



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E CONTABILIDADE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA - CAEN**

**WESLEY LEITÃO DE SOUSA**

**ENSAIOS SOBRE ECONOMIA, MEIO AMBIENTE E SAÚDE**

**FORTALEZA**

**2022**

WESLEY LEITÃO DE SOUSA

ENSAIOS SOBRE ECONOMIA, MEIO AMBIENTE E SAÚDE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia - CAEN da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Economia.

Orientador: Prof. Guilherme Diniz Irffi.

FORTALEZA

2022

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

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S698e Sousa, Wesley Leitão de.  
Ensaio sobre Economia, Meio Ambiente e Saúde / Wesley Leitão de Sousa. – 2022.  
114 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Programa de Pós-Graduação em Economia, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Prof. Dr. Guilherme Diniz Irff.
1. América do Sul. 2. Atividade Econômica. 3. Ceará. 4. Curva de Kuznets Ambiental. 5. Desenvolvimento Sustentável. I. Título.

CDD 330

---

WESLEY LEITÃO DE SOUSA

ENSAIOS SOBRE ECONOMIA, MEIO AMBIENTE E SAÚDE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia – CAEN da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Economia.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Guilherme Diniz Irffi (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (CAEN/UFC)

---

Prof. Dr. Luiz Ivan de Melo Castelar  
Universidade Federal do Ceará (CAEN/UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Kamila Vieira de Mendonça  
Universidade Federal do Ceará (LABOMAR/UFC)

---

Prof. Dr. Edward Martins Costa  
Universidade Federal do Ceará (PPGER/UFC)

---

Dr. Diego Rafael Fonseca Carneiro  
Economista UFC

A minha mãe, Marisa Ferreira Leitão, sem a  
senhora nada do que realizei teria sido possível.

## AGRADECIMENTOS

Antes de mais nada, gostaria de expressar meus agradecimentos a minha mãe, Marisa Ferreira Leitão por todo o carinho e valores pessoais a mim repassados. Agradeço ainda, ao meu avô materno, Edilson Leitão por todos os cuidados e apoio financeiro revertido na minha educação.

Gostaria ainda de agradecer a minha companheira, Ana Karine, por toda sua ajuda, alegria e paciência nesta reta final. Desde setembro de 2017 estamos juntos e desejo o melhor para o nosso futuro e relação.

Ao Professor Guilherme Irffí pela orientação na tese. A Professora Kamila Vieira de Mendonça que me acompanha desde a graduação, sem o seu incentivo certamente não estaria aqui.

Presto meus agradecimentos aos professores participantes da banca examinadora, Luiz Ivan de Melo Castelar, Kamila Vieira de Mendonça, Edward Martins Costa e Diego Rafael Fonseca Carneiro. Seus comentários e opiniões serão edificantes no desenvolvimento deste trabalho. Aos Professores, Ivan Castelar, Jair do Amaral, Manoel Bosco e Sebastião Carneiro pelos conhecimentos e experiências transmitidas no decorrer das disciplinas.

Agradeço também aos colegas da turma de mestrado do período 2017.1. Os cafés, conversas, e as horas de estudo foram fundamentais na superação de diversos pontos difíceis na pós-graduação.

Meus agradecimentos ao quadro de funcionários do CAEN. Em especial, ao Adelino e Kleber, pessoas que acompanham diariamente nossa rotina. Da mesma forma, agradeço a Universidade Federal do Ceará - UFC por concluir mais uma importante etapa em minha vida.

À FUNCAP, pelo apoio financeiro concedido pela bolsa de doutorado.

## RESUMO

Esta tese é composta de três ensaios sobre economia, meio ambiente e saúde. O primeiro dos artigos discute as causas relacionadas à ocorrência dos focos de calor na América do Sul a partir de dados anuais de 10 países, entre 2002 a 2018. Para tal, realizou-se uma extensa revisão de literatura dos trabalhos empíricos desta área a fim de elaborar um modelo abrangente, contendo diversas variáveis consideradas relevantes. As estimações via modelo binomial negativo apontaram que a relação entre os focos de calor e Produto Interno Bruto *per capita* ou focos de calor e Índice de Desenvolvimento Humano se dá na forma de “U-normal”, ou seja, estes indicadores podem acelerar a atividade dos focos de calor na região sul-americana. Para agravar a situação, a cobertura florestal, e o desemprego induzem a atividade do fogo na América do Sul e no recorte dos países Amazônicos. A partir desses resultados, são sugeridas políticas públicas para o combate e redução dos focos de calor no continente sul-americano. O segundo ensaio investiga a relação entre desenvolvimento socioeconômico e desmatamento dos remanescentes florestais da Mata Atlântica no estado do Ceará, utilizando a abordagem da Curva de Kuznets Ambiental (CKA) combinada com o modelo *tobit*. Para tal, a análise no período de 2011 a 2017, considerou o *PIBpc* e controlou por fatores associados tanto ao desmatamento quanto a proteção ambiental. Como resultado, obteve-se uma curva com formato de “N” entre desenvolvimento econômico e desmatamento, sugerindo que esta forma de degradação ambiental é um fenômeno cíclico na região. Ademais, identificou-se que 91,8% dos municípios amostrados estão abaixo do ponto de máximo, o que leva a preocupações ambientais, dado que o desenvolvimento econômico pode impulsionar o desmatamento na região. Desta forma, não se assegura que a atividade econômica por si só garanta a proteção ambiental e o uso sustentável da Mata Atlântica e ecossistemas associados no estado do Ceará. O terceiro e último realiza uma avaliação de impacto da infraestrutura das termelétricas I e II localizadas no Complexo Industrial e Portuário do Pecém sobre as internações hospitalares e óbitos dos municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante (SGA), no estado do Ceará. Utilizando o modelo de controle sintético no período de 2001 a 2019, os resultados apontaram o efeito médio positivo da intervenção sobre os óbitos por residência nas seguintes unidades analisadas, o Agregado Caucaia/SGA (21,83% ao ano) e Caucaia (23,80% ao ano). Ademais os óbitos estão distribuídos por causas gerais, doenças no aparelho circulatório, respiratório, entre homens, mulheres e na população acima dos 60 anos ou não. No município de SGA não foram observados efeitos significantes, apesar de inesperado, este resultado precisa ser avaliado com cautela, pois existem limitações quanto ao escopo deste estudo. A pesquisa contribui para a

literatura teórica que investiga as externalidades negativas advindas da infraestrutura do complexo, bem como, fornece uma agenda para novos estudos que avaliem a perda de capital humano na região.

**Palavras-chave:** América do Sul; Atividade Econômica; Ceará; Curva de Kuznets Ambiental; Degradação Ambiental; Desenvolvimento Sustentável.

**Código JEL:** C23; I15; Q56



## ABSTRACT

This thesis is composed of three essays on economy, environment and health. The first of the articles discusses the causes related to the occurrence of hotspots in South America based on annual data from 10 countries, between 2002 and 2018. To this end, an extensive literature review of empirical works in this area was carried out in order to elaborate a comprehensive model, containing several variables considered relevant. The estimations, carried out via negative binomial model, revealed that the relationship between hotspots and Gross Domestic Product per capita or hotspots and Human Development Index takes the form of "U-normal", that is, these indicators can accelerate the activity of hotspots in the South American region. To make the situation worse, forest cover, population density and unemployment induce fire activity in South America and in the Amazonian countries. From these results, public policies are suggested to combat and reduce hotspots in the South American continent. The second essay investigates the relationship between socioeconomic development and deforestation of Atlantic Forest remnants in the state of Ceará, using the Environmental Kuznets Curve (EKC) approach combined with the tobit model. To this end, the analysis in the period from 2011 to 2017 considered the GDPpc and controlled for factors associated with both deforestation and environmental protection. As a result, an "N" shaped curve was obtained between economic development and deforestation, suggesting that this form of environmental degradation is a cyclical phenomenon in the region. In addition, it was identified that 91.8% of the sampled municipalities are below the maximum point, a point that leads to environmental concerns, given that economic development can drive deforestation in the region. In this way, it is not guaranteed that the economic activity alone guarantees the environmental protection and sustainable use of the Atlantic Forest and associated ecosystems in the state of Ceará. The third and last one carries out an impact assessment of the infrastructure of thermoelectric plants I and II located in the Industrial and Port Complex of Pecém on hospital admissions and deaths in the municipalities of Caucaia and São Gonçalo do Amarante (SGA), in the state of Ceará. Using the synthetic control model in the period from 2001 to 2019, the results showed the average positive effect of the intervention on deaths per residence in the following analyzed units, the Caucaia/SGA Aggregate (21.83% per year) and Caucaia (23.80% per year). In addition, deaths are distributed by general causes, diseases in the circulatory and respiratory systems, among men, women and in the population over 60 years of age or not. In the municipality of SGA, no significant effects were observed, although unexpected, this result needs to be evaluated with caution, as there are limitations regarding the scope of this study. The research contributes to

the theoretical literature that investigates the negative externalities arising from the infrastructure of the complex, as well as provides an agenda for new studies that assess the loss of human capital in the region.

**Keywords:** South America; Economic Activity; Ceará; Environmental Kuznets Curve; Environmental Degradation; Sustainable Development.

**JEL Code:** C23; I15; Q56

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - América do Sul: países Amazônicos e não-Amazônicos .....	28
Figura 2 - Relação entre aspectos naturais, indicadores antrópicos e focos de calor .....	30
Figura 3 - Evolução dos focos na América do Sul e países Amazônicos, 2002 a 2018 ....	32
Figura 4 - Acumulado mensal dos focos de calor na América do Sul e países Amazônicos .....	33
Figura 5 - Densidade média anual dos focos ativos de calor entre 2002 e 2018 .....	33
Figura 6 - Matriz de correlação entre as variáveis explicativas .....	35
Figura 7 - Municípios cearenses monitorados pelo programa “Aqui tem Mata?” .....	49
Figura 8 - Matriz de correlação entre as variáveis explicativas .....	55
Figura 9 - Desmatamento acumulado e cobertura da mata nativa no estado do Ceará ....	56
Figura 10 - Curva de Kuznets Ambiental para o desmatamento dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais no Ceará, 2011-2017 .....	61
Figura 11 - Complexo Industrial e Portuário do Pecém .....	68
Figura 12 - Localização dos municípios de Caucaia e SGA no estado do Ceará, Brasil .....	74
Figura 13 - Fluxograma de classificação das variáveis de resposta .....	75
Figura 14 - Recorte temporal máximo das variáveis .....	76
Figura 15 - Distribuição de frequência do RMSPE pré-tratamento nos 22 casos avaliados.	81
Figura 16 - Mediana das diferenças percentuais do Agregado tratado em relação ao controle sintético .....	84
Figura 17 - Mediana das diferenças percentuais de Caucaia tratada em relação ao controle sintético .....	86

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese dos trabalhos que considera a CKA e/ou o Desmatamento .....	47
Quadro 2 - Descrição das variáveis e as fontes dos dados .....	50
Quadro 3 - Aspectos Ambientais Impactados pela Construção do CIPP .....	69
Quadro 4 - Informações gerais da base de dados .....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista e comportamento das variáveis relevantes na ocorrência dos focos de calor .....	27
Tabela 2 - Modelo Binomial Negativo para dados em painel .....	31
Tabela 3 - Resultados dos Focos de Calor para a América do Sul e Países Amazônicos via <i>PIBpc</i> .....	36
Tabela 4 - Resultados dos Focos de Calor para a América do Sul e Países Amazônicos IDH .....	38
Tabela 5 - Resumo da CKA aplicada aos focos de calor .....	39
Tabela 6 - Estatísticas descritivas, 2011-2017.....	55
Tabela 7 - Resultados sobre o desmatamento dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais no Ceará, 2011-2017 .....	59
Tabela 8 - Estatísticas descritivas por perfil das unidades (2013) .....	80
Tabela 9 - Proporção de efeitos positivos e negativos em indicadores de saúde .....	82
Tabela 10 - Efeitos sobre os indicadores de saúde no Agregado .....	82
Tabela 11 - Resultados compilados para o Agregado .....	83
Tabela 12 - Efeitos sobre os indicadores de saúde do município de Caucaia .....	84
Tabela 13 - Resultados compilados para o município de Caucaia .....	85

