



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

*Northeast Geosciences Journal*

v. 10, n° 1 (2024)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2024v10n1ID35634>



## Suscetibilidade a focos de calor: uma análise para o estado do Ceará

### *Susceptibility to heat spots: an analysis for the state of Ceará*

Wesley Leitão de Sousa<sup>1</sup>; Daniel Barboza Guimarães<sup>2</sup>; Ana Karine Justino da Costa<sup>3</sup>; Moisés Dias Gomes de Asevedo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, Professor do Departamento de Teoria Econômica, Fortaleza/CE, Brasil. Email: wesleyleitao@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9796-1531>

<sup>2</sup> Universidade Federal do Ceará, Professor Associado do Departamento de Administração e do Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria, Fortaleza/CE, Brasil. Email: danielbg@ufc.br

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6966-7194>

<sup>3</sup> Universidade Federal do Ceará, Doutoranda em Economia - CAEN, Fortaleza/CE, Brasil. Email: anakarinejc@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1677-9114>

<sup>4</sup> Universidade Federal do Ceará, Doutorando em Economia Rural - PPGER, Fortaleza/CE, Brasil. Email: moisesdga@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3515-8639>

**Resumo:** Este estudo tem como objetivo identificar as causas da atividade do fogo no estado do Ceará e propor o Índice de Suscetibilidade a Focos de Calor, Incêndios e Queimadas por meio da 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 indicam 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. A substituição da cobertura vegetal por lavouras ou pastagens tem impacto significativo na atividade do fogo. Dos 184 municípios analisados, apenas três possuem alta vulnerabilidade, enquanto 121 têm risco médio-baixo, indicando moderada fragilidade à atividade do fogo. Os resultados podem auxiliar no planejamento de estratégias de prevenção, mitigação e recuperação das áreas degradadas, reduzindo riscos para as populações mais vulneráveis.

**Palavras-chave:** Análise fatorial; Desenvolvimento agropecuário; Fogo.

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

**Keywords:** Factor analysis; Agricultural development; Fire.

Recebido: 18/03/2024; Aceito: 26/04/2024; Publicado: 20/05/2024.

## 1. Introdução

O Ceará, situado no nordeste brasileiro, é um estado com vasto litoral e rico em ecossistemas, incluindo Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica. Estima-se que, em 2021, 5,57 milhões de pessoas residiam nas 171 cidades que formam a Região Semiárida (RSA), conforme proposição da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 2023).

Apesar dessas características particulares, a região apresenta ocorrência dos focos de calor, incêndios e queimadas, devido à atividade humana e natural. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2024a), de 1998 a 2023, outubro e novembro registraram, na média, o maior número de focos no Ceará. Em 2022, foram notificados 4136 focos; já em 2023, 6808 focos, um aumento de 64,60% em relação ao ano anterior.

De acordo com o INPE (2024b), é no segundo semestre do ano que se observa uma maior incidência dos focos de calor. Isso é atribuído, conforme a 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 agricultura. Logo, esses eventos representam uma ameaça direta à biodiversidade e aos ecossistemas da região, mas também acarretam problemas socioeconômicos.

Para a SESA (2022), os impactos da combustão de biomassa estão 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, na ordem de milhões ou bilhões de dólares americanos, em parte, devido à significativa taxa de mortalidade.

Nesse contexto, o Ceará mantém programas<sup>1</sup> estaduais e municipais direcionados ao enfrentamento dos focos 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 importante compreender a extensão desse problema.

Portanto, o presente estudo tem como objetivo investigar os fatores agropecuários e socioeconômicos associados à atividade do fogo no estado do Ceará. Especificamente, objetiva-se elaborar o Índice de Suscetibilidade a Focos de Calor, Incêndios e Queimadas (ISFIQ) por município, utilizando a Análise Fatorial por Componentes Principais e geoprocessamento para explorar os resultados obtidos. Desse modo, a pesquisa visa a contribuir para a preservação do Ceará, fornecendo evidências contra os problemas dos focos, incêndios e queimadas, bem como servir de referência para outras regiões com desafios similares.

## 2. Referencial teórico

A ocorrência do fogo se dá por diversos fatores, e dentre os aspectos sociais, o indicador de analfabetismo foi 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.

