Indicadores Sociais e Econômicos*

O segundo fator, Indicadores Sociais e Econômicos, explica 14,21% da variância total, e em inspeção ao sinal das cargas fatoriais para as variáveis analfabetismo e pobreza, pode-se notar relação direta entre estes indicadores e a suscetibilidade à ocorrência dos focos de calor, incêndios e queimadas no estado. Por outro lado, o sinal para a variável PIBpc é negativo, ou seja, existe uma relação inversa com o fator em questão, em outras palavras, a baixa renda da população nas cidades cearenses pode contribuir para a ocorrência dos focos de calor e queimadas nestas regiões.

Conforme a teoria econômica da Curva de Kuznets Ambiental (DINDA, 2004), à medida que as regiões se desenvolvem economicamente (a baixos níveis de PIBpc), há uma intensificação da agricultura e da extração de outros recursos naturais, seguido do aumento dos indicadores de degradação ambiental (por exemplo: aumento nos focos de calor e dos incêndios). Posteriormente, a níveis mais altos de desenvolvimento, a mudança ocorre no sentido da industrialização, dos serviços, de uma maior consciência e regulações que suavizam a degradação

ambiental. Aliado a esse fato, acrescenta-se ainda que os municípios cearenses com menor PIBpc podem ter infraestrutura precária, menor capacidade de resposta a desastres naturais ou menor investimento em medidas de prevenção e mitigação.

Embora os dados sobre o analfabetismo e pobreza estejam defasados, as populações em situação de vulnerabilidade socioeconômica podem enfrentar maiores desafios na adaptação e mitigação dos eventos climáticos extremos, como os incêndios florestais e as ondas de calor. Ademais, os baixos níveis de alfabetização podem levar a falta de acesso a informações relevantes sobre como se proteger e lidar com as situações de calor extremo, o que aumenta a vulnerabilidade.

#### *Assistência Social e Demografia*

Para o terceiro fator denominado por Assistência Social e Demografia, constata-se que os dados explicam cerca de 13,08% da variância total. Quanto ao sinal das variáveis significantes, nota-se que estas têm relação direta com o fator em questão, ou seja, municípios populosos e com grande número de beneficiários do programa bolsa família podem colaborar com a fragilidade das localidades cearenses na ocorrência dos focos de calor, incêndios e queimadas.

No tocante ao demográfico, pode-se acrescentar que as cidades mais populosas tendem a apresentar mais focos de calor, pois existe uma maior possibilidade em função da quantidade de habitantes presentes. Ao relacionar com os dados do censo populacional de 2022, pode-se averiguar que aproximadamente 38% dos municípios cearenses tiveram queda populacional no período entre 2010 e 2022 (IBGE, 2023g), no entanto, apesar da população não ter crescido em todas as cidades, não se dispõe de dados que indiquem se a vulnerabilidade econômica aumentou nesse período.

Em relação às famílias beneficiárias do programa bolsa família, pode-se concluir que as condições socioeconômicas nas quais estas famílias estão inseridas podem ser determinantes para a suscetibilidade dos municípios aos focos de calor, incêndios e queimadas. Isso pode estar relacionado às práticas domésticas do uso do fogo na cocção de alimentos (uso de carvão vegetal, lenha) e na queima dos resíduos sólidos em regiões com ausência ou baixa coleta do lixo.

#### *Exploração Vegetal*

No quarto fator, intitulado de Exploração Vegetal, nota-se que o percentual da variância explicada é de 9,16%, sendo composto pela produção de carvão vegetal e da exploração de lenha por municípios. Ao julgar o sinal das variáveis para a componente quatro, percebe-se a relação direta com o fator, e apesar da importância, vale destacar que nem todas as cidades são produtoras expressivas de carvão vegetal e de lenha, sendo restrita a extração destas matérias-primas segundo os dados da Pesquisa Agrícola Municipal (IBGE, 2023e) a 147 municípios concomitantemente.

Convém frisar que estas informações podem estar subnotificadas, dado a possibilidade de produção e venda ilegal desses insumos para benefício econômico ou uso individual (subsistência), visto que a população que habita em zonas rurais ou aqueles mais vulneráveis economicamente tem como opção o uso de carvão vegetal e lenha nas suas atividades domésticas.

#### *Recursos Naturais e Economia*

O quinto e último fator, aborda os recursos naturais e a economia, explicando conjuntamente 8,22% da variância total dos dados. Em atenção ao sinal das cargas fatoriais significantes, a produção de madeira em tora e o VAB pc da agropecuária apresentam relação direta com o fator. De tal modo que, os cinco fatores apresentados explicam em conjunto mais de 75% da variância total das informações.