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEDE	Análise Exploratória de Dados
AGRO	Número de cabeças de animais a cada $km^2$
AGRI	Percentual da área dos países destinada as atividades agrícolas
ÁGUA	Proporção do tamanho dos corpos hídricos continentais em relação a área dos países
AIC	<i>Akaike Information Criterion</i>
AID	Área de Influência Direta
AII	Área de Influência Indireta
AL	Alagoas
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
AVC	Acidente Vascular Cerebral
AVCI	Acidente Vascular Cerebral Isquêmico
BA	Bahia
BOV	Bovinocultura
CKA	Curva de Kuznets Ambiental
CE	Ceará
CEpc	Consumo de Energia Elétrica Municipal pc
CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CID	Classificação Internacional de Doenças
CIPP	Complexo Industrial e Portuário do Pecém
COVS	Compostos Orgânicos Voláteis
CSP	Companhia Siderúrgica do Pecém
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil
DES	% da população desempregada
DESM	Desmatamento
DPOP	Densidade Populacional
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMP	% da população empregada
Emp.primário	Empregos formais no setor primário da economia
ENEL	<i>Ente Nazionale per l'energia elettrica</i>

ES	Espírito Santo
ESEC	Estação Ecológica
ESF	Estratégia de Saúde da Família
<i>et al.</i>	<i>et alii</i>
FASTEF	Fundação de Apoio a Serviços Técnicos, Ensino e Fomento a Pesquisas
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FLORE	Proporção da área dos países coberta por florestas
FPM	Fundo de Participação Municipal
FOB	<i>Free On Board</i>
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GEE	Gases de Efeito Estufa
GO	Goiás
HCs	Hidrocarbonetos
H2V	<i>HUB</i> de Hidrogênio Verde
<i>i.i.d</i>	Independente e identicamente distribuída
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IGP-DI	Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna
ILO	<i>International Labour Organization</i>
IMF	<i>International Monetary Fund</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LR	<i>Likelihood Ratio</i>
MA	Maranhão
MATOPIBA	Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
MG	Minas Gerais
MI	Ministério da Integração
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MP	Material Particulado
MP <sub>2,5</sub>	Material Particulado com diâmetro < 2,5 $\mu$ m
MP <sub>10</sub>	Material Particulado com diâmetro < 10 $\mu$ m
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários

MS	Mato Grosso do Sul
MT	Mato Grosso
MTB	Ministério do Trabalho
NBFE	<i>Negative Binomial Fixed Effects</i>
NBRE	<i>Negative Binomial Random Effects</i>
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
PB	Paraíba
pc	<i>Per capita</i>
PE	Pernambuco
PI	Piauí
PIB	Produto Interno Bruto
<i>PIBpc</i>	Produto Interno Bruto <i>per capita</i>
$(PIBpc)^2$	Produto Interno Bruto <i>per capita</i> ao quadrado
$(PIBpc)^3$	Produto Interno Bruto <i>per capita</i> ao cubo
PMV	Pseudo-Máxima Verossimilhança
PPC	Paridade do Poder de Compra
PPM	Pesquisa da Pecuária Municipal
PR	Paraná
PRECI	Precipitação total anual observada
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
RJ	Rio de Janeiro
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
RMSPE	<i>Root Mean Squared Prediction Error</i>
RN	Rio Grande do Norte
RS	Rio Grande do Sul
RSA	Região Semiárida
RT	Receita Tributária
SC	Santa Catarina
SE	Sergipe
SEFAZ/CE	Secretaria da Fazenda do Estado do Ceará
SEP/PR	Secretaria Especial dos Portos da Presidência da República



SESA	Secretaria da Saúde do Estado do Ceará
SGA	São Gonçalo do Amarante
SICONFI	Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público
SIOPS	Sistema de Informações sobre Orçamentos Públicos em Saúde
SIRGAS	Sistema Internacional de Referência Terrestre
SP	São Paulo
STN	Secretaria do Tesouro Nacional
SUS	Sistema Único de Saúde
TEMP	Mudança Anual de Temperatura
TIC	Terminal Intermodal de Cargas
UC	Unidades de Conservação
UFs	Unidades Federativas
UTE I e II	Usinas Termelétricas I e II
UNDP	<i>United Nations Development Programme</i>
<i>VAB<sub>pc</sub></i>	<i>VAB per capita</i>
<i>VAB<sub>pc</sub><sup>agro</sup></i>	<i>VAB da agropecuária per capita</i>
<i>VPE<sub>pc</sub></i>	<i>Valor da Produção Extrativista per capita</i>
ZA	Zona de Amortecimento
ZINB	<i>Zero-Inflated Negative Binomial</i>
ZIP	<i>Zero-Inflated Poisson</i>
ZPE	Zona de Processamento de Exportação

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus <i>Celsius</i>
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Gás Carbônico
CO <sub>2</sub> pc	Gás Carbônico <i>per capita</i>
Δ%	Varição percentual
GWh	<i>Gigawatt</i> -hora
ha	Hectares
hab/km <sup>2</sup>	Habitantes a cada quilômetro quadrado
km	Quilômetro
km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
km/km <sup>2</sup>	Densidade de infraestrutura (ferrovia, rodovia) a cada quilômetro quadrado
mm	Milímetros
MWh	<i>Megawatt</i> -hora
μm	Micrometro
μg/m <sup>3</sup>	Micrograma a cada metro cúbico
Nº	Número
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrogênio
O <sub>3</sub>	Gás Ozônio
PIB/km <sup>2</sup>	<i>PIB</i> a cada quilômetro quadrado
R\$	Reais
SO <sub>x</sub>	Óxidos de Enxofre
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre
US\$	Dólar Americano
%	Porcentagem

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	19
<b>Capítulo 1 FOCOS DE CALOR E QUEIMADAS NA AMÉRICA DO SUL: EVIDÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS A PARTIR DE DADOS EM PAINEL, 2002 A 2018 .....</b>	<b>23</b>
1 INTRODUÇÃO .....	23
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	25
3 METODOLOGIA .....	28
3.1 Área de Estudo .....	28
3.2 Focos de Calor .....	29
3.3 Variáveis Explicativas .....	29
3.4 Estratégia Empírica .....	30
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	32
4.1 Análise Descritiva dos Dados .....	32
4.1.1 <i>Série Temporal dos Focos de Calor</i> .....	32
4.1.2 <i>Variáveis Explicativas</i> .....	34
4.2 Análise dos Resultados: América do Sul e Países Amazônicos .....	35
4.3 Discussões e Implicações dos Focos de Calor .....	37
5 CONCLUSÕES .....	40
<b>Capítulo 2 DESMATAMENTO DE MATA ATLÂNTICA NO ESTADO DO CEARÁ: ANÁLISES DA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL A PARTIR DE DADOS EM PAINEL, 2011 A 2017 .....</b>	<b>42</b>
1 INTRODUÇÃO .....	42
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	44
2.1 A literatura empírica sobre a CKA com foco em desmatamento .....	44
3 METODOLOGIA .....	48
3.1 Base de Dados .....	48
3.2 Modelo Empírico .....	50
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	54
4.1 Análise Descritiva dos Dados .....	54
4.2 Análise sobre o desmatamento acumulado e mata nativa remanescente ....	55
4.3 Estimativas para a Curva de Kuznets Ambiental .....	57

5	CONCLUSÕES .....	62
Capítulo 3	<b>EFEITOS LOCAIS DA CONSTRUÇÃO DO COMPLEXO INDUSTRIAL E PORTUÁRIO DO PECÉM EM INDICADORES DE SAÚDE DOS MUNICÍPIOS DE CAUCAIA E SÃO GONÇALO DO AMARANTE, CEARÁ - BRASIL .....</b>	<b>64</b>
1	INTRODUÇÃO .....	64
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	67
2.1	O Complexo Industrial e Portuário do Pecém .....	67
2.2	Efeitos da poluição atmosférica em indicadores de saúde .....	70
3	METODOLOGIA .....	74
3.1	Área de Estudo .....	74
3.2	Base de Dados .....	75
3.3	Controle Sintético .....	77
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	80
4.1	Efeitos locais da construção do CIPP: estatísticas descritivas .....	80
4.2	Efeitos locais da operação da UTE Pecém I e II sobre os indicadores de saúde .....	81
4.2.1	<i>Resultados da avaliação no Agregado (Caucaia e SGA) .....</i>	<i>82</i>
4.2.2	<i>Resultados da avaliação no município de Caucaia .....</i>	<i>84</i>
4.2.3	<i>Resultados da avaliação no município de Caucaia .....</i>	<i>86</i>
4.2.4	<i>Teste de Placebo Temporal .....</i>	<i>86</i>
4.3	Discussão dos Resultados .....	87
5	CONCLUSÕES .....	89
	CONCLUSÃO GERAL .....	91
	REFERÊNCIAS .....	94
	APÊNDICE A - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS, 2002-2018 .....	105
	APÊNDICE B - LISTA DE TABULAÇÃO PARA MORBIDADE .....	107
	APÊNDICE C - CLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS RESPOSTA .....	108
	APÊNDICE D - EFEITOS SOBRE OS INDICADORES DE SAÚDE .....	109
	APÊNDICE E - TESTE DE PLACEBO TEMPORAL .....	112

## INTRODUÇÃO GERAL

Desde a década de 1970 existe uma atenção quanto ao desenvolvimento socioeconômico e uso sustentável dos recursos naturais do planeta, sendo este o núcleo de inúmeras conferências ambientais<sup>1</sup>. A origem da preocupação se estabelece em meio as incertezas sobre a capacidade de suporte da terra e especificamente da manutenção da biodiversidade, sobrecarga de uso dos recursos naturais e o bem-estar intergeracional.

Neste sentido, o conceito de bem-estar social e desenvolvimento vem sendo modificado ao longo das décadas. A busca por conceitos-chaves iniciou com o Produto Interno Bruto (PIB), que costuma ser considerado o melhor indicador do desempenho da economia. Em debates sobre essas questões, se incluíram indicadores educacionais e de saúde, avaliando de forma geral o desenvolvimento humano das nações (DANG e PHENG, 2015). Mais adiante, viu-se que a negligência ao longo dos anos com os ativos ambientais<sup>2</sup> colocava em risco a intensidade e duração do crescimento das atividades econômicas e não-econômicas.

Assim, no início dos anos 2000 estabeleceram-se os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), um conjunto de oito metas<sup>3</sup> adotadas por países membros das Nações Unidas (UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME – UNDP, 2021a). Em 2015, baseado em seu precursor, surge um novo marco para o desenvolvimento, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)<sup>4</sup> (UNDP, 2021b), que visam contornar os problemas ambientais oriundos da atividade humana desordenada até o ano de 2030.

Em face aos problemas ambientais, cita-se especificamente o desmatamento ilegal, derramamento de petróleo nos oceanos, disposição irregular de resíduos sólidos, extração ilegal de areia, mudanças climáticas, queimadas e rejeitos da mineração. Atividades que de forma geral, se alinham a degradação/poluição atmosférica, hídrica e dos solos.

---

<sup>1</sup> Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano realizada em 1972 na cidade de Estocolmo (Suécia); Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada em 1992 na cidade do Rio de Janeiro; Rio+5; Objetivos do Desenvolvimento do Milênio; Rio+10, Rio+20 e por último na Agenda 2030.

<sup>2</sup> São todos os bens e direitos possuídos pelas firmas que possuem capacidade de gerar benefícios econômicos, visando a preservação, proteção e recuperação do meio ambiente (RIBEIRO, 2010).

<sup>3</sup> Os ODM com vigência até 2015 abordavam problemas relacionados a pobreza, fome, educação universal primária, igualdade de gênero, saúde infantil, *AIDS*, sustentabilidade ambiental e parceira global.

<sup>4</sup> São 17 os ODS: erradicação da pobreza (1), fome zero e agricultura sustentável (2), saúde e bem-estar (3), educação de qualidade (4), igualdade de gênero (5), água potável e saneamento (6), energia limpa e acessível (7), trabalho crescente e crescimento econômico (8), indústria, inovação e infraestrutura (9), redução das desigualdades (10), cidades e comunidades sustentáveis (11), consumo e produção responsáveis (12), ação contra a mudança global do clima (13), vida na água (14), vida terrestre (15), paz, justiça e instituições eficazes (16), parcerias e meios de implementação (17).