Todavia, um alto nível de capital humano pode reduzir os focos de calor e a área das queimadas. Fato visto por Michetti e Pinar (2019) em regiões italianas de 2000 a 2011. Os autores concluíram que um maior percentual da população na faixa dos 25 aos 64 anos com ensino superior desempenhou um papel significativo na redução dos danos dos incêndios. Portanto, níveis elevados de educação têm destaque na prevenção desses eventos.

A literatura destaca outro aspecto demográfico significativo, a pobreza, que está ligada à incidência dos focos, incêndios e queimadas, como revelado por De Torres Curth *et al.* (2012). Nessa pesquisa, uma análise fatorial demonstrou uma relação entre as condições socioeconômicas e os incêndios na região do norte da Patagônia Argentina, sendo que as 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 em 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.

---

<sup>1</sup> Programa de Prevenção, Monitoramento, Controle de Queimadas e Combate aos Incêndios Florestais da Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima (SEMA, 2023a), com a colaboração da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Ceará da Secretaria da Segurança Pública e Defesa Social (SSPDS, 2023).

No contexto dos aspectos sociais, é importante considerar o tamanho da população. No Irã, Ghorbanzadeh *et al.* (2019) elaboraram dois índices, um de suscetibilidade a incêndios florestais e outro de vulnerabilidade social e de infraestrutura. Como resultados, 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). Diante disso, 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 apresentam relação positiva com a ocorrência dos incêndios.

Já Morello *et al.* (2020) constataram que, na Amazônia brasileira, de 2008 a 2014, o PIB apresentou relação inversa com os focos, 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 para o sinal da variável é de que muitas cidades amazônicas já avançaram dos estágios iniciais do desenvolvimento, nos quais a agricultura é baseada no uso do fogo.

No mercado de trabalho, existe a hipótese de que uma maior taxa de emprego está associada a uma maior propensão a evitar incêndios. Tal suposição foi abordada por Farinha, Cunha e Dimuccio (2022), que realizaram uma análise fatorial para investigar a vulnerabilidade social aos riscos de incêndio florestal em Portugal entre 2010 e 2018. Os resultados apontaram 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.

A relação entre a agropecuária e os focos, incêndios e queimadas é discutida, sugerindo que a área dos imóveis rurais pode influenciar a incidência de incêndios. Essa hipótese foi verificada por Martínez, Vega-Garcia e Chuvieco (2009), ao identificarem os fatores humanos relacionados aos incêndios na Espanha. Dentre as covariadas, concluíram que a elevada densidade de propriedades agrícolas aumenta os riscos de incêndios, pois mais prováveis se tornam os conflitos e a negligência.

Martínez, Vega-Garcia e Chuvieco (2009) também destacaram o maquinário agrícola como outro fator relacionado aos riscos de incêndios. 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<sup>2</sup>) é a variável mais relevante para explicar os incêndios florestais, e isso se deve, novamente, aos conflitos e à negligência. Quanto à agricultura, D'este *et al.* (2020) examinaram as causas que impactam a ocorrência dos incêndios florestais na região mediterrânea da Espanha e da Itália entre 2000 e 2012. Das categorias de cobertura da terra, a cobertura florestal teve um efeito positivo, assim como a extensão das áreas agrícolas e o tamanho dos campos, na ocorrência dos incêndios.

Uma outra fonte de contribuição para os focos, 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. Os resultados indicam que uma grande parte dos incêndios florestais não está associada ao desmatamento, mas sim às atividades agropastoris, o que tem implicações relevantes para o manejo e monitoramento desses eventos.

No entanto, é necessário também avaliar o papel da pecuária e sua relação com o fogo. Martínez, Vega-Garcia e Chuvieco (2009) observaram que a pecuária tradicional, que inclui a queima para manutenção das pastagens, desempenha um papel crítico nos altos riscos de incêndios. Em contrapartida, em propriedades de grande escala na Califórnia, Siegel *et al.* (2020) sugerem que o pastoreio do gado pode reduzir a probabilidade anual de incêndios florestais, já que os animais diminuem a biomassa disponível.