Apesar da importância do VAB do setor agropecuário, vale ressaltar que em apenas dez municípios<sup>4</sup>, o VAB da agropecuária supera o VAB das outras atividades econômicas (IBGE, 2023a; IPECE, 2023b), de tal modo que a transição da estrutura produtiva dos municípios em direção às atividades agropecuárias pode ser um fator importante para que se estabeleça uma maior fragilidade no tocante aos focos de calor e queimadas locais.

Em relação a variável madeira em tora, cabe enfatizar que somente 85 cidades são produtoras deste insumo (IBGE, 2023e), e apesar de não ser tão expressiva, tais valores podem estar subavaliados, dado a possibilidade do desmatamento ilegal na região, realizado em pequenas proporções. Segundo o sistema do MapBiomass (2023), mais de 23 mil hectares foram desmatados no estado do Ceará no ano de 2022, o que é preocupante, pois o desmatamento possui grande associação com a ocorrência dos focos de calor, incêndios e queimadas.

Analisados todos os fatores, pode-se perceber que a decomposição destes denota que a propensão a focos de calor, incêndios e queimadas no estado do Ceará está relacionada principalmente com indicadores agropecuários, sociais e nas medidas da atividade econômica municipal.

#### 4.2 Índice de Suscetibilidade a Focos de Calor, Incêndios e Queimadas.

A partir dos resultados dos escores adquiridos da análise fatorial, foram calculados os Índices de Suscetibilidade a Focos de Calor, Incêndios e Queimadas para cada município. Estes valores foram processados utilizando o *software* livre e de código aberto QGIS, com o intuito de produzir um mapa que representasse as localidades com maior predisposição à manifestação dos focos de calor e queimadas.

Conforme ilustrado na Figura 01 a seguir, o ISFIQ está categorizado em quatro estratos de tamanhos iguais (de 0 a 0,25; de 0,25 a 0,50; de 0,50 a 0,75 e de 0,75 a 1), onde as cores mais fortes denotam as áreas com grande suscetibilidade a focos de calor, incêndios e queimadas. Observa-se que as localidades com maior propensão a estes eventos estão situadas no interior do estado do Ceará, especificamente nas regiões de planejamento<sup>5</sup> do Sertão dos Inhamuns e Sertão de Crateús.

Por outro lado, é possível notar que as cidades menos suscetíveis aos riscos dos focos de calor e incêndios estão localizadas no litoral do estado do Ceará e nas regiões de planejamento da Grande Fortaleza e no Maciço de Baturité. Ao analisar os valores do ISFIQ nos municípios que não fazem parte da RSA, pode-se constatar que as 13 cidades que compõem essa região apresentaram índices abaixo de 0,30. No entanto, Fortaleza destaca-se com um índice de 0,79, o que reflete uma grande suscetibilidade da capital do estado à atividade do fogo.