No contexto citado, o Brasil por sua dimensão continental é alvo frequente dos impactos ambientais e sociais oriundos das atividades antrópicas. Assim, quando o valor econômico das atividades ilegais supera os custos (multas por danos ao meio ambiente), os agentes sentem-se encorajados a permanecer na ilegalidade. Exemplifica-se com, as elevadas taxas de desmatamento nos biomas Amazônico e Cerrado, motivada sobretudo pela expansão da fronteira agrícola nestas regiões, e das atividades ilegais madeireira e mineradora, elementos presentes no ODS 15, *Vida Terrestre*.

Além disso, parte da agenda ambiental se esteia com a repercussão internacional dos focos de calor, incêndios e queimadas<sup>5</sup> na América do Sul, com ênfase na Amazônia e Pantanal brasileiros. Comenta-se ainda, os problemas cardiovasculares e respiratórios oriundos da poluição atmosférica por gases industriais, veiculares e danos à saúde provenientes da fumaça das queimadas, elementos vistos nos ODS de *Saúde, Energia Limpa e Acessível, Cidades Sustentáveis, Produção Responsável e Vida na Terra* (ODS 3, 7, 11, 12 e 15). Por fim, ao final de 2019 ocorreu a maior tragédia ambiental por derramamento de óleo no Brasil.

Para tais danos e passivos ambientais, custos econômicos, financeiros e sociais são originados das atividades antrópicas descuidadas ou propositais. Na Amazônia Legal, é visto um aumento na área desmatada desde 2017, com recorde em 2022 para os últimos 15 anos (INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA – IMAZON, 2022). Para os focos de calor na Amazônia Legal, o ano de 2022 já supera 2021 em 53%. As implicações reverberam na preservação da floresta, pois segundo o Relatório de Avaliação da Governança do Fundo Amazônia Exercida pelo Ministério do Meio Ambiente (CONTROLADORIA GERAL DA UNIÃO – CGU, 2022), a Alemanha e Noruega paralisaram os repasses ao Fundo Amazônia até que o Brasil reduzisse o desmatamento em curso na região, uma perda de recursos na ordem de 20 bilhões de dólares no período de 2009 a 2018.

Na poluição atmosférica, dados da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2022) mostram que 99% da população mundial respira ar que excede os limites das diretrizes da OMS, com os países de baixa e média renda expostos a maiores níveis de poluição. Quanto as despesas, estima-se que até 2060, o custo global da inação da poluição do ar aumente gradualmente para 1% do PIB global, com grandes perdas na China, região do Cáspio (Ásia Ocidental) e Europa Oriental (LANZI, DELLINK e CHATEAU, 2018).

---

<sup>5</sup> Focos de calor não são necessariamente um foco de fogo ou um incêndio e sim qualquer temperatura acima de 47°C. Incêndios florestais são associados a um fogo sem controle que incide em qualquer tipo de vegetação, já as queimadas são relacionadas as práticas agropecuária ou florestal.

Com esteio nestas discussões, esta Tese se propõe a estudar a relação entre atividade econômica, indicadores de saúde e de degradação ambiental, considerando bases de dados em duas análises para municípios cearenses e uma análise para os países sul-americanos com observações a partir do século XXI.

O primeiro capítulo versa sobre a ocorrência dos *Focos de calor e queimadas na América do Sul: evidências humanas e naturais a partir de dados em painel, 2002 a 2018*. A análise concentra-se sob a literatura científica que relaciona causas antrópicas e naturais a ocorrência dos focos de calor na América do Sul, sob o escopo do *PIBpc* e do *IDH*. Ao todo, foram identificados 25 fatores que elevam ou suavizam a ocorrência dos focos de calor e queimadas. Da relação entre atividade econômica e registro dos focos de calor, conclui-se formato de “U-normal”, ou seja, a produção dos bens e serviços eleva os focos de calor após a quantidade mínima dos focos de calor (ponto de inflexão). De forma complementar, a cobertura florestal e o desemprego favorecem a ocorrência dos focos de calor. Por fim, com suporte nesses resultados propõem-se políticas públicas ambientais para o combate e redução dos focos de calor na América do Sul e na Amazônia Internacional.

No segundo capítulo, *Desmatamento de Mata Atlântica no estado do Ceará,,: análises da Curva de Kuznets Ambiental a partir de dados em painel, 2011 a 2017*, averigua-se a hipótese da CKA entre a atividade econômica e desmatamento municipal de Mata Atlântica e ecossistemas associados no estado do Ceará. O estudo contribui para literatura empírica que investiga o tema, pois dado a heterogeneidade da CKA não existe um formato consolidado para a curva. Além desse fato, as pesquisas empíricas focalizam regiões com limites da Amazônia e Cerrado, ou seja, não existem evidências científicas para o estado do Ceará, no que diz respeito a Caatinga e Mata Atlântica. Desta forma, a relação sustentável entre a atividade econômica local e desmatamento não é validada pela hipótese da CKA, e sim, pelo formato de “N”, denotando que o fenômeno do desmatamento é cíclico na região.

No terceiro capítulo, *Efeitos locais da construção do Complexo Industrial e Portuário do Pecém em indicadores de saúde dos municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante, Ceará - Brasil*, avalia-se o impacto da operação das Usinas Termelétricas I e II (UTE I e II) presentes no CIPP sobre as internações hospitalares e óbitos dos municípios cearenses de Caucaia e SGA. O estudo empírico é importante para compreender a relação entre a atividade econômica local e aspectos de saúde, além de complementar a literatura teórica que avalia os efeitos da instalação do conglomerado na saúde ambiental. Diante das evidências, os efeitos do funcionamento das UTE I e II são melhor observados no Agregado de Caucaia/SGA e na análise

individual para Caucaia, em que as unidades tratadas experimentam um aumento nos óbitos por local de residência no período pós-intervenção.

Por fim, apresentam-se as conclusões desta Tese e sugestões para futuras pesquisas, bem como recomendações de políticas ambientais para a promoção do desenvolvimento sustentável cearense e nacional.



## **CAPÍTULO 1 - FOCOS DE CALOR E QUEIMADAS NA AMÉRICA DO SUL: EVIDÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS A PARTIR DE DADOS EM PAINEL, 2002 A 2018<sup>6</sup>**

### **1 INTRODUÇÃO**

A transformação do debate sobre as queimadas na Amazônia e Pantanal em um assunto internacional conduziram a novas reflexões sobre a atividade do fogo na América do Sul e nos países Amazônicos<sup>7</sup>. Para se ter uma dimensão, desde 1998 até 2020 foram observados 8,40 milhões de focos de calor na América do Sul, com 60,40% destas ocorrências associadas ao Brasil<sup>8</sup>, enquanto, os demais países individualmente registram uma fração inferior a 10% do total observado (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2021).

No biênio 2019/2020, a imprensa mundial repercutia a situação das queimadas na América do Sul e em especial sobre a Amazônia brasileira e Pantanal. Em agosto de 2019, comemorava-se o “dia do fogo”, data alusiva aos crimes ambientais imputados a agentes ligados ao setor agropecuário. Em 2020, o cenário se repetiria e de janeiro a dezembro somavam-se 458 mil focos de calor na América do Sul, com a maioria destes (74%) relativos aos países Amazônicos (INPE, 2021).

Na discussão entre focos de calor e queimadas é normal a confusão no uso dos dois termos, o primeiro é um importante indicador para o monitoramento das possíveis queimadas. Por outro lado, a área das queimadas expressa a extensão dos danos sobre o meio ambiente e sistemas humanos. No Brasil, em 2019 foram registrados 103.161 focos no bioma Amazônico e uma área queimada de 72.501  $km^2$ , já no Cerrado foram registrados 63.819 focos e uma área queimada de 148.648  $km^2$ , o dobro da área queimada na Amazônia (INPE, 2021). Portanto, os focos de calor são relevantes para o monitoramento rotineiro, permitindo que brigadas contra incêndios atuem em tempo real, impedindo que o fogo tome grandes proporções.

Devido aos problemas causados por focos de calor, incêndios e queimadas mundiais, inúmeros estudos investigam os antecedentes da atividade do fogo, que são relacionados a causas antrópicas e naturais. Os aspectos naturais compreendem a hidrologia, meteorologia, topografia e vegetação (ANDERSEN e SUGG, 2019; BOUBETA *et al.*, 2019; MURTHY *et al.*,

---

<sup>6</sup> Artigo apresentado na Anpec Sul 2020, para mais detalhes, ver [aqui](#). Agradecemos os comentários e sugestões de Ana Karine J. Costa, Angélica Caitano, Isabela Sales, Larissa Carneiro, Larissa Mota, Letícia Feitosa, Moisés Dias e Pedro Veloso.

<sup>7</sup> Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname e Venezuela.

<sup>8</sup> 30% dos focos de calor foram registrados na Amazônia brasileira entre 1998 e 2020.

2019). As atividades humanas, por sua vez, reúnem a agropecuária, a demografia, a educação, a infraestrutura e os indicadores econômicos (BOUBETA *et al.*, 2015; CHEN *et al.*, 2014; GUO *et al.*, 2016a; MICHETTI e PINAR, 2019; PRESTEMON *et al.*, 2019; SU *et al.*, 2019a; VADREVU, EATURU e BADARINATH, 2006).

Em face ao apresentado, o objetivo geral é identificar os principais indicadores antrópicos e naturais associados à ocorrência dos focos de calor na América do Sul e nos países Amazônicos para o período de 2002 a 2018. Em termos específicos, esse artigo apresenta uma extensa revisão de literatura dos trabalhos empíricos desta área, condensando informações sobre o meio biofísico, uso da terra, demografia e economia dos países sul-americanos.

Com essa proposta, espera-se que a presente pesquisa contribua para o desenho de políticas ambientais de controle e redução dos focos de calor e queimadas, bem como, levante reflexões acerca dos resultados obtidos da execução das políticas anteriores. Além disso, a elaboração deste trabalho se justifica nos pilares econômico e ambiental. No aspecto ambiental, as queimadas geram externalidades negativas que atingem os ecossistemas terrestres, inviabilizando a manutenção dos serviços ecossistêmicos relacionados a produção de alimentos, madeira e combustível; conservação e regulação da água; retenção de nutrientes; sequestro de carbono; proteção da biodiversidade; regulação climática; ecoturismo; valores espirituais e tradicionais (AZNAR-SÁNCHEZ *et al.*, 2018).

Na esfera econômica, os incêndios e queimadas podem incorrer em diversos custos sociais. Na saúde, a fumaça das queimadas pode agravar doenças cardiovasculares e do aparelho respiratório, gerando custos econômicos. No mercado de trabalho, os danos se estendem as propriedades privadas e trabalhadores afetados pela atividade do fogo. Nos acordos comerciais, podem ser comprometidas parcerias atuais e futuras entre países ou blocos econômicos, além disso, podem ser impostas barreiras comerciais a exportação de produtos.

Portanto, para alcançar esses objetivos, optou-se por dividir o artigo em cinco seções, incluindo essa introdução. A próxima dedica-se a expor os aspectos naturais e as atividades humanas para a ocorrência dos focos de calor e incêndios. A fonte e descrição dos dados, bem como o modelo empírico, são apresentadas na terceira seção. Em seguida, são expostos, discutidos e analisados os resultados. Por fim, são apresentadas as conclusões.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A literatura que relaciona focos de calor a causas humanas e naturais é extensa e complexa. De forma simplificada, a atividade do fogo ocorre da combinação de fatores antrópicos e das características biofísicas que potencializam ou suavizam a ocorrência dos focos de calor e queimadas. Assim, a síntese destes fatores inicia-se com o meio biofísico, que se conecta à ocorrência dos focos por meio da hidrologia, meteorologia, topografia e vegetação.

A relação entre o fogo e hidrologia é investigada por meio da distância euclidiana dos dados georreferenciados dos focos de calor e corpos hídricos (ARGAÑARAZ *et al.*, 2015; SONG *et al.*, 2017; MURTHY *et al.*, 2019). Neste ponto, Cardille *et al.* (2001) argumentam que os incêndios são menos propensos a queimar em curtas distâncias dos corpos d'água, devido ao ambiente úmido próximo a estes locais, propiciando uma região imprópria para incêndios. Desta forma, corpos hídricos são elementos que suavizam a ocorrência dos focos de calor.