Na extração vegetal, o carvão proveniente da carbonização da madeira desempenha um papel crucial como indicador de incêndios. Baboin *et al.* (2022), ao investigarem a relação temporal entre os incêndios e a mudança na diversidade vegetal, evidenciaram que o carvão é uma variável chave na composição do regime de incêndios. Para a exploração dos recursos madeireiros, Morello *et al.* (2020) adotaram o valor das exportações de madeira como proxy da extração desse recurso na Amazônia brasileira, porém não encontraram relação entre esse indicador e os incêndios florestais na região.

### 3. Metodologia

#### 3.1 Contextualização e características da área de estudo

A área de estudo compreende o estado do Ceará, que possui 148.894 km<sup>2</sup> e 184 municípios. Destaca-se que 98% do território está incluído na RSA (SUDENE, 2023), 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, das quais 2,60 milhões vivem na capital Fortaleza.

#### 3.2 Variáveis de estudo

As variáveis delineadas para compor o ISFIQ foram escolhidas conforme o referencial teórico e a disponibilidade de dados, conforme organização temática na Tabela 1.

*Tabela 1 – 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 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 per capita	R\$ de 2020	IPECE (2023b)	
VABagropc		Valor Adicionado Bruto da Agropecuária per capita		e IBGE (2023a)	
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	Área destinada às lavouras temporárias e permanentes	ha	IBGE (2023e)	
Pastagem		Área destinada a pastagem			
Carvão Vegetal		Produção de carvão vegetal	Tonelada		
Lenha		Quantidade produzida de lenha	m <sup>3</sup>		
Madeira		Produção de madeira em tora			
Bovinos		Efetivo de bovinos	Contagem		IBGE (2023f)
Caprinos		Efetivo de caprinos			
Ovinos	Efetivo de ovinos				

*Fonte: Autores (2024).*

#### 3.3 Análise fatorial por componentes principais

Das técnicas de extração dos fatores, Fávero e Belfiore (2017) ressaltam que a Análise de Componentes Principais (ACP) é amplamente adotada, fundamentando-se na análise das correlações entre variáveis explicativas, diferente das outras abordagens, baseadas em medidas de distância ou similaridade entre as unidades avaliadas para formar agrupamentos ou clusters. Ademais, a análise fatorial identifica correlações entre variáveis para criar fatores que

representem combinações lineares das variáveis originais, validação de construtos estabelecidos na literatura ao avaliar como variáveis são alocadas em fatores e elabora rankings usando indicadores baseados nesses fatores.

No entanto, é necessário realizar testes para avaliar a adequação da amostra à ACP. O teste mais simples verifica 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 possivelmente não é viável. De acordo com o autor, correlações parciais superiores a 0,70 são um indicativo sólido para a aplicabilidade do método.

Existem outros testes que verificam a adequabilidade global da amostra ao método de extração de fatores. O teste de esfericidade de Bartlett identifica correlações entre variáveis, sendo significativo se houver correlação, indicando a viabilidade da análise (HAIR JR *et al.*, 2009). Uma alternativa para observar a adequação global da amostra consiste na estatística Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) (FÁVERO; 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 determina o número de fatores a serem extraídos, que está relacionado ao número de variáveis e, no caso desta pesquisa, se há 17 variáveis sob análise, então 17 fatores serão extraídos. O primeiro fator representa uma síntese da melhor combinação linear das variáveis. O segundo fator, por sua vez, corresponde à segunda melhor combinação linear, sendo ortogonal<sup>2</sup> ao primeiro. Esse procedimento se repete até que os fatores sucessivos expliquem toda a variância dos dados (HAIR JR *et al.*, 2009).

Em seguida, selecionam-se os fatores com base em critérios. Seguindo Fávero e Belfiore (2017), um critério notável é o dos autovalores ou das raízes latentes. Este determina que fatores com autovalores abaixo de um são considerados insignificantes e descartados. Alternativamente, selecionam-se fatores suficientes para alcançar uma variância explicada igual ou superior a 60%.

Após a seleção, as cargas fatoriais passam por um processo de rotação e, embora existam alguns métodos, um dos mais empregados é o método da rotação ortogonal, 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; BELFIORE, 2017).

Após a conclusão das análises, as cargas fatoriais são avaliadas para compreender o papel de cada variável na contribuição da estrutura fatorial. Quando fatores aceitáveis são obtidos, atribui-se algum significado ao padrão revelado pelas cargas fatoriais relevantes. A partir dos fatores rotacionados extraídos, elabora-se o ranking de suscetibilidade à atividade do fogo, o ISFIQ.