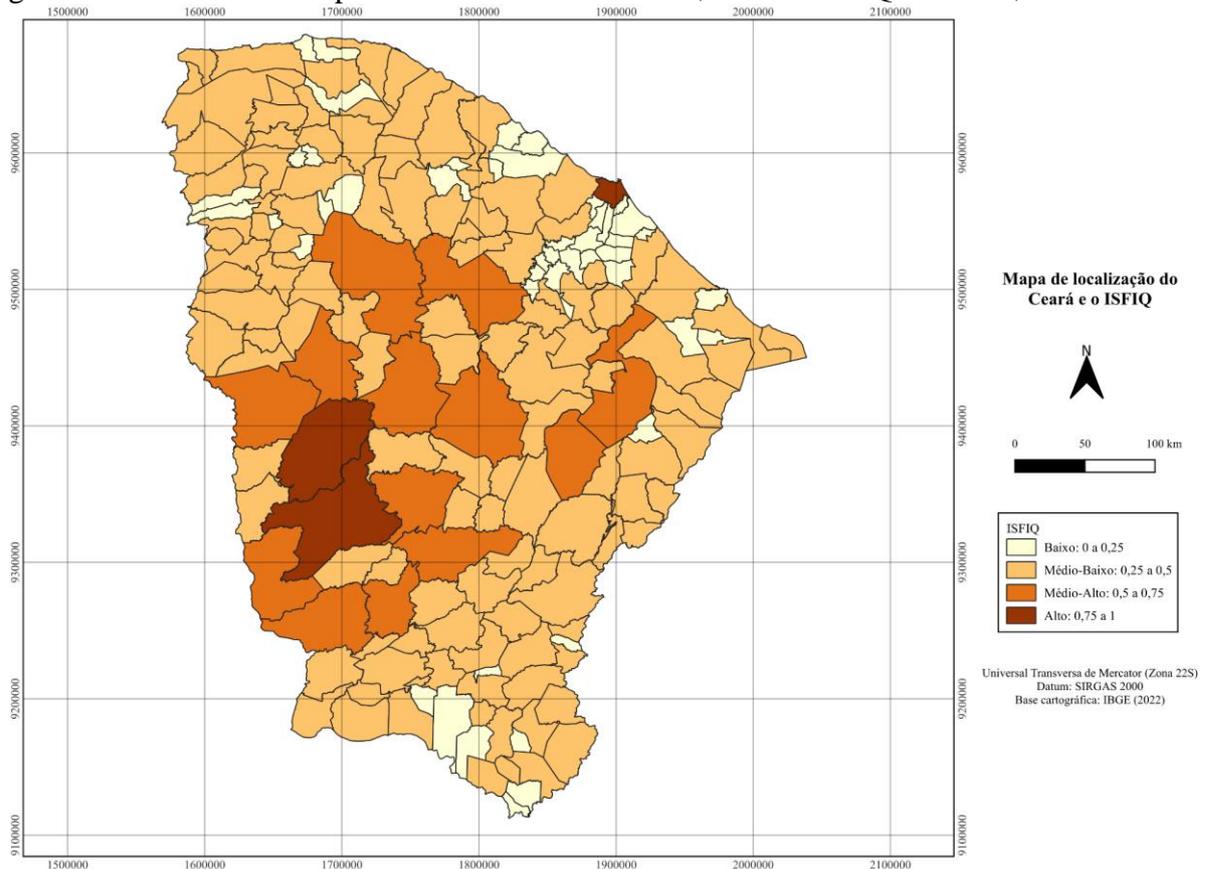
Nesse sentido, uma das áreas mais impactadas na cidade de Fortaleza é o Parque Estadual do Cocó, que, segundo informações da SEMA (2023b), é o maior parque natural em área urbana da região Norte e Nordeste, o quarto maior da América Latina e a maior zona verde da cidade. Em nota técnica emitida pela Secretaria da Segurança Pública e Defesa Social do estado do Ceará (SSPDS, 2021; 2022), nos anos de 2021 e 2022, o local tem sido afetado por incêndios na vegetação. Todavia, conforme destacado por Ferreira Filho e Araújo (2021), esse problema vem sendo registrado na região desde 1999, ressaltando que a estação típica dos incêndios florestais no parque se estende de agosto a dezembro.

Das cidades analisadas, Tauá, Independência, Fortaleza, Morada Nova e Boa Viagem são aquelas que demonstram maior suscetibilidade aos focos de calor, incêndios e queimadas. Por outro lado, as cidades de Eusébio, São Gonçalo do Amarante, Maracanaú, Pacatuba e Itaitinga são as que exibem menor vulnerabilidade a esses eventos, sendo localizadas na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF).

<sup>4</sup> Aratuba, Beberibe, Guaraciaba do Norte, Independência, Milhã, Missão Velha, São João do Jaguaribe, Tianguá, Ubajara, Varjota.

<sup>5</sup> Maiores detalhes sobre as regiões de planejamento do estado do Ceará podem ser vistos em IPECE (2023c).

Figura 01 - Índice de Susceptibilidade a Focos de Calor, Incêndios e Queimadas, Ceará.



Fonte: elaborada com base nos resultados da pesquisa.

Uma outra forma de apresentar os índices pode ser vista na Tabela 02, que inclui a categorização do ISFIQ, o número de cidades por estrato, o percentual da população total e o percentual da população em situação de pobreza. Assim, depreende-se que com índices de suscetibilidade superiores a 0,75 estariam três municípios (Tauá, Independência, Fortaleza), que contemplam 30,80% da população do estado e 10,08% da população em situação de pobreza. Por outro lado, no segundo estrato, há 15 municípios que perfazem apenas 6,83% da população geral e 13,08% da população pobre do estado.

Tabela 02 - Classificação do ISFIQ por Municípios e População.

ISFIQ	Total de Municípios	% da população (2021)	% da população pobre <sup>6</sup>
Alto: 0,75 a 1,00	3	30,80%	10,08%
Médio-alto: 0,50 a 0,75	15	6,83%	13,08%
Médio-baixo: 0,25 a 0,50	121	45,79%	64,36%
Baixo: 0,00 a 0,25	45	16,58%	12,48%

Fonte: elaborada com base nos dados da pesquisa.