Das condições meteorológicas, a ação dos ventos (AGEE, 1993; COSTAFREDA-AUMEDES *et al.*, 2017), a baixa precipitação (COSTAFREDA-AUMEDES *et al.*, 2017; MURTHY *et al.*, 2019; SU *et al.*, 2019a), a baixa umidade relativa do ar (PRESTEMON *et al.*, 2019; XIAO *et al.*, 2015; ZHANG e LIM, 2019), as descargas elétricas (MANN *et al.*, 2016) e as temperaturas média e máxima (MICHETTI e PINAR, 2019; MURTHY *et al.*, 2019; SU *et al.*, 2019a; SU *et al.*, 2019b; ZHANG e LIM, 2019) favorecem os focos de calor e incêndios. Em sentido contrário, a temperatura mínima reduz estes eventos (SONG *et al.*, 2017).

Em relação à topografia, regiões de menor altitude (GUO *et al.*, 2016a; ANDERSEN e SUGG, 2019) e com menor inclinação do terreno (NARAYANARAJ e WIMBERLY, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2014) propiciam os focos e incêndios humanos. Entretanto, estas considerações dependem da origem dos pontos de ignição, González-Olabarria *et al.* (2015) ratificam que incêndios associados a queima das pastagens e atividades florestais são localizados em regiões montanhosas. Por outro lado, incêndios criminosos (VASCONCELOS *et al.*, 2001) ou causados por negligência (JUAN *et al.*, 2012; SERRA *et al.*, 2013) ocorrem com mais frequência em declives planos ou moderados.

A vegetação tem relação direta aos focos de calor por causas antrópicas e naturais (ANDERSEN e SUGG, 2019; ELIA *et al.*, 2019; PRESTEMON *et al.*, 2019). Andersen e Sugg (2019) argumentam que as florestas proveem combustível para os incêndios, o que se opõe às regiões desenvolvidas que dispõem de menos material inflamável. Os campos, caracterizados pela presença das herbáceas, gramíneas e pequenos arbustos, são amplamente relacionados com a geração dos focos de calor e incêndios (BOUBETA *et al.*, 2019; ELIA *et al.*, 2019).

Em relação as ações antrópicas, destaca-se a conexão entre o uso da terra e incêndios florestais (BOUBETA *et al.*, 2015; ELIA *et al.*, 2019; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, CHUVIECO e KOUTSIAS, 2013; MORELLO *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2012). Na agricultura, as queimadas intencionais são empregadas no gerenciamento e restauração das pastagens, práticas de pousio, e em conflitos criminosos ou atos de vandalismo. Por outro lado, os incêndios não intencionais são originados das atividades agrícolas descuidadas (MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, CHUVIECO e KOUTSIAS, 2013; MORELLO *et al.*, 2020).

Na pecuária, a atividade do fogo é crucial para a ampliação do pasto para o rebanho animal (BOUBETA *et al.*, 2015; MORELLO *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2012). Além desses usos da terra, citam-se as propriedades rurais, nas quais um maior número de estabelecimentos agrícolas e de suas partições elevam os riscos atrelados à ignição dos incêndios (MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, CHUVIECO e KOUTSIAS, 2013). Comenta-se ainda a contribuição das máquinas e utensílios agrícolas, identificada na literatura como *proxy* para intensidade do uso da terra (MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, CHUVIECO e KOUTSIAS, 2013; RODRIGUES, de la RIVA e FOTHERINGHAM, 2014).

Dentre os indicadores demográficos, a densidade populacional é relacionada à ocorrência dos focos de calor (ALCASENA *et al.*, 2016; CATRY *et al.*, 2009; NUNES *et al.*, 2016; PRESTEMON *et al.*, 2019) e com um maior número de queimadas intencionais (PRESTEMON *et al.*, 2019). O resultado não é consensual, Argañaraz *et al.* (2015) e Guo *et al.* (2016b) encontraram baixa frequência ou associação negativa com focos e incêndios. Para tal fato, Guo *et al.* (2016b) explicam que a relação contrária é oriunda das grandes massas populacionais em cidades ou em áreas desenvolvidas com atividade industrial, baixa cobertura florestal e com menor percentual da população dedicada às atividades florestais.

A extensão (*km*) ou densidade ( $km/km^2$ ) das estradas (MURTHY *et al.*, 2019; SONG *et al.*, 2017) e ferrovias (SU *et al.*, 2019a) são fatores de acessibilidade aos incêndios e queimadas, logo uma maior malha rodoviária e ferroviária são associadas a ocorrência dos focos de calor. Em termos espaciais, há uma associação negativa entre localização georreferenciada dos focos de calor e distância para as margens das estradas (CATRY *et al.*, 2009; ZHANG *et al.*, 2016) e ferrovias (STURTEVANT e CLELAND, 2007; ZHANG *et al.*, 2016).

Em termos educacionais, um maior percentual da população entre 25 e 64 anos com ensino superior, reduziu as áreas de queimadas e focos de calor na Itália (MICHETTI e PINAR, 2019). Para Vadrevu, Eaturu e Badarinath (2006) maiores taxas de alfabetização estão associadas a uma menor ocorrência dos focos de calor no estado de *Andhra Pradesh* (Índia), ou seja, com níveis mais elevados de capital humano, os recursos naturais escassos, como as

florestas, são protegidos. Em relação ao comportamento socioeconômico, Prestemon *et al.* (2019) observaram que uma maior quantidade de prisões reduz significativamente futuros incêndios ilegais e intencionais.

Para Chen *et al.* (2014) o nível de emprego reduz os riscos dos focos de calor e incêndios, pois a população empregada tem elevado custo de oportunidade e menor probabilidade de cometer atos criminosos. Já, o nível de desemprego é positivamente relacionado aos focos, pois a variável é uma *proxy* para momentos de recessão econômica e pobreza, problemas socioeconômicos que reverberam em um aumento dos conflitos que resultam em incêndios deliberados (OLIVEIRA *et al.*, 2012; NUNES *et al.*, 2016).

Dados econômicos e de degradação ambiental são avaliados pela CKA<sup>9</sup>, estratégia que capta não linearidades entre as duas variáveis. Todavia, devido à complexidade econômica dos países, os resultados podem ser positivos (MORELLO *et al.*, 2020; SU *et al.*, 2019b) ou negativos (GUO *et al.*, 2016a, 2016b), a depender da especialização produtiva dos mesmos. Quanto ao setor primário da economia, Tasker e Arima (2016) e Rappaport *et al.* (2018) argumentam que a exportação de madeira é uma *proxy* para o nível de extração, que por sua vez podem se relacionar com os incêndios, dado que a transição na interface florestal-agrícola ocorre após a captação do recurso. Morello *et al.* (2020) acrescentam que a relação positiva entre degradação florestal e incêndios é também esperada para a extração de madeira.

Por fim, entende-se que são diversas as fontes naturais e humanas para a propagação do fogo. Neste referencial teórico, que não visa esgotar toda a literatura a respeito do tema, foram identificadas 26 variáveis (Tabela 1) distribuídas entre o meio biofísico (12), uso da terra (4), demografia (6) e economia (4). Desta forma, 10 variáveis reduzem os focos de calor, enquanto outras 15 potencializam seus efeitos, já o sinal para o *PIBpc* dependerá do setor econômico mais participativo nas unidades analisadas.

Tabela 1 - Lista e comportamento das variáveis relevantes na ocorrência dos focos de calor.

<b>Meio Biofísico</b>	<b>Uso da Terra</b>	<b>Demografia</b>	<b>Economia</b>
Altitude/Declividade (-)	Agricultura/Pecuária (+)	Den. populacional (+)	Comércio da madeira
Campos/Florestas (+)	Máquinas agrícolas (+)	Den. estradas e ferrovias (+)	(+)
Descargas elétricas (+)	Prop. agrícolas (+)	Dis. estradas e ferrovias (-)	Desemprego (+)
Dist. corpos d'água (+)		Prisões (-)	Emprego (-)
Precipitação (-)		Alfabetização (-)	<i>PIBpc</i> (?)
Tem. máxima/média (+)		Pop. entre 25 a 64 anos	
Tem. mínima (-)		com ensino superior (-)	
Umidade relativa (-)			
Vel. dos ventos (+)			

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

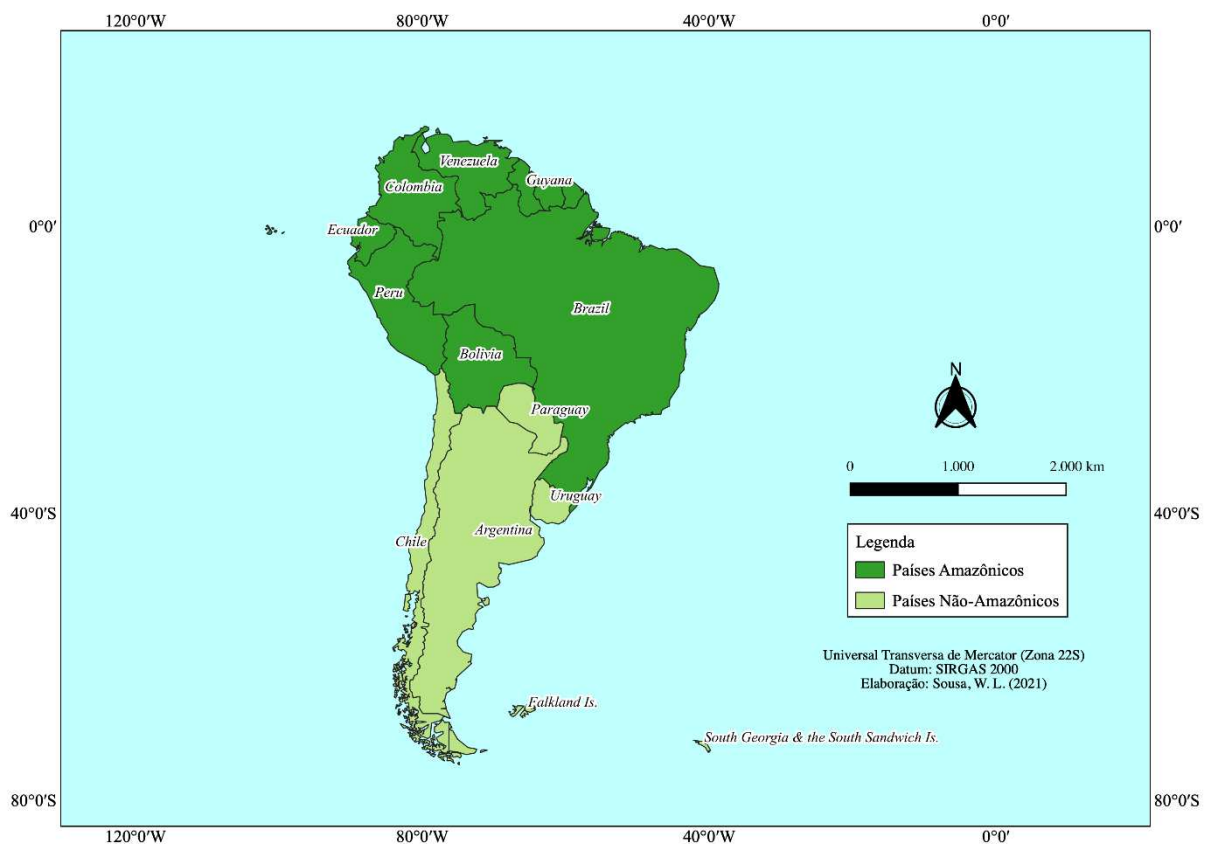
<sup>9</sup> Para mais detalhes ver, Grossman e Krueger (1991, 1995).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Área de Estudo

A área de estudo tem 17,36 milhões de  $km^2$  e abrange dez dos treze países<sup>10</sup> da América do Sul, e um subgrupo de nações que integram os países Amazônicos<sup>11</sup> (Figura 1). Deste total, 32,60% são destinadas às práticas agrícolas, em referência ao ano de 2018 (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2020).

Figura 1 - América do Sul: países Amazônicos e não-Amazônicos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A diversidade dos biomas na região é enorme, somente em sua porção central coexistem o Cerrado, Chaco, Floresta Atlântica Semidecidual e Pantanal (REZENDE *et al.*, 2020). Além destes, incluem-se os biomas de Água Doce (DODDS *et al.*, 2019), Caatinga (OLIVEIRA *et al.*, 2020), Pampas (BENEDUZI *et al.*, 2019) e o Amazônico.

<sup>10</sup> Guiana, Guiana Francesa e Suriname foram excluídos em face a disponibilidade da base de dados.

<sup>11</sup> Na legenda, os países Amazônicos não refletem a extensão territorial da floresta Amazônica, e sim das nações que possuem domínios deste bioma.