De acordo com Fávero e Belfiore (2017), um dos métodos consiste na soma ponderada e ordenação. Neste enfoque, os fatores (aqueles com autovalores excedentes a um) são somados para cada município, sendo ponderados pelos respectivos percentuais de variância compartilhada. Posteriormente, os resultados são ordenados para estabelecer uma hierarquia da informações, e por fim, padronizou-se o ISFIQ para uma escala uniforme, ajustando os valores no intervalo de zero a um.

## 4. Resultados e discussão

### 4.1 Indicadores de suscetibilidade a focos de calor, incêndios e queimadas

A Tabela 2 mostra a extração de cinco fatores do modelo com autovalores maiores do que um, os quais explicaram 75,15% da variância dos dados. O modelo fatorial apresentou valor de KMO igual a 0,77, logo, a adequação da análise fatorial é considerada média. O resultado da estatística de Bartlett indica que, para o nível de significância de 1% e 136 graus de liberdade, a matriz de correlação de Pearson é estatisticamente diferente da matriz identidade de mesma dimensão, rejeitando-se a hipótese nula do teste.

---

<sup>2</sup> Implica que os fatores não estão relacionados linearmente.

Tabela 2 – Fatores principais da atividade do fogo no Ceará.

Fator	% da Variância	Variáveis Dominantes
Desenvolvimento Agropecuário (5,18)	30,48%	Imóveis Rurais +0,94 Pastagem +0,93 Ovinos +0,92 Lavouras +0,92 Caprinos +0,83 Bovinos +0,77
Indicadores Sociais e Econômicos (2,41)	14,21%	Pobreza +0,87 Analfabetismo +0,85 PIBpc -0,73
Assistência Social e Demografia (2,22)	13,08%	População +0,96 Bolsa Família +0,95
Exploração Vegetal (1,55)	9,16%	Carvão Vegetal +0,91 Lenha +0,77
Recursos Naturais e Economia (1,39)	8,22%	VABagropc +0,73 Madeira +0,61

Fonte: Autores (2024).

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

Dentre os fatores, o Desenvolvimento Agropecuário contempla o número de imóveis rurais, a área destinada às lavouras, pastagens, e o efetivo dos rebanhos de bovinos, caprinos e ovinos. O fator Indicadores Sociais e Econômicos é composto pela taxa de analfabetismo, pobreza e PIBpc, enquanto o fator Assistência Social e Demografia incorpora o número de beneficiários do PBF e a população. O quarto fator, Exploração Vegetal, agrega a quantidade produzida de carvão vegetal e de lenha, já o quinto, Recursos Naturais e Economia, abrange a quantidade produzida de madeira em tora e o VAB da agropecuária per capita.

Dada a composição dos fatores, o primeiro deles, o Desenvolvimento Agropecuário, explica 30,48% da variância total dos dados. Dessa forma, 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.

Para Coutinho *et al.* (2013), a pecuária apresenta maior estabilidade que as atividades agrícolas, pois muitas culturas requerem regularidade pluviométrica, o que pode ser desafiador no Ceará, 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 como meio de subsistência em períodos de seca.

Um desafio para a região seria a substituição das áreas de vegetação por novas áreas destinadas às lavouras e pastagens, o que agrava a ocorrência dos focos. Os possíveis canais seriam o uso do fogo para expansão direta destas áreas e um provável incremento no VAB da agropecuária, que, de acordo com o quinto fator, é relacionado com a ocorrência desses eventos.

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, observa-se relação direta entre esses indicadores e a suscetibilidade à ocorrência dos focos. 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 nestas regiões.

A Curva de Kuznets Ambiental (DINDA, 2004) explica que o desenvolvimento econômico inicialmente associado a baixos níveis de PIBpc intensifica a agricultura e a extração de recursos naturais, aumentando os indicadores de degradação ambiental (focos de calor). Em estágios avançados, a industrialização, os serviços, a consciência ambiental e as regulações amenizam essa degradação. Além disso, 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 a 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 e as ondas de calor. Ademais, os baixos níveis de alfabetização podem levar à falta de acesso a informações relevantes sobre como se proteger e lidar com as situações de calor extremo, o que aumenta a vulnerabilidade.