No último estrato, onde os índices variam de 0 a 0,25 estão 45 municípios, que totalizam 16,58% da população e 12,48% da população mais pobre do estado. Baseado nas evidências obtidas para o ISFIQ pode-se constatar que o número de municípios com alta propensão a focos

<sup>6</sup> Dados com base no censo populacional de 2010 (IBGE, 2023b).

de calor e queimadas pode ser considerado relativamente pequeno (3), e que boa parte das cidades (121) apresentam riscos médio-baixo de ocorrência dos focos de calor e incêndios, porém concentram um grande percentual da população pobre.

## 5. Conclusão

Os resultados encontrados na pesquisa mostram que as variáveis agropecuárias e socioeconômicas são relevantes para explicar a fragilidade dos municípios cearenses a ocorrência dos focos de calor, incêndios e queimadas. Especificamente, citam-se a área das lavouras e pastagens, o rebanho da pecuária, taxa de analfabetismo, população, pobreza, beneficiários do programa bolsa família, PIBpc, VAB da agropecuária, a extração de lenha e madeira em tora como os principais indutores da atividade do fogo no estado do Ceará.

Dentre os fatores obtidos pela Análise de Componentes Principais, o primeiro componente relacionado ao Desempenho Agropecuário representa 30,48% da variância total das informações. Isso denota que, dada a importância do fator, a substituição da cobertura vegetal por novas áreas de lavouras ou de pastagens pode ter impacto significativo para a ocorrência dos focos de calor e queimadas na região.

No tocante ao ISFIQ, a pesquisa concluiu que três cidades cearenses têm grande suscetibilidade ao fogo, sendo estas Tauá, Independência e Fortaleza. Dentre as que apresentam baixa suscetibilidade citam-se, Maracanaú, São Gonçalo do Amarante e a cidade de Eusébio, que apresenta o melhor desempenho no tocante ao índice. Esclarece-se ainda que, boa parte das cidades têm riscos médio-baixo aos focos de calor, incêndios e queimadas.

Tendo em vista os resultados dessa pesquisa, torna-se evidente a necessidade de focalizar a implementação de programas de combate e prevenção aos focos de calor e incêndios em áreas do Ceará mais suscetíveis, promovendo um diálogo construtivo com os gestores e a comunidade residente. É imprescindível conscientizar a população na busca de alternativas ao uso inadequado do fogo, de modo a suavizar as práticas das queimadas na agricultura, desmatamento, queima de resíduos, a limpeza de terrenos, entre outras atividades, visando a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico local.

## Referências

- BABOIN, L.; BERTON, S.; DUNAND, D.; DUTERTRE, Q. M.; GILARDI, S. Comparative approach of multivariate statistics to decipher trade off in temporal datasets. **Ecologia Mediterranea**, v. 48, n. 2, p. 33-40, 2022.
- BARATI JOZAN, M. M.; MOHAMMADI, A.; LOTFATA, A.; TABESH, H.; KIANI, B. Spatio-temporal analysis of fire incidences in urban context: the case study of Mashhad, Iran. **Spatial Information Research**, p. 1-15, 2023.
- BOWMAN, M. S.; AMACHERA, G. S.; MERRY, F. D. Fire use and prevention by traditional households in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 67, n. 1, p. 117-130, 2008.
- CANO-CRESPO, A.; OLIVEIRA, P. J. C.; BOIT, A.; CARDOSO, M.; THONICKE, K. Forest edge burning in the Brazilian Amazon promoted by escaping fires from managed pastures. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 120, n. 10, p. 2095-2107, 2015.
- COUTINHO, M.; CARNEIRO, M. S. S.; EDVAN, R. L.; PINTO, A. P. A pecuária como atividade estabilizadora no semiárido brasileiro. **Veterinária e Zootecnia**, v. 20, n. 3, p. 434-441, 2013.
- D'ESTE, M. *et al.* Modeling fire ignition probability and frequency using Hurdle models: a cross-regional study in Southern Europe. **Ecological Processes**, v. 9, n. 54, p. 1-14, 2020.
- DE TORRES CURTH, M.; BISCAYART, C.; GHERMANDI, L.; PFISTER, G. Wildland–urban interface fires and socioeconomic conditions: a case study of a Northwestern Patagonia city. **Environmental Management**, v. 49, p. 876-891, 2012.