A análise dos ciclos anuais de pluviometria permite a classificação em oito regimes de precipitação, com a estação chuvosa na América do Sul ocorrendo durante o verão e a estação seca ocorrendo no inverno (REBOITA *et al.*, 2012). A estimativa populacional é de 422,04 milhões de habitantes, com 71,9% deste total concentrada na Argentina, Brasil e Colômbia. Em termos de densidade, os maiores valores ( $> 30 \text{ hab/km}^2$ ) são encontrados na Colômbia, Equador e Venezuela, dados concernentes ao ano de 2018 (THE WORLD BANK, 2020).

### 3.2 Focos de Calor

A série histórica dos focos de calor para a América do Sul é proveniente do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo do satélite AQUA<sup>12</sup>, com dados pré-processados e disponibilizados por meio do Programa Queimadas (INPE, 2021). O período de análise é de 16 anos, e inclui a contagem dos focos de calor desde janeiro de 2002 até dezembro de 2018. Embora o monitoramento parcial da atividade dos focos de calor tenha iniciado em 1998, o ano de 2002 foi escolhido para o início da análise, pois é quando todos os países realizaram o mapeamento dos pontos de ignição de maneira integral.

### 3.3 Variáveis Explicativas

Para analisar as relações entre as variáveis relevantes na ocorrência dos focos de calor, utiliza-se do referencial teórico e as informações disponíveis para os países sul-americanos no período de 2002 a 2018. Dados do meio biofísico e uso da terra são extraídos da FAO (2020). Para o meio biofísico extraíram-se a proporção (%) do tamanho dos corpos hídricos continentais (*ÁGUA*) em relação a área dos países, o percentual da área dos países coberta por florestas (*FLORE*) e a mudança anual da temperatura<sup>13</sup> (*TEMP*) avaliada em °C. No uso da terra identificaram-se o percentual da área dos países destinada as atividades agrícolas (*AGRI*)<sup>14</sup> e a densidade da pecuária<sup>15</sup> (*AGRO*) em termos do número de cabeças de animais por  $\text{km}^2$ .

---

<sup>12</sup> Satélite americano lançado em 2002, em parceria com Brasil e Japão. Sua missão faz parte do *Earth Observation System*, programa fundado pela NASA *Earth Enterprise* e leva a bordo seis instrumentos sensores. Um deles, o sensor MODIS permite a medição de propriedades das nuvens, do fluxo de energia radiante e de focos de calor, além de, estudos sobre o uso e cobertura da terra e atividades vulcânicas, entre outros (EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2020a).

<sup>13</sup> Mudança de temperatura média anual em relação ao período base de 1951-1980.

<sup>14</sup> Terras agricultáveis na forma de lavouras e pastagens permanentes.

<sup>15</sup> Rebanho total de asininos, bodes, bovinos, búfalos, cavalos, mulas e ovelhas.

Do *The World Bank* (2020) obteve-se a estimativa para a densidade populacional (*DPOP*), na razão nº de habitantes/ $km^2$ . Indicadores do mercado de trabalho como, o percentual da população empregada (*EMP*) e desempregada (*DES*) foram obtidos da *International Labour Organization* (ILO, 2020). Na atividade econômica, utilizou-se o logaritmo natural do *PIBpc*<sup>16</sup>, do *International Monetary Fund* (IMF, 2020).

A relação entre as variáveis é apresentada na Figura 2, e conforme o referencial teórico espera-se que um elevado nível de emprego e uma maior proporção dos corpos hídricos continentais reduzam ou suavizem a ocorrência dos focos de calor na América do Sul e em países Amazônicos. Enquanto, o sinal para o PIB e formas derivadas (*PIBpc*, *PIB/km<sup>2</sup>*) dependerá por vezes do setor da economia que mais se desenvolveu no país ou região.

Figura 2 - Relação entre aspectos naturais, indicadores antrópicos e focos de calor.



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.4 Estratégia Empírica

A relação entre a ocorrência anual dos focos de calor e as características geosocioeconômicas é capturada por um modelo de dados em painel:

$$Focos_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \ln(PIBpc_{i,t-1}) + \beta_2 [\ln(PIBpc_{i,t-1})]^2 + X_{i,t-1}\beta + u_{i,t} \quad (1)$$

$$u_{i,t} = \mu_i + v_{i,t} \quad (2)$$

<sup>16</sup> *PIBpc* dos países com base na Paridade do Poder de Compra (PPC), a preços constantes, em US\$ de 2011.



Onde  $Focos_{i,t}$  é a contagem dos focos ativos de calor no  $i$ -ésimo país ( $i = 1, \dots, 10$ ) no ano  $t$  ( $t = 2002, \dots, 2018$ ),  $\ln(PIBpc_{i,t-1})$  é o logaritmo natural do  $PIBpc$  para o ano anterior e  $X_{i,t-1}$  correspondem as demais variáveis explicativas defasadas em um ano<sup>17</sup>, que captam a relação entre aspectos naturais, antrópicos e focos de calor. O componente de erro do modelo (1) captura fatores não observados, sendo dividido em dois elementos (BALTAGI, 2005), o  $\mu_i$  representa a heterogeneidade não-observada em cada país constante ao longo do tempo, enquanto  $v_{i,t}$  é o componente de erro idiossincrático para cada país  $i$  no ano  $t$ .

Além do  $\ln(PIBpc_{i,t-1})$  foi adicionado a forma quadrática  $[\ln(PIBpc_{i,t-1})]^2$  para testar a hipótese da CKA<sup>18</sup>, uma teoria de que a atividade econômica por si só garante a proteção ambiental e uso sustentável dos recursos naturais. Neste sentido, a literatura descreve (GROSSMAN e KRUEGER, 1991, 1995) que indicadores de degradação/poluição ambiental apresentam trajetória de “U-invertido” à medida que a renda per capita aumenta. Isso significa que os focos de calor aumentam até o ponto de inflexão, após o qual começam a diminuir. Tal padrão indica que, em um primeiro momento, a atividade econômica pode levar a um aumento nos focos de calor, mas à medida que a renda per capita aumenta, a preocupação e o investimento em práticas sustentáveis também aumentam, levando a uma diminuição dos focos de calor. Em tal caso, é suficiente que  $\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$  (concavidade para baixo), já para o formato de “U-normal”,  $\beta_1 < 0, \beta_2 > 0$  (concavidade para cima).

Como os  $Focos_{i,t}$  seguem um processo de contagem, são estimados modelos Binomial Negativo a partir da estrutura de dados em painel (1), conforme a Tabela 2 (CAMERON e TRIVEDI, 2009; HAUSMAN *et al.*, 1984; WOOLDRIDGE, 2010).

Tabela 2 – Modelo Binomial Negativo para dados em painel.

Modelo	Especificação
<i>Negative Binomial Fixed Effects</i> (NBFE)	$Y_{i,t} = \frac{\exp(\beta' X_{i,t})}{\delta} + v_{i,t}$ $V[Y_{i,t} X] = \frac{\exp(\beta' X_{i,t})(1 + \delta)}{\delta^2}$
<i>Negative Binomial Random Effects</i> (NBRE)	$Y_{i,t} = \frac{\mu_i \exp(\beta' X_{i,t})}{\varphi_i + v_{i,t}}$ $V[Y_{i,t} X] = \frac{\mu_i \exp(\beta' X_{i,t})}{\varphi_i (1 + \mu_i^{\varphi_i})}$

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

<sup>17</sup> Implica que as variáveis explicativas tem efeito causal posterior na variável explicada.

<sup>18</sup> Desenvolvida por Grossman e Krueger (1995) a partir da pesquisa de Kuznets (1955), a hipótese da CKA é de que para níveis baixos de desenvolvimento, o crescimento da renda pc eleva a degradação ambiental, porém a partir de certo nível de renda, o processo reverteria, com o aumento da renda levando a redução da degradação ambiental, processo descrito na literatura como “U-invertido”.

Para selecionar o modelo, aplicou-se o teste de Hausman ao estimador de efeitos aleatórios e de efeitos fixos. Na hipótese nula do teste, os estimadores de efeitos fixos e de efeitos aleatórios não divergem. Caso não seja possível aceitar a hipótese nula é apropriado utilizar o modelo de efeitos fixos (PYNDICK e RUBINFELD, 2004).

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

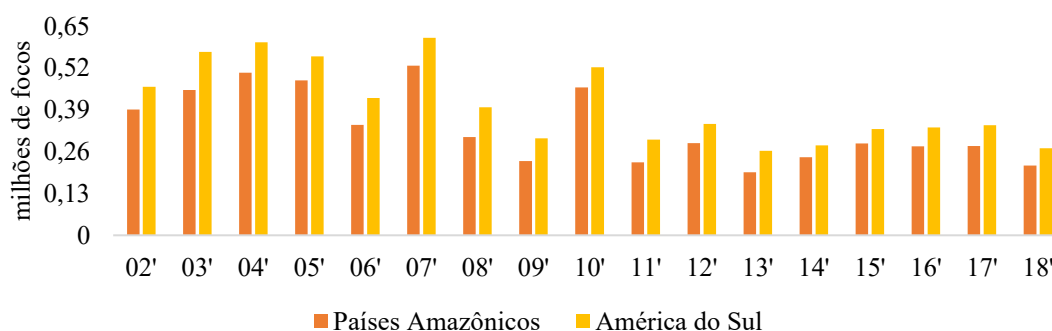
Os resultados são apresentados e discutidos em três subseções que contemplam as estatísticas descritivas<sup>19</sup>, seguido das estimativas dos modelos empíricos para a América do Sul e países Amazônicos, e por último, discute-se a importância e consistência destes resultados.

### 4.1 Análise Descritiva dos Dados

#### 4.1.1 Série Temporal dos Focos de Calor

A contagem dos pontos de ignição inclui 6,90 milhões de focos de calor no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2018. A Figura 3 apresenta a evolução destes registros, na cor amarela para a América do Sul e na cor laranja para os países Amazônicos, que reúnem 82% da atividade do fogo. Observe que na década de 2000, a partir de 2002 até 2008 estão concentrados os maiores dos focos de calor na América do Sul, cerca de 52,40% do total.

Figura 3 - Evolução dos focos na América do Sul e países Amazônicos, 2002 a 2018.

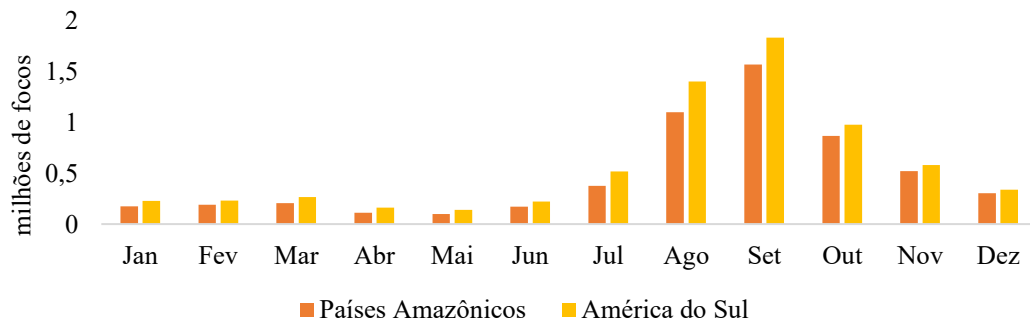


Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

<sup>19</sup> A Tabela com as estatísticas descritivas das variáveis encontra-se no Apêndice A.

Na Figura 4, a análise mensal do acumulado dos focos de calor entre janeiro a maio (estação chuvosa) revela que os focos de queimadas se mantêm praticamente estáveis, com pouca oscilação, já nos meses de junho e julho é possível notar um aumento gradual da atividade do fogo. Em ritmo de crescimento, na estação seca, o bimestre agosto e setembro reuniram os maiores quantitativos dos focos de calor na América do Sul e nos países Amazônicos.