Para o terceiro fator, 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, logo, municípios populosos e com grande número de beneficiários do PBF podem colaborar com a fragilidade das localidades cearenses na ocorrência dos focos de calor, incêndios e queimadas.

No tocante ao demográfico, as cidades mais populosas tendem a apresentar mais focos, pois existe uma maior possibilidade em função da quantidade de habitantes presentes. Ao analisar os dados do censo populacional de 2022, cerca de 38% dos municípios cearenses tiveram queda populacional no período entre 2010 e 2022 (IBGE, 2023g). No entanto, apesar da variação na população, não há disponibilidade de dados que indiquem se a vulnerabilidade econômica aumentou nesse período.

Quanto aos beneficiários do PBF, destaca-se que as condições socioeconômicas dessas famílias podem influenciar a suscetibilidade dos municípios aos focos de calor. Isso pode estar relacionado às práticas domésticas, como o uso de carvão vegetal e lenha na cocção de alimentos, e a queima dos resíduos sólidos em regiões com ausência ou baixa coleta do lixo.

No quarto fator, intitulado Exploração Vegetal, nota-se que o percentual da variância explicada é de 9,16%, sendo composto pela produção de carvão vegetal e pela exploração de lenha municipal. Ao julgar o sinal das variáveis para o componente quatro, percebe-se a relação direta com o fator. No entanto, é importante ressaltar que nem todas as cidades são produtoras expressivas de carvão vegetal e de lenha, sendo a extração destas matérias-primas restrita a 147 municípios, conforme dados da Pesquisa Agrícola Municipal (IBGE, 2023e). Convém frisar que a produção e venda ilegal de madeira e carvão vegetal pode subnotificar os dados, e isso ocorre em áreas rurais ou em regiões vulneráveis, onde a população usa esses recursos para atividades domésticas.

O último fator aborda os recursos naturais e a economia, explicando 8,22% da variância total dos dados. Em atenção ao sinal das cargas fatoriais significantes, a produção de madeira e o VAB da agropecuária per capita têm relação direta com o fator. Dessa forma, os cinco fatores apresentados explicam, em conjunto, mais de 75% da variância total dos dados.

Apesar da importância do VAB do setor agropecuário, vale ressaltar que, em apenas dez municípios<sup>3</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 à variável madeira em tora, apenas 85 cidades são produtoras deste insumo (IBGE, 2023e). Embora a produção não seja expressiva em termos municipais, o desmatamento ilegal pode subestimar esses valores, realizado em pequenas proporções. Segundo o MapBiomass (2024), mais de 23 mil hectares foram desmatados no Ceará em 2023, o que demanda atenção, pois o desmatamento está associado a focos de calor, incêndios e queimadas.

## 4.2 Índice de suscetibilidade a focos de calor, incêndios e queimadas

Conforme a Figura 1 a seguir, o ISFIQ é 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). As tonalidades mais fortes denotam áreas com grande suscetibilidade a focos, incêndios e queimadas. Nota-se que as localidades mais propensas a esses eventos estão situadas no interior do Ceará, especificamente nas Regiões de Planejamento<sup>4</sup> do Sertão dos Inhamuns e Sertão de Crateús.

As cidades menos suscetíveis aos focos de calor e incêndios estão situadas 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. Já Fortaleza tem índice de 0,79, refletindo grande suscetibilidade da capital do estado à atividade do fogo.

Em Fortaleza, uma das áreas mais afetadas é o Parque Estadual do Cocó, o maior parque natural em área urbana da região Norte e Nordeste e o quarto maior da América Latina (SEMA, 2023b). 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. Como destacado por Ferreira Filho e Araújo (2021), tal problema vem sendo registrado desde 1999, com a estação dos incêndios florestais no parque indo de agosto a dezembro.

<sup>3</sup>Aratuba, Beberibe, Guaraciaba do Norte, Independência, Milhã, Missão Velha, São João do Jaguaribe, Tianguá, Ubajara, Varjota.

<sup>4</sup>Maiores detalhes sobre as regiões de planejamento do estado do Ceará podem ser vistos em IPECE (2023c).

As cidades de Tauá, Independência, Fortaleza, Morada Nova e Boa Viagem têm maior suscetibilidade aos focos de calor, incêndios e queimadas. Eusébio, São Gonçalo do Amarante, Maracanaú, Pacatuba e Itaitinga exibem menor vulnerabilidade a esses eventos, sendo localizadas na Grande Fortaleza.