- DINDA, S. Environmental kuznets curve hypothesis: a survey. **Ecological Economics**, v. 49, n. 4, p. 431-455, 2004.
- DITTRICH, R.; McCALLUM, S. How to measure the economic health cost of wildfires - a systematic review of the literature for northern america. **International Journal of Wildland Fire**, v. 29, p. 961-973, 2020.
- EDWARDS, R. B.; NAYLOR, R. L.; HIGGINS, M. M.; FALCON, W. P. Causes of Indonesia's forest fires. **World Development**, v. 127, p. 104717-104729, 2020.
- FARIAS, A. História do Ceará. Fortaleza: Armazém da Cultura, 2015.
- FARINHA, J.; CUNHA, L.; DIMUCCIO, L., A. Exploratory spatial analysis of social vulnerability and forest fire risk in the pinhal interior sul (Central Portugal). **Sustainability**, v. 14, n. 5, p. 3010-3024, 2022.
- FÁVERO, L. P. L.; BELFIORE, P. P. **Manual de Análise de Dados: Estatística e Modelagem Multivariada com Excel, SPSS e Stata**. Editora: Elsevier, Rio de Janeiro, 2017. 1216 p.
- FERREIRA FILHO, J. E.; ARAÚJO, A. C. Análise de ocorrências de incêndios florestais na área do Parque Estadual do Cocó, Região Metropolitana de Fortaleza, CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 563-569, 2021.
- GHORBANZADEH, O.; BLASCHKE, T.; GHOLAMNIA, K.; MEENA, S. R.; TIEDE, D.; ARYAL, J. Evaluation of different machine learning methods and deep-learning convolutional neural networks for landslide detection. **Remote Sensing**, v. 11, n. 2, p. 196-216, 2019.
- HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Editora: Bookman, Porto Alegre, 2009. 688 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Conheça Cidades e Estados do Brasil**. 2023a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 30 ago. 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. 2023b. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 24 ago. 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da População**. 2023c. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário**. 2023d. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html>. Acesso em: 25 ago. 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Agrícola Municipal**. 2023e. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 25 ago. 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Pecuária Municipal**. 2023f. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>. Acesso em: 27 ago. 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico**. 2023g. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=37225&t=resultados>. Acesso em: 06 set. 2023.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento dos Focos Ativos por Estado**. 2023a. Disponível em: [http://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas\\_estados/](http://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas_estados/). Acesso em: 05 set. 2023.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Situação Atual**. 2023b. Disponível em: [http://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/situacao\\_atual/](http://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/situacao_atual/). Acesso em: 04 out. 2023.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO ESTADO DO CEARÁ. **PIB Trimestral**. 2023a. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/pib-trimestral/>. Acesso em: 05 set. 2023.

- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO ESTADO DO CEARÁ. **Anuário Estatístico do Ceará**. 2023b. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/anuario-estatistico-do-ceara/>. Acesso em: 28 ago. 2023.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO ESTADO DO CEARÁ. **Regiões de Planejamento**. 2023c. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/regioes-de-planejamento/>. Acesso em: 02 set. 2023.
- MAPBIOMAS. **MapBiomas Alerta**. 2023. Disponível em: <https://alerta.mapbiomas.org/>. Acesso em: 10 set. 2023.
- MARTÍNEZ, J.; VEGA-GARCIA, C.; CHUVIECO, E. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 2, p. 1241-1252, 2009.
- MICHETTI, M.; PINAR, M. Forest fires across italian regions and implications for climate change: a panel data analysis. **Environmental and Resource Economics**, v. 72, n. 1, p. 207-246, 2018.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO E ASSISTÊNCIA SOCIAL, FAMÍLIA E COMBATE À FOME. **Bolsa Família**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mds/pt-br/acoes-e-programas/bolsa-familia>. Acesso em: 27 ago. 2023.
- MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. **Estatísticas**. 2023. Disponível em: <http://www3.mte.gov.br/geral/estatisticas.asp>. Acesso em: 26 ago. 2023.
- MORELLO, T.; ANDERSON, L.; SILVA, S. Innovative fire policy in the Amazon: a statistical Hicks-Kaldor analysis. **Ecological Economics**, v. 191, 107248-1072459, 2022.
- ROCHA, R.; MEYER, I. The relationship between income and deforestation in Brazil: the impact of Bolsa Familia program. **Instituto de Economia - UFRJ, Texto para Discussão** n. 15, p. 1-50, 2023.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Sobre PREVINA**. 2023a. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/sobre-previna/>. Acesso em: 04 out. 2023.
- SEMA. **Parque Estadual do Cocó**. 2023b. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/gestao-de-ucs/unidades-de-conservacao-de-protecao-integral/parques/parque-estadual-do-coco/>. Acesso em: 12 set. 2023.
- SECRETARIA DE SAÚDE DO ESTADO DO CEARÁ. **Orientações Técnicas sobre Queimadas e Incêndios Florestais**. 2022. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiJhafCjJSBAxXjB9QKHfQ5AtYQFnoECBoQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.saude.ce.gov.br%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F9%2F2018%2F06%2FNota-Tecnica-Queimadas-no-1-11-11-2022.pdf&usq=AOvVaw2vp7GgTBBKFaDxvjHxUuEe&opi=89978449>. Acesso em: 05 set. 2023.
- SIEGEL, K. J.; MACAULAY, L.; SHAPERO, M.; BECCHETTI, T.; LARSON, S.; MASHIRI, F. E.; WAKS, L.; LARSEN, L.; BUTSIC, V. Impacts of livestock grazing on the probability of burning in wildfires vary by region and vegetation type in California. **Journal of Environmental Management**, v. 322, p. 116092-116099, 2022.
- SECRETARIA DA SEGURANÇA PÚBLICA E DEFESA SOCIAL DO ESTADO DO CEARÁ. **Corpo de Bombeiros apaga incêndio no Parque do Cocó**. 2021. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2021/11/18/incendio-no-parque-estadual-do-coco-e-debelado-pelas-forcas-de-seguranca-e-brigadistas-florestais/>. Acesso em: 12 set. 2023.
- SECRETARIA DA SEGURANÇA PÚBLICA E DEFESA SOCIAL DO ESTADO DO CEARÁ. **Corpo de Bombeiros apaga incêndio no Parque do Cocó**. 2022. Disponível em: <https://www.bombeiros.ce.gov.br/2022/10/12/corpo-de-bombeiros-apaga-incendio-no-parque-do-coco/>. Acesso em: 12 set. 2023.