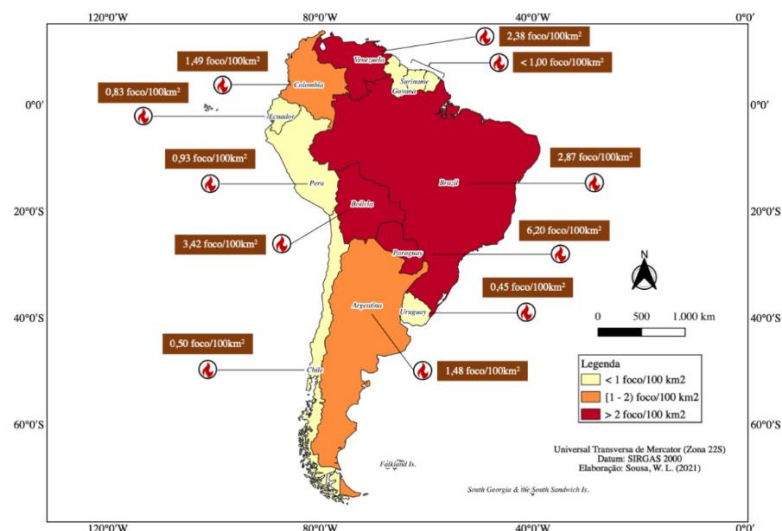
Figura 4 - Acumulado mensal dos focos de calor na América do Sul e países Amazônicos.



Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

Na distribuição espaço-temporal, Vega-Nieva *et al.* (2019) interpretam que um resultado superior a dois focos de calor a cada  $100 \text{ km}^2$  é classificado como alta incidência destes eventos. A Figura 5 apresenta a média anual dos focos de calor/ $100 \text{ km}^2$  entre 2002 e 2018, visualmente, a Bolívia, Brasil, Paraguai e Venezuela tem alta incidência dos focos de calor. Destes, o Paraguai tem a maior densidade, com  $6,20 \text{ focos}/100 \text{ km}^2$ , fato explicado, pois o país possui um dos maiores períodos de estação de queimadas do planeta, quando estas se estendem acima dos sete meses (FERREIRA *et al.*, 2020).

Figura 5 - Densidade média anual dos focos ativos de calor entre 2002 e 2018.



Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

Por fim, a análise dos focos de calor por países revela que, o Chile, Colômbia, Equador, Peru e Venezuela apresentaram variação percentual positiva desta variável entre 2002 a 2018. Em termos de média histórica, o Brasil concentrou 245 mil focos anuais, maior registro dentre os países da amostra. Já, o Uruguai, apresentou a menor média, com apenas 802 focos/ano.

#### **4.1.2 Variáveis Explicativas**

Para o meio biofísico, a proporção (%) do tamanho dos corpos hídricos continentais pela área dos países reduziu na Argentina, Chile, e Uruguai no intervalo de 2002 a 2018. No percentual da cobertura florestal por países<sup>20</sup>, apenas o Chile e Uruguai apresentaram variação positiva. Em termos proporcionais, o Brasil, Colômbia, Equador, Peru e Venezuela detêm média da cobertura florestal maior que 50% do território. Avaliando a mudança anual da temperatura, a Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Uruguai e Venezuela apresentaram variação percentual positiva entre 2002 e 2018.

No uso da terra, a participação da área agrícola reduziu na Argentina, Equador, Uruguai e Venezuela, entre 2002 a 2018. Para a taxa de lotação da pecuária por países, apenas o Chile e Equador apresentaram decréscimo da atividade no referido período. Em contrapartida, em países como Bolívia e Paraguai, o acréscimo no adensamento atingiu amplos 43,19% e 45,79% respectivamente.

Quanto à densidade populacional, todos os países apresentaram variação percentual positiva, com maiores taxas de crescimento para a Bolívia e Equador, cerca de 30% cada. Por outro lado, o Uruguai apresentou o menor crescimento, com 3,7%. Para o percentual da população empregada, todos os países exibiram variação percentual positiva, com exceções da Bolívia, Brasil. O Uruguai apresentou a maior variação, de 16,77%, já o Brasil detém a maior retração, com redução no percentual de empregados de 6,54%. No tocante ao percentual das pessoas desempregadas, com exceção da Bolívia e Brasil, os demais países reduziram o contingente de desempregados entre 2002 a 2018.

Analisando o *PIBpc*, à exceção da Venezuela, todos os países apresentaram variação percentual positiva, com o Peru registrando a maior taxa de crescimento (92,10%). A Argentina possui a maior média histórica com US\$ 13647 pc, ao passo que, a Bolívia detém a menor

---

<sup>20</sup> Percentual da cobertura florestal dos países para 2018 (valores entre parênteses): Argentina (10,35%), Bolívia (46,70%), Brasil (58,66%), Chile (23,73%), Colômbia (52,27%), Equador (44,53%), Paraguai (40,96%), Peru (56,56%), Uruguai (11,27%) e Venezuela (50,64%).

média, com US\$ 2595 pc. A matriz de correlação é apresentada na Figura 6, a partir da qual se observa uma alta correlação ( $r = 0,91$ ) entre *AGRI* e *AGRO*. Em função disso, optou-se por considerar apenas o *AGRO* no modelo econométrico.

Figura 6 - Matriz de correlação entre as variáveis explicativas.

	<i>AGRI</i>	<i>AGRO</i>	<i>ÁGUA</i>	<i>FLORE</i>	<i>TEMP</i>	<i>DPOP</i>	<i>EMP</i>	<i>DES</i>	$\log_{10}(PIBpc)$
<i>AGRI</i>	1	0,91*	0,15*	-0,63*	-0,07	-0,25*	-0,23*	0,28*	0,28*
<i>AGRO</i>	0,91*	1	0,14	-0,44*	0,06	-0,08	-0,27*	0,32*	0,37*
<i>ÁGUA</i>	0,15*	0,14	1	-0,62*	-0,20*	-0,15*	-0,57*	0,31*	0,60*
<i>FLORE</i>	-0,63*	-0,44*	-0,62*	1	0,28*	0,34*	0,52*	-0,31*	-0,62*
<i>TEMP</i>	-0,07	0,06	-0,20*	0,28*	1	0,15*	0,12	-0,05	0,02
<i>DPOP</i>	-0,25*	-0,08	-0,15*	0,34*	0,15*	1	-0,05	-0,03	0,00
<i>EMP</i>	-0,23*	-0,27*	-0,57*	0,52*	0,12	-0,05	1	-0,75*	-0,66*
<i>DES</i>	0,28*	0,32*	0,31*	-0,31*	-0,05	-0,03	-0,75*	1	0,45*
$\log_{10}(PIBpc)$	0,28*	0,37*	0,60*	-0,62*	0,02	0,00	-0,66*	0,45*	1

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

Nota: \* denota a significância ao nível de 5%.

## 4.2 Análise dos Resultados: América do Sul e Países Amazônicos

Os resultados iniciais apontam que para a amostra completa e no recorte dos países amazônicos os modelos binomiais negativos com efeitos aleatórios são os mais adequados para a análise (Tabela 3). Desse modo, para a América do Sul, a avaliação dos resultados é dos parâmetros do modelo NBRE (1).

Em relação ao mercado de trabalho, o percentual das pessoas empregadas eleva os focos de calor na América do Sul, o que não está de acordo com a literatura científica (CHEN *et al.*, 2014). Entretanto, destaca-se que o percentual de empregos agrícolas em relação ao total de empregados é superior a 20% na Bolívia, Equador, Paraguai e Peru (ILO, 2020), abrindo o debate para outras pesquisas que relacionam o trabalho rural, incêndios e focos de calor

O percentual das pessoas desempregadas no ano anterior influencia a ocorrência dos focos de calor na América do Sul. O resultado está de acordo com o obtido por Oliveira *et al.* (2012) e Nunes *et al.* (2016), pois o nível de desemprego denota momentos de recessão econômica e pobreza, problemas que reverberam em um aumento dos conflitos que resultam em incêndios deliberados.

Para a atividade econômica, a CKA apresentou formato de “U-normal”, implicando que a redução dos focos de calor, quando a atividade econômica cresce, é transitória, pois à medida que se aumenta o *PIBpc*, o número de focos de calor se eleva. O ponto de inflexão da CKA para os países da América do Sul é com *PIBpc* de aproximadamente US\$ 9415, valor superior à média da amostra, com US\$ 8121. Assim, a Argentina, Chile e Uruguai situam-se na

região ascendente da CKA ( $PIBpc \geq \text{US\$ } 9415$ ), indicando um *trade-off* entre a atividade econômica e os focos, pois à medida que a renda pc aumenta, a ocorrência dos focos de calor segue a mesma tendência. Por outro lado, o restante dos países situa-se na fase descendente da curva ( $PIBpc \leq \text{US\$ } 9415$ ), onde incrementos na atividade econômica são acompanhados por um decréscimo dos focos de calor.

Tabela 3 – Resultados dos Focos de Calor para a América do Sul e Países Amazônicos via  $PIBpc$ .

Covariadas	Modelos			
	América do Sul		Países Amazônicos	
	NBRE (1)	NBFE (2)	NBRE (3)	NBFE (4)
<i>ÁGUA</i>	0,2802 (0,0188)	0,3853 (0,2343)	0,5062 (1,0523)	0,5167 (1,1084)
<i>FLORE</i>	0,0057 (0,0006)	0,0042 (0,0106)	<b>0,1278*</b> (0,0238)	0,1145* (0,0260)
<i>TEMP</i>	-0,0982 (0,0019)	-0,0921 (0,0860)	-0,0697 (0,0975)	-0,0570 (0,1249)
<i>AGRO</i>	-0,0194 (0,0004)	-0,0161 (0,0108)	-0,0179 (0,0250)	-0,0197 (0,0360)
<i>DPOP</i>	0,0075 (0,0007)	0,01033 (0,0072)	0,0150 (0,0098)	0,0190 (0,0101)
<i>EMP</i>	<b>0,0286*</b> (0,0011)	0,03098* (0,0126)	<b>0,0231*</b> (0,0385)	0,0231 (0,0174)
<i>DES</i>	<b>0,0744*</b> (0,0002)	0,0743* (0,0159)	<b>0,0531*</b> (0,0120)	0,0411 (0,0221)
$\ln(PIBpc)$	<b>-5,6658*</b> (0,2333)	-5,6270* (2,7056)	<b>-4,5302*</b> (4,7500)	-4,5152 (4,7400)
$[\ln(PIBpc)]^2$	<b>0,3096*</b> (0,0290)	0,3037* (0,1540)	<b>0,2574*</b> (0,2845)	0,2413 (0,2759)
<i>intercepto</i>	25,4824* (0,7577)	25,2309 (11,9958)	14,3625* (20,5298)	14,5077 (20,1398)
<i>Wald chi2</i>	52,96*	50,50*	46,23*	45,84*
<i>Log likelihood</i>	-1581,82	-1439,49	-901,23	-896,65
<i>Teste Hausman</i>	3,04	---	5,03	
Nº Obs		160		96

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

Notas: Erros-padrão entre parênteses. Nível de significância: \* < 0,05.

No recorte dos países Amazônicos (Tabela 3), a análise para o modelo NBRE (3) reforça os resultados vistos para a amostra completa. O formato da CKA expressa que na fase descendente, com  $PIBpc$  inferior a US\$ 6637 ocorre redução dos focos de calor à medida que o  $PIBpc$  aumenta, já na fase ascendente da curva, com  $PIBpc$  superior a US\$ 6637 acontece de os focos de calor aumentarem seguido da elevação do  $PIBpc$ . Na distribuição por países, a Bolívia, Colômbia, Equador, Paraguai e Peru estão na região descendente e os demais na fase ascendente.

### 4.3 Discussões e Implicações dos Focos de Calor

A prevenção e mitigação dos efeitos do fogo é uma questão complexa para a elaboração das políticas ambientais de combate a incêndios, pois a variabilidade espacial dos focos de calor em conjunto aos fatores humanos e naturais dificulta a eficácia destas medidas.

Da relação entre causas humanas e focos de calor, conclui-se que o desemprego eleva a ocorrência dos focos de calor na América do Sul. Logo, as instituições governamentais devem considerar as ações de combate aos focos de calor em áreas com alto nível de desemprego e com predileção as regiões florestais. Em termos de países, devem-se priorizar esforços na Argentina, Brasil e Colômbia, nações cujo percentual de pessoas desempregadas é superior a 9% (ILO, 2020).

O efeito do *PIBpc* sobre a ocorrência dos focos de calor é comumente avaliado na literatura em sua forma linear. Logo, é natural que alguns estudos obtenham associação positiva ou negativa entre as duas variáveis (GUO *et al.*, 2016a, 2016b; MORELLO *et al.*, 2020; SU *et al.*, 2019b). Nesta pesquisa, testou-se a hipótese da CKA entre a atividade econômica e os pontos de ignição, ou seja, se o *PIBpc* garantia por si só uma redução do quantitativo dos focos de calor à medida que estas nações se desenvolviam economicamente.