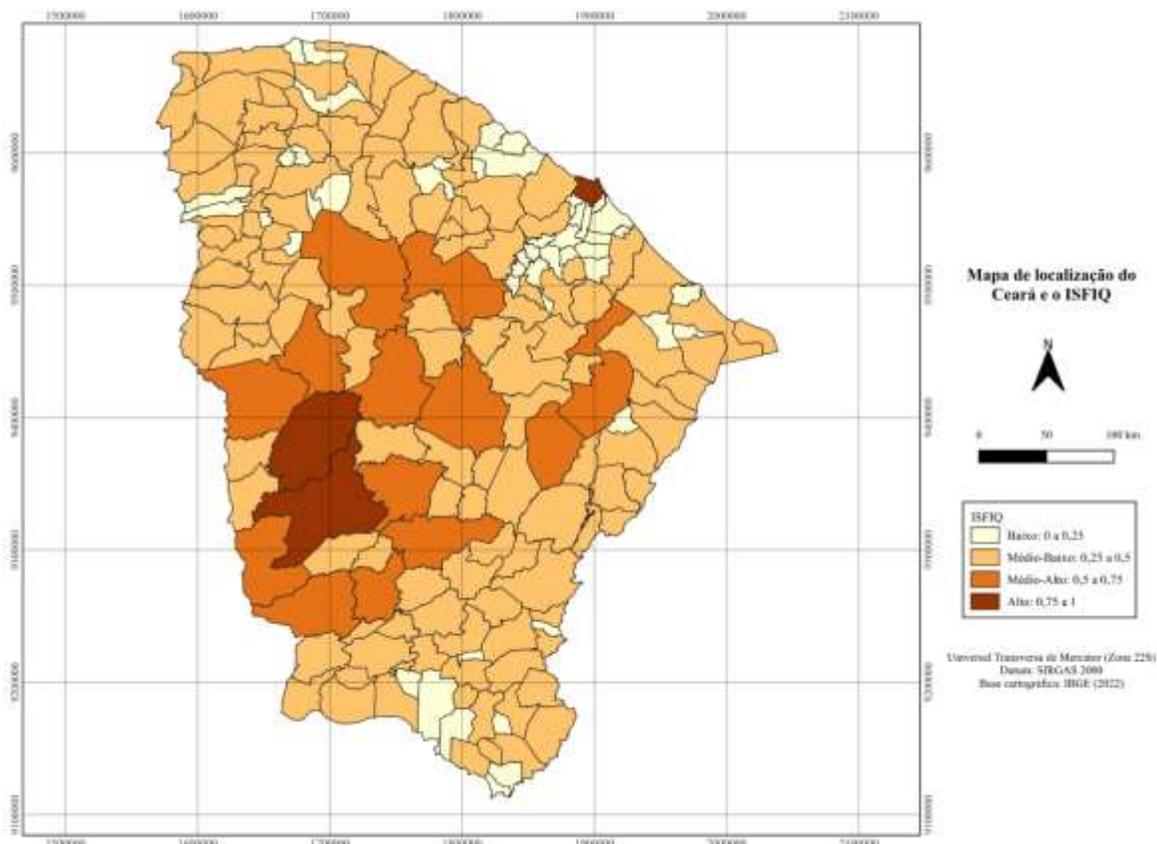


Figura 1 – Índice de Suscetibilidade a Focos de Calor, Incêndios e Queimadas, Ceará.  
Fonte: Autores (2024).

Uma outra forma de apresentar os índices pode ser vista na Tabela 3, que inclui a categorização do ISFIQ, o número de cidades por estrato, o percentual da população total e o percentual da população pobre. Assim, depreende-se que, com índices de suscetibilidade superiores a 0,75, estariam três municípios (Tauá, Independência, Fortaleza), que contemplam 30,80% da população 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 3 – Classificação do ISFIQ por Municípios e População.

ISFIQ	Total de Municípios	% da população (2021)	% da população pobre <sup>5</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: Autores (2024).

<sup>5</sup> Dados com base no censo populacional de 2010 (IBGE, 2023b).