SECRETARIA DA SEGURANÇA PÚBLICA E DEFESA SOCIAL DO ESTADO DO CEARÁ. **Histórico**. 2023. Disponível em: <https://www.sspds.ce.gov.br/institucional/>. Acesso em: 04 out. 2023.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Delimitação do Semiárido, 2021 - Relatório Final**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiariadorelatorionv.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2023.

WANG, X.; ZHAO, H.; ZHANG, Z.; YIN, Y.; ZHEN, S. The relationship between socioeconomic factors at different administrative levels and forest fire occurrence density using a multilevel model. **Forests**, v. 14, n. 2, p. 391-391, 2023.

WIGTIL, G; HAMMER, R. G.; KLINE, J. D.; MOCKRIN, M. H.; STEWART, S. I.; ROPER, D.; RADELOFF, V. C. Places where wildfire potential and social vulnerability coincide in the coterminous United States. **International Journal of Wildland Fire**, v. 25, p. 896-908, 2016.

ZHANG, Y.; SHEN, L.; REN, Y.; WANG, J.; LIU, Z.; YAN, H. How fire safety management attended during the urbanization process in China? **Journal of Cleaner Production**, v. 236, p. 117686-117698, 2019.

#### APÊNDICE – CLASSIFICAÇÃO DOS MUNICÍPIOS SEGUNDO O ISFIQ

Código IBGE	Município	Vulnerabilidade	ISFIQ
2304285	Eusébio	Baixo	0,0000
2312403	São Gonçalo do Amarante	Baixo	0,0207
2307650	Maracanaú	Baixo	0,0842
2309706	Pacatuba	Baixo	0,1161
2306256	Itaitinga	Baixo	0,1279
2305100	Guaramiranga	Baixo	0,1286
2301000	Aquiraz	Baixo	0,1425
2305233	Horizonte	Baixo	0,1454
2308203	Meruoca	Baixo	0,1672
2310852	Pindoretama	Baixo	0,1698
2307254	Jijoca de Jericoacoara	Baixo	0,1726
2300150	Acarape	Baixo	0,1746
2309805	Pacoti	Baixo	0,1763
2301901	Barbalha	Baixo	0,1773
2309607	Pacajus	Baixo	0,1911
2306207	Itaiçaba	Baixo	0,1945
2312601	São Luís do Curu	Baixo	0,1959
2310605	Penaforte	Baixo	0,1992
2302107	Baturité	Baixo	0,1995
2310209	Paracuru	Baixo	0,1997
2313807	Uruburetama	Baixo	0,2049
2304459	Fortim	Baixo	0,2081
2304905	Groaíras	Baixo	0,2095
2303956	Chorozinho	Baixo	0,2134
2309102	Mulungu	Baixo	0,2147
2300507	Alcântaras	Baixo	0,2149
2301406	Aratuba	Baixo	0,2162
2307205	Jati	Baixo	0,2167
2311603	Redenção	Baixo	0,2176
2313955	Varjota	Baixo	0,2198
2309904	Pacujá	Baixo	0,2215
2313609	Ubajara	Baixo	0,2239
2301802	Baixio	Baixo	0,2257
2304350	Forquilha	Baixo	0,2276
2310100	Palmácia	Baixo	0,2295
2310001	Palhano	Baixo	0,2305
2305308	Ibiapina	Baixo	0,2315