No resultado preliminar da Tabela 3, conclui-se que a hipótese da CKA para a América do Sul é violada. Para o formato de “U-normal” pode ocorrer que no primeiro estágio, as atividades econômicas não estejam intrinsecamente associadas aos focos de calor/incêndios ou que a sociedade tem precaução com o meio ambiente. Na medida em que as economias crescem, a população deseja maiores níveis de renda, porém sem cuidado com o meio ambiente.

Como o *PIBpc* é uma medida que leva em consideração apenas o aspecto da renda, é adequado, avaliar a consistência desses resultados por uma variável mais ampla de desenvolvimento, o *IDH*<sup>21</sup>, que contempla as dimensões da educação, renda e saúde (UNDP, 2020). As estimativas são reapresentadas na Tabela 4 para a América do Sul e países Amazônicos. Novamente, os modelos binomiais negativos com efeitos aleatórios são os mais adequados para a análise, NBRE (5) e NBRE (7). Portanto, reforça-se os efeitos vistos no modelo inicial, NBRE (1), o efeito positivo do desemprego sobre a ocorrência dos focos de calor na região sul-americana e a impossibilidade de sustentação teórica da forma de “U-invertido” da CKA.

---

<sup>21</sup> Elaborado por Mahbub ul Haq e Amartya Sen, economista ganhador do Prêmio Nobel de Economia em 1998.

Para o modelo NBRE (5), o ponto de inflexão é com *IDH* de 0,780, valor ligeiramente inferior à média do *IDH* dos países da amostra, com 0,744. Na fase descendente da CKA ( $IDH \leq 0,780$ ) encontram-se a Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru e Venezuela, países em que uma melhora no *IDH* é seguida por um decréscimo dos focos de calor. Por outro lado, a Argentina, Chile e Uruguai encontram-se na região ascendente ( $IDH \geq 0,780$ ), indicando que o desenvolvimento humano pode acelerar os focos de calor.

No recorte dos países Amazônicos, o ponto de inflexão é com *IDH* de 0,730, valor ligeiramente inferior ao ponto de virada obtido no modelo anterior, de 0,760. Nessa nova delimitação, o único país na fase descendente da CKA ( $IDH \leq 0,730$ ) para focos de calor é a Bolívia. Destaca-se que o país tem *IDH* de 0,714 para o ano de 2018 (UNPD, 2020), logo, no curto prazo espera-se que a Bolívia ultrapasse o ponto de inflexão estipulado.

Tabela 4 - Resultados dos Focos de Calor para a América do Sul e Países Amazônicos via *IDH*.

Covariadas	Modelos			
	América do Sul		Países Amazônicos	
	NBRE (5)	NBFE (6)	NBRE (7)	NBFE (8)
<i>ÁGUA</i>	0,3262 (0,2021)	0,4036* (0,2044)	0,2465 (0,8828)	0,0932 (0,8862)
<i>FLORE</i>	0,0038 (0,0108)	0,0015 (0,0109)	<b>0,0997*</b> (0,0297)	0,0983* (0,0307)
<i>TEMP</i>	-0,0643 (0,0896)	-0,0617 (0,0888)	-0,0806 (0,1327)	-0,0786 (0,1321)
<i>AGRO</i>	-0,0173 (0,0094)	-0,0157 (0,0096)	0,0037 (0,0359)	0,0059 (0,0363)
<i>DPOP</i>	0,0097 (0,0073)	0,0125 (0,0073)	0,0085 (0,0102)	0,0134 (0,0097)
<i>EMP</i>	<b>0,0254*</b> (0,0122)	0,0269* (0,0123)	<b>0,0218*</b> (0,0172)	0,0240 (0,0171)
<i>DES</i>	<b>0,0583*</b> (0,0158)	0,0583* (0,0159)	<b>0,0342*</b> (0,0199)	0,0351 (0,0200)
<i>IDH</i>	<b>-46,6490*</b> (13,0101)	-47,2790* (12,9385)	<b>-94,1392*</b> (34,6762)	-91,6697* (35,4657)
<i>IDH<sup>2</sup></i>	<b>29,5249*</b> (8,8679)	29,7134* (8,7833)	<b>64,1167*</b> (24,2603)	62,2169* (24,7883)
<i>intercepto</i>	18,2349* (4,8571)	18,3813* (4,8755)	29,4460* (12,1802)	28,6102* (12,4615)
<i>Wald chi2</i>	72,36*	69,56*	51,68*	49,45*
<i>Log likelihood</i>	-1575,93	-1433,43	-981,25	-894,32
<i>Teste Hausman</i>	0,34	---	0,36	---
Nº Obs		160		96

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

Notas: Erros-padrão entre parênteses. Nível de significância: \* < 0,05.

No meio biofísico, a variável *FLORE* é peça fundamental na análise dos riscos associados a atividade do fogo. Portanto, em países Amazônicos a proporção das florestas no ano anterior possibilita a ocorrência dos focos de calor. Um resultado relevante, pois o bioma



Amazônico percorre oito países sul-americanos e, além da biomassa vegetal, nas florestas preservadas em boas condições, os danos para os incêndios florestais tendem a serem maiores.

O resultado é similar aos obtidos por Prestemon *et al.* (2019) para Galícia (Espanha) entre 1999 a 2014, e por Andersen e Sugg (2019) para a região oeste do estado da Carolina do Norte (Estados Unidos) entre os anos de 1985 a 2016. A relação é direta, pois a biomassa florestal é um combustível que propicia a ocorrência dos pontos de ignição, seja por causas humanas ou causas naturais (descargas elétricas ou erupções vulcânicas). Portanto, há um consenso de que a presença da vegetação favorece a ocorrência dos focos de calor.

Por fim, os principais resultados dessa pesquisa foram condensados na Tabela 5 a seguir. A análise via *PIBpc* ou *IDH* para a América do Sul apresenta que o grupo de países por regiões da CKA é homogêneo, a Argentina, Chile e Uruguai tem papel crescente nos focos de calor, e por isso, devem adotar medidas para combater e suavizar a ocorrência desses eventos. Ademais, para os países Amazônicos, os grupos de países por regiões da curva são heterogêneos, porém existe uma certa consistência dos países avaliados pelo *PIBpc* e os da amostra completa.

Tabela 5 - Resumo da CKA aplicada aos focos de calor.

	Variável	CKA	Ponto de Inflexão	Região Descendente
América do Sul	<i>PIBpc</i>	Violada (“U-normal”)	US\$ 9415 pc	Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru e Venezuela
	<i>IDH</i>	Violada (“U-normal”)	0,780	Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru e Venezuela
Países Amazônicos	<i>PIBpc</i>	Violada (“U-normal”)	US\$ 6634 pc	Bolívia, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru
	<i>IDH</i>	Violada (“U-normal”)	0,730	Bolívia

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

## 5 CONCLUSÕES

O presente artigo discute os fatores associados a ocorrência dos focos de calor na América do Sul e em países Amazônicos. Neste sentido, a análise empírica, parte da contagem anual dos focos de calor por países, controlando por características naturais e das atividades antrópicas no período de 2002 a 2018. A avaliação espaço-temporal dos focos de calor revela uma ampla atividade dos pontos de ignição no bimestre agosto-setembro. De forma complementar, a espacialização dos focos de calor indica uma elevada atividade do fogo na Bolívia, Brasil, Paraguai e Venezuela.

Os resultados com a inclusão da atividade econômica no modelo revelam que o desemprego e o *PIBpc* são significantes na América do Sul, ao passo que, a proporção (%) das florestas é significativa em países Amazônicos. Por outro lado, a inserção no modelo de um indicador de desenvolvimento socioeconômico revela que os resultados para o desemprego e *IDH* se apresentam consistentes tanto para a América do Sul ou em países Amazônicos. Ademais destes controles, a proporção (%) das florestas se mostrou significativa.

Assim, com base nos resultados desta pesquisa, recomendam-se as seguintes diretrizes e políticas para reduzir a ocorrência dos focos de calor. Em áreas florestais, orientar-se o monitoramento e validação dos focos de calor nestas regiões, pois quanto mais preservado é o ecossistema, maiores as proporções das queimadas e incêndios. No mercado de trabalho, devem-se priorizar políticas de emprego ou políticas de apoio aos desempregados em regiões com elevado nível de desemprego.

A relação entre *PIBpc*, *IDH* e focos de calor tem significados iguais para a América do Sul e nos países Amazônicos. Deste modo, o aumento da atividade econômica ou do desenvolvimento humano nos países eleva gradualmente os focos de calor. Portanto, os formuladores de políticas públicas podem adaptar diretrizes ambientais de um grupo de países para o outro, com maior rigidez da legislação na região Amazônica, pois a disponibilidade da biomassa vegetal na região é importante para a ocorrência do fogo.

Finalmente, propõe-se a cooperação governamental intra e interpaíses, pois a atividade do fogo atinge grandes proporções, devastando cidades e países. Além disso, monitorar em tempo real a atividade dos focos de calor é uma tarefa importante para evitar a evolução dos pontos de ignição em grandes incêndios. Desta forma, estudar os riscos associados aos focos de calor na América do Sul pode auxiliar no desenvolvimento sustentável da região, pois as fumaças e queimadas impactam o meio ambiente, saúde e acordos econômicos.

Dito isto, o presente artigo levanta uma importante discussão a respeito da ocorrência dos focos de calor na América do Sul. Em futuras pesquisas sugere-se a inclusão de outras variáveis citadas pela literatura que foram omitidas da pesquisa devido ao recorte temporal ou ausência de informações recentes. Recomenda-se ainda, o uso da área das queimadas em  $km^2$  além da contagem dos focos de calor, pois a extensão das queimadas delimita os prejuízos econômicos aos sistemas humanos.

## CAPÍTULO 2 - DESMATAMENTO DE MATA ATLÂNTICA NO ESTADO DO CEARÁ: ANÁLISES DA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL A PARTIR DE DADOS EM PAINEL, 2011 A 2017<sup>22</sup>

### 1 INTRODUÇÃO

A degradação dos ecossistemas florestais se dá em razão de diversos fatores, sobretudo das atividades de origem antrópica. Nesse sentido, há uma intensa preocupação, de que, com o avanço do desenvolvimento econômico, a pressão ambiental exercida aos ecossistemas supere a capacidade de suporte do meio ambiente. Com base nisso, a relação entre desenvolvimento econômico e degradação ambiental encontra evidência na CKA, adaptada de Kuznets (1955) e proposta inicialmente em Grossman e Krueger (1995).

A premissa da CKA é de que, em baixos níveis de desenvolvimento, o crescimento da renda per capita induz a um aumento da degradação ambiental. No entanto, a partir de certo nível de renda, essa lógica se reverteria, com o aumento da renda per capita levando a uma redução da degradação ambiental, caracterizando uma curva no formato de “U-invertido”. Assim, Grossman e Krueger (1995) relacionaram a renda per capita aos indicadores de qualidade da água e do ar, e encontraram evidências em diversos países desenvolvidos, de que a degradação ambiental se eleva com o incremento econômico até um ponto de inflexão a partir do qual ocorre uma melhora na qualidade ambiental resultando na CKA.

No Brasil, inúmeras pesquisas expõem a relação entre desenvolvimento econômico e indicadores de degradação ambiental. Assim, uma das pautas ecossistêmicas mais pertinentes, diz respeito ao desmatamento em biomas terrestres nacionais, agenda com foco nos domínios da Amazônia e Cerrado (COLUSSO, PARRÉ e ALMEIDA, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2011) especialmente pela extensão territorial destes ecossistemas, da expansão da fronteira agrícola nestes locais e da disponibilidade de informações. Por outro lado, observa-se um *gap* nas pesquisas que relacionam desenvolvimento econômico e alterações na cobertura vegetal nos demais biomas nacionais - Caatinga, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal.

---

<sup>22</sup> Artigo publicado na Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 60, n. 1, e229884, 2022. ver [aqui](#).