No último estrato, em que os índices variam de 0 a 0,25, estão 45 cidades, com 16,58% da população e 12,48% da população mais pobre. Constata-se que o número de cidades com alta propensão a focos de calor e queimadas é pequeno (3), e que boa parte destas (121) apresenta riscos médio-baixo de ocorrência do fogo, concentrando um grande percentual da população pobre.

## 5. Considerações finais

Os resultados mostram que fatores agropecuários e socioeconômicos são relevantes para explicar a fragilidade dos municípios cearenses à ocorrência dos focos de calor, incêndios e queimadas. Em destaque, citam-se a área das lavouras e pastagens, o rebanho da pecuária, taxa de analfabetismo, população, pobreza, beneficiários do PBF, PIBpc, VAB da agropecuária, e extração de lenha e madeira em tora como os principais indutores da atividade do fogo no Ceará.

O Desenvolvimento Agropecuário abrange 30,48% da variância total dos dados. 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 na ocorrência dos focos de calor na região. Ademais, quanto ao ISFIQ, três cidades têm grande suscetibilidade ao fogo, sendo essas Tauá, Independência e Fortaleza. Dentre as de baixa suscetibilidade, citam-se Maracanaú, São Gonçalo do Amarante e Eusébio, que exhibe o melhor desempenho no índice. Ressalta-se que boa parte das cidades tem riscos médio-baixos aos focos de calor, incêndios e queimadas.

A pesquisa evidencia a necessidade de reforçar programas de combate e prevenção aos focos de calor e incêndios em áreas do Ceará mais suscetíveis. Isso requer o diálogo com gestores e comunidade para conscientizar sobre o uso inadequado do fogo e buscar alternativas para práticas como queimadas, desmatamento e limpeza de terrenos. Essas ações visam à preservação ambiental e ao desenvolvimento econômico local.

## Referências

- Baboin, L.; Berton, S.; Dunand, D.; Dutertre, Q. M.; Gilardi, S. Comparative approach of multi variate 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.
- CanoCrespo, 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.; Ganga, A.; Elia, M.; Lovreglio, R.; Giannico, V.; Spano, G.; *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.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Conheça Cidades e Estados do Brasil*. 2023a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 11/01/2024.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo 2010*. 2023b. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 11/01/2024.
- IBGE. 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: 11/01/2024.
- IBGE. 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: 11/01/2024.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Agrícola Municipal*. 2023e. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 11/01/2024.
- IBGE. 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: 11/01/2024.
- IBGE. 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: 11/01/2024.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Monitoramento dos Focos Ativos por Estado*. 2024a. Disponível em: [http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas\\_estados/](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas_estados/). Acesso em: 20/01/2024.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Situação Atual*. 2024b. Disponível em: [http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/situacao\\_atual/](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/situacao_atual/). Acesso em: 20/01/2024.
- IPECE. 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: 03/01/2024.
- IPECE. 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: 03/01/2024.
- IPECE. 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: 03/01/2024.
- MAPBIOMAS. *MapBiomás Alerta*. 2024. Disponível em: <https://alerta.mapbiomas.org/>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- Martínez, J.; Vega-García, 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: 15/12/2023
- MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. *Estatísticas*. 2023. Disponível em: <http://www3.mte.gov.br/geral/estatisticas.asp>. Acesso em: 15/12/2023.
- Morello, T.; Anderson, L.; Silva, S. Innovative fire policy in the Amazon: a statistical Hicks-Kaldor analysis. *Ecological Economics*, v. 191, 107248-107249, 2022.
- SEMA. Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima. *Sobre PREVINA*. 2023a. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/sobre-previna/>. Acesso em: 20/01/2024.
- SEMA. Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima. *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: 17/01/2024.
- SESA/CE. 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: 10/01/2024.
- Siegel, K. J.; Macaulay, L.; Shapero, M.; Becchetti, T.; Larson, S.; Mashiri, F. E.; *et al.* 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.
- SSPDS/CE. 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: 15/01/2024.
- SSPDS/CE. 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: 15/01/2024.
- SSPDS/CE. Secretaria da Segurança Pública e Defesa Social do Estado do Ceará. *Histórico*. 2023. Disponível em: <https://www.sspds.ce.gov.br/institucional/>. Acesso em: 11/01/2024.
- SUDENE. *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: 10/01/2024.
- 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.