2304954	Guaiúba	Baixo	0,2377
2304251	Cruz	Baixo	0,2384
2312502	São João do Jaguaribe	Baixo	0,2389
2309201	Nova Olinda	Baixo	0,2412
2310258	Paraipaba	Baixo	0,2415
2304806	Granjeiro	Baixo	0,2431
2300101	Abaiara	Baixo	0,2438
2306306	Itapajé	Baixo	0,2444
2304202	Crato	Baixo	0,2465
2307809	Marco	Baixo	0,2497
2301950	Barreira	Médio-Baixo	0,2521
2304509	Frecheirinha	Médio-Baixo	0,2526
2302503	Brejo Santo	Médio-Baixo	0,2582
2310803	Pereiro	Médio-Baixo	0,2585
2307304	Juazeiro do Norte	Médio-Baixo	0,2592
2305001	Guaraciaba do Norte	Médio-Baixo	0,2595
2306801	Jaguaribara	Médio-Baixo	0,2605
2311504	Quixeré	Médio-Baixo	0,2625
2313559	Tururu	Médio-Baixo	0,2632
2307908	Martinópole	Médio-Baixo	0,2645
2300804	Antonina do Norte	Médio-Baixo	0,2648
2303907	Chaval	Médio-Baixo	0,2651
2308302	Milagres	Médio-Baixo	0,2652
2303501	Cascavel	Médio-Baixo	0,2685
2307700	Maranguape	Médio-Baixo	0,2704
2300606	Altaneira	Médio-Baixo	0,2707
2302008	Barro	Médio-Baixo	0,2717
2305704	Ipaumirim	Médio-Baixo	0,2726
2305357	Icapuí	Médio-Baixo	0,2733
2303402	Carnaubal	Médio-Baixo	0,2754
2313401	Tianguá	Médio-Baixo	0,2762
2302909	Capistrano	Médio-Baixo	0,2765
2312809	Senador Sá	Médio-Baixo	0,2768
2304608	General Sampaio	Médio-Baixo	0,2769
2310951	Pires Ferreira	Médio-Baixo	0,2773
2312304	São Benedito	Médio-Baixo	0,2788
2309003	Mucambo	Médio-Baixo	0,2800
2311108	Porteiras	Médio-Baixo	0,2829
2308906	Morrinhos	Médio-Baixo	0,2835
2306553	Itarema	Médio-Baixo	0,2846
2303709	Caucaia	Médio-Baixo	0,2877
2302602	Camocim	Médio-Baixo	0,2888
2304277	Ereré	Médio-Baixo	0,2897
2300903	Apuiarés	Médio-Baixo	0,2908
2313708	Umari	Médio-Baixo	0,2931
2303659	Catunda	Médio-Baixo	0,2949
2302057	Barroquinha	Médio-Baixo	0,2953
2309508	Orós	Médio-Baixo	0,2956
2311702	Reritaba	Médio-Baixo	0,2962
2307106	Jardim	Médio-Baixo	0,2968
2313757	Umirim	Médio-Baixo	0,3014
2313500	Trairi	Médio-Baixo	0,3063
2313252	Tarrafas	Médio-Baixo	0,3067
2306504	Itapiúna	Médio-Baixo	0,3076
2311231	Potiretama	Médio-Baixo	0,3077
2302305	Bela Cruz	Médio-Baixo	0,3077
2308351	Milhã	Médio-Baixo	0,3097
2310407	Paramoti	Médio-Baixo	0,3099

2301109	Aracati	Médio-Baixo	0,3112
2303204	Caririaçu	Médio-Baixo	0,3113
2308401	Missão Velha	Médio-Baixo	0,3125
2305803	Ipu	Médio-Baixo	0,3127
2305332	Ibicuitinga	Médio-Baixo	0,3147
2303105	Cariré	Médio-Baixo	0,3160
2300200	Acaraú	Médio-Baixo	0,3174
2301208	Aracoiaba	Médio-Baixo	0,3181
2313104	Tabuleiro do Norte	Médio-Baixo	0,3196
2309300	Nova Russas	Médio-Baixo	0,3204
2304657	Graça	Médio-Baixo	0,3205
2304269	Deputado Irapuan Pinheiro	Médio-Baixo	0,3216
2303808	Cedro	Médio-Baixo	0,3225
2308807	Moraújo	Médio-Baixo	0,3232
2313351	Tejuçuoca	Médio-Baixo	0,3238
2304301	Farias Brito	Médio-Baixo	0,3257
2303006	Caridade	Médio-Baixo	0,3258
2311207	Potengi	Médio-Baixo	0,3280
2310902	Piquet Carneiro	Médio-Baixo	0,3285
2307635	Madalena	Médio-Baixo	0,3292
2312106	Santana do Cariri	Médio-Baixo	0,3292
2301257	Ararendá	Médio-Baixo	0,3313
2312700	Senador Pompeu	Médio-Baixo	0,3327
2303600	Catarina	Médio-Baixo	0,3359
2310704	Pentecoste	Médio-Baixo	0,3389
2309458	Ocara	Médio-Baixo	0,3390
2304004	Coreaú	Médio-Baixo	0,3398
2306009	Iracema	Médio-Baixo	0,3400
2301703	Aurora	Médio-Baixo	0,3425
2307007	Jaguaruana	Médio-Baixo	0,3443
2308005	Massapê	Médio-Baixo	0,3451
2300754	Amontada	Médio-Baixo	0,3535
2311355	Quixelô	Médio-Baixo	0,3559
2302701	Campos Sales	Médio-Baixo	0,3563
2303931	Choró	Médio-Baixo	0,3565
2307403	Jucás	Médio-Baixo	0,3596
2306603	Itatira	Médio-Baixo	0,3599
2306108	Irauçuba	Médio-Baixo	0,3635
2314102	Viçosa do Ceará	Médio-Baixo	0,3642
2305506	Iguatu	Médio-Baixo	0,3672
2308377	Mirafima	Médio-Baixo	0,3676
2308609	Monsenhor Tabosa	Médio-Baixo	0,3719
2307502	Lavras da Mangabeira	Médio-Baixo	0,3746
2311009	Poranga	Médio-Baixo	0,3769
2303303	Cariús	Médio-Baixo	0,3772
2305902	Ipueiras	Médio-Baixo	0,3783
2305654	Ipaporanga	Médio-Baixo	0,3788
2301307	Araripe	Médio-Baixo	0,3814
2305209	Hidrolândia	Médio-Baixo	0,3861
2301604	Assaré	Médio-Baixo	0,3872
2305266	Ibaretama	Médio-Baixo	0,3951
2311801	Russas	Médio-Baixo	0,3961
2306405	Itapipoca	Médio-Baixo	0,4009
2313005	Solonópole	Médio-Baixo	0,4024
2301851	Banabuiú	Médio-Baixo	0,4037
2313906	Uruoca	Médio-Baixo	0,4113
2308104	Mauriti	Médio-Baixo	0,4128
2304236	Croatá	Médio-Baixo	0,4129

2311264	Quiterianópolis	Médio-Baixo	0,4160
2302206	Beberibe	Médio-Baixo	0,4218
2311959	Salitre	Médio-Baixo	0,4244
2310506	Pedra Branca	Médio-Baixo	0,4246
2301505	Arneiroz	Médio-Baixo	0,4313
2312908	Sobral	Médio-Baixo	0,4342
2300705	Alto Santo	Médio-Baixo	0,4446
2309409	Novo Oriente	Médio-Baixo	0,4490
2307601	Limoeiro do Norte	Médio-Baixo	0,4563
2312007	Santana do Acaraú	Médio-Baixo	0,4579
2314003	Várzea Alegre	Médio-Baixo	0,4675
2305407	Icó	Médio-Baixo	0,4736
2311306	Quixadá	Médio-Baixo	0,4799
2304707	Granja	Médio-Baixo	0,4956
2306900	Jaguaribe	Médio-Baixo	0,4973
2313203	Tamboril	Médio-Alto	0,5029
2311900	Saboeiro	Médio-Alto	0,5188
2308500	Mombaça	Médio-Alto	0,5312
2306702	Jaguaretama	Médio-Alto	0,5587
2300309	Acopiara	Médio-Alto	0,5800
2310308	Parambu	Médio-Alto	0,5828
2300408	Aiuaba	Médio-Alto	0,6121
2312205	Santa Quitéria	Médio-Alto	0,6434
2302800	Canindé	Médio-Alto	0,6494
2311405	Quixeramobim	Médio-Alto	0,6712
2304103	Crateús	Médio-Alto	0,6734
2302404	Boa Viagem	Médio-Alto	0,6833
2308708	Morada Nova	Médio-Alto	0,6876
2304400	Fortaleza	Alto	0,7944
2305605	Independência	Alto	0,8076
2313302	Tauá	Alto	1,0000

Fonte: elaborada com base nos dados da pesquisa.