Em relação a Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais<sup>23</sup>, seus limites atualmente ocupam 12,4% do país, distribuídas em 17 Unidades Federativas (UFs)<sup>24</sup>. Em consulta ao relatório “Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica”, no período de 1985 a 2019, a ação antrópica desmatou na ordem de 1,95 milhões de hectares (*ha*) desta cobertura florestal. O desflorestamento no período 2018 a 2019 foi de 14.502 *ha*, 27,2% superior ao período 2017 a 2018. Dos 17 estados monitorados entre 2018 a 2019, nove, registraram desmate nulo (< 100 *ha*), a saber: AL, CE, ES, GO, PB, PE, RJ, RN, SP (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA e INPE, 2020).

Destas UFs, destaca-se o estado do Ceará, com remanescentes da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais ocupando respectivamente 64.064 e 125.519 *ha*, ou 1,3% do estado. Da região, 61 municípios possuem resquícios da mata nativa, e, portanto, em observação aos dados de desmatamento se vê que, desde 2014 o estado registra desmatamento nulo (< 100 *ha*) de Mata Atlântica, com aumento de 40% no desmate no período 2017 a 2018 e 2018 a 2019. Já, em relação as áreas não-florestais, somente no período 2018 a 2019 foram desmatados 804 *ha* de restinga arbórea (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA e INPE, 2020).

Em face ao apresentado, o objetivo geral é analisar a relação entre a degradação ambiental e atividade econômica, preconizada pela hipótese da CKA, nos 61 municípios cearenses que apresentam remanescentes da Mata Atlântica e ecossistemas associados, considerando o indicador de desmatamento. Logo, busca-se saber se há uma relação no formato de “U-invertido” entre o *PIBpc* e a área desmatada anual obtida pelo projeto “Aqui tem Mata?”, no período de 2011 a 2017, utilizando um modelo para dados em painel. Além da atividade econômica, foram adicionados controles associados a: agropecuária, consumo, demografia, informações econômicas e fiscais, mercado de trabalho e aspectos geoambientais.

Embora diversas pesquisas estimem uma CKA para o Brasil a partir de diversos indicadores de desenvolvimento sustentável, nenhuma destas utilizou o desmatamento da Mata Atlântica e das áreas naturais não-florestais como *proxy* de degradação ambiental. Ademais, as análises empíricas da CKA têm como foco estados e municípios que possuem limites da Amazônia e Cerrado, ou seja, a literatura não apresenta evidências para o Ceará, no que tange aos domínios da Caatinga e Mata Atlântica. Portanto, a presente pesquisa contribui com a literatura da CKA para o bioma Mata Atlântica.

---

<sup>23</sup> Várzeas, campos de altitude naturais, refúgios vegetacionais, dunas, restinga herbácea, apicum, banhado e campo úmido.

<sup>24</sup> Alagoas (AL), Bahia (BA), Ceará (CE), Espírito Santo (ES), Goiás (GO), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraíba (PB), Paraná (PR), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio de Janeiro (RJ), Rio Grande do Norte (RN), Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC), São Paulo (SP) e Sergipe (SE).

Para alcançar esse objetivo, dividiu-se o artigo em cinco seções, incluindo essa introdução. A próxima, expõe a literatura empírica sobre a CKA com foco em desmatamento. A fonte e descrição dos dados, bem como o modelo empírico, são apresentadas na terceira seção. Em seguida, são expostos, discutidos e analisados os resultados. Por fim, são apresentadas as conclusões.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A literatura empírica da CKA com foco em desmatamento

A CKA é amplamente debatida e citada na literatura científica internacional e nacional. Portanto, para conduzir aos estudos direcionados ao desmatamento, optou-se por utilizar os descritores “*Environmental Kuznets Curve*” + “*Deforestation*” na base de dados eletrônica do *Google Scholar*. Nesta seleção, foram inclusas publicações em periódicos nacionais ou internacionais, nos idiomas inglês, português ou espanhol, com data de publicação a partir do ano de 2010, selecionando referências atualizadas e com predileção a estudos realizados em biomas brasileiros. A partir desses filtros, o conteúdo do artigo é avaliado considerando a área de estudo, período, metodologia e resultados.

Oliveira *et al.* (2011) investigaram o desmatamento sob a hipótese da CKA em municípios da Amazônia Legal no período de 2001 a 2006. Para tal, controlaram por indicadores relacionados a agropecuária, demografia, economia, extração florestal e mineral. O formato encontrado para CKA foi de “N-invertido”, assim, o desmatamento decresce nos níveis baixos de renda *pc*, passa por um período de aumento e volta a decrescer quando um elevado nível de renda *pc* é alcançado.

Ferreira e Coelho (2015) exploraram como o preço das *commodities* agrícolas, e as políticas públicas de fiscalização e o crédito rural, têm afetado o desmatamento na região da Amazônia Legal durante os anos de 1999 a 2011. Os resultados obtidos levam a crer que o preço das *commodities* e as políticas de crédito rural aumentam o desmatamento, ao passo que as políticas de fiscalização atenuaram a ação do desmatamento.

No contexto da discussão entre o desmatamento e desenvolvimento regional, Teixeira, Bertella e Almeida (2012) investigaram a relação entre os níveis de desmate e o crescimento da renda para 139 municípios do estado do Mato Grosso (MT). Utilizando dados para o ano de 2006 estimou-se uma CKA para o desmatamento *pc*, a renda *pc* e seu termo ao quadrado, além da: razão bovinocultura/área de pastagem, a densidade demográfica, a extração

de madeira *pc* e efeitos espaciais. Os resultados trouxeram à inferência de que existe uma CKA na forma de “U-invertido”, porém ao se utilizar um termo cúbico para a renda, o crescimento econômico não estaria atrelado com o desmatamento dos municípios mato-grossenses.

Colusso, Parré e Almeida (2012) discutem a conexão entre degradação ambiental e atividade econômica, sob a ótica da CKA, no Cerrado brasileiro, para o ano de 2008. A variável dependente é a área desmatada de Cerrado dos municípios do bioma e, como variáveis explicativas, o *PIB<sub>pc</sub>* e suas formas quadrática e cúbica, a densidade demográfica, a área plantada e o rebanho bovino. A hipótese testada resultou que, em primeiro estágio, o crescimento da renda *pc* contribui para redução do desmatamento na região. Porém, o aumento contínuo da renda faz com que o desmatamento aumente novamente.

No MATOPIBA<sup>25</sup>, Barros e Stege (2019) investigaram a existência da CKA para a relação entre desmatamento e *IDH* nos 337 municípios da região para o ano de 2010. A Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) aliada a econometria espacial corroboraram o formato da CKA de “U-invertido”. O ponto de virada, em que o desenvolvimento atinge seu máximo é um *IDH* de 0,57, sendo que 28,18% dos municípios estão abaixo deste valor. Além disso, os controles relacionados ao avanço da fronteira agrícola induzem o desmatamento na região.

Apesar dos artigos supracitados abordarem de forma direta o desmatamento e sua relação com o crescimento econômico, existem outros (ALMEIDA e LOBATO, 2019; BIAGE e ALMEIDA, 2015; CARVALHO e ALMEIDA, 2010) que embora não tratem de forma explícita, explicam a emissão de gases estufa como uma consequência do desmatamento e que por sua vez são afetadas pelo crescimento econômico<sup>26</sup>.

Carvalho e Almeida (2010) testaram a hipótese da CKA em 187 países para o ano de 2004. A variável dependente são as emissões de gás carbônico (*CO<sub>2</sub>*) e as independentes - o *PIB<sub>pc</sub>* e suas formas quadráticas e cúbicas, as exportações *pc*, consumo de energia *pc* e uma *dummy* indicando os países signatários ao Protocolo de *Kyoto*. Os resultados corroboram o formato de “U-invertido”, ou seja, o crescimento econômico reduz o impacto ambiental das emissões, porém a adição do termo cúbico traz a curva no formato de “N”, demonstrando que elevados níveis de crescimento podem aumentar as emissões de *CO<sub>2</sub>*. Ademais, os países signatários ao Protocolo de *Kyoto* reduziram significativamente as emissões de poluentes.

---

<sup>25</sup> Atual fronteira agrícola brasileira, o MATOPIBA abrange o bioma Cerrado dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, e responde por grande parte da produção nacional de grãos e fibras (EMBRAPA, 2020b).

<sup>26</sup> Almeida e Lobato (2019), Biage e Almeida (2015) corroboram que o incremento da atividade econômica eleva o desmatamento via setor agropecuário com: queimadas na agricultura, extração de recursos florestais, e áreas de pastagem, que reduzem a absorção do *CO<sub>2</sub>*, elevando as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Biage e Almeida (2015) avaliaram a hipótese da CKA aplicada a um formato de dados em painel, analisando as diferenças entre as emissões de  $CO_2$  por países, em função da atividade econômica. Como resultado, evidenciou-se relação entre o  $PIB_{pc}$  e a emissão de  $CO_2_{pc}$  com CKA no formato de “N”. Além disso, os resultados demonstraram que o  $PIB_{pc}$  constitui a variável de menor impacto sobre as emissões de  $CO_2_{pc}$ , e que o impacto ambiental cresce, essencialmente, pelo desenvolvimento das economias (desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e qualidade de vida).

Almeida e Lobato (2019) propõem a discussão da CKA para a região Norte do Brasil no período de 2002 a 2015. Os autores relacionaram as emissões de  $CO_2$  com o  $PIB_{pc}$ , e apesar de não abordarem diretamente o desmatamento, levaram em consideração que a emissão de  $CO_2$  é uma consequência de fatores como o próprio desmatamento, sendo tratada como variável *proxy*. A pesquisa concluiu que a CKA para a região Norte do Brasil apresenta formato de “U”, não corroborando com o formato tradicional da CKA.

Estudos relevantes na construção do presente referencial, dizem respeito a avaliação do desmatamento, sem a necessidade de se testar a hipótese da CKA, a importância destes se dá na avaliação dos determinantes do desflorestamento em biomas brasileiros, ou da elaboração de indicadores de impacto ambiental, no sentido de identificar causas da degradação ambiental.

Sob outra perspectiva, Delazeri (2016) elencou os canais do desmatamento nos municípios do Arco Verde na Amazônia Legal entre 2008 e 2012. Com o resultado concluiu-se que a produção bovina tem maior incidência nos níveis de desmatamento dos 49 municípios que compõem a região e que a expansão da lavoura de soja não é significativa para explicar o desmatamento.

Em investigação sobre a ocorrência de desacoplamento de impacto ambiental do crescimento econômico brasileiro, Soares e Almeida (2018) agruparam 13 indicadores de pressão ambiental, monitorados a partir da década de 1990 a meados de 2014, nas dimensões<sup>27</sup>: água, atmosfera, biodiversidade, saneamento e terra. A pesquisa corroborou a hipótese de que o crescimento econômico ocasiona impacto ambiental, incluindo na biodiversidade que inclui a Mata Atlântica, porém com menor impacto na dimensão terra.

---

<sup>27</sup> Água: demanda bioquímica de oxigênio (1990 a 2014), qualidade das águas das praias (1992 a 2012). Atmosfera: emissões de origem antrópica de GEE (1990 a 2014), consumo industrial de substâncias destruidoras da camada de ozônio -  $O_3$  (1992 a 2013). Biodiversidade (1992 a 2013): áreas terrestres protegidas, áreas de proteção marinha. Saneamento (1992 a 2011): acesso da população a água potável, esgotamento sanitário e ao serviço de coleta de lixo doméstico. Terra: desmatamento da Amazônia Legal (1990 a 2014), uso de fertilizante (1992 a 2013) e uso da terra (1990 a 2011).



Castelo *et al.* (2018) avaliaram políticas públicas ambientais do governo federal no combate ao desmatamento na Amazônia, a partir de um levantamento histórico da atividade desde 2002 a 2016. A análise empírica realizada no estado do Pará baseada em painel mostrou que, dado o aumento de 100 cabeças bovinas, a área desmatada sofre um incremento de  $0,2 \text{ km}^2$ , já a política ambiental foi bastante significativa no período analisado.

Em síntese, o Quadro 1 sintetiza os estudos que avaliam a relação entre crescimento econômico e desmatamento em biomas brasileiros sob a hipótese da CKA. Em geral, estes trabalhos empíricos consideram abordagens econométricas para dados em corte transversal (*cross-section*) ou no formato de dados em painel. Além disso, parte das pesquisas nacionais está concentrada nas regiões Centro-Oeste, Norte e nos municípios do MATOPIBA. Assim, por meio desta revisão, pode-se dizer que a presente pesquisa contribui com a literatura da CKA a partir da análise da relação entre a atividade econômica no estado do Ceará com o desmatamento dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais.

Quadro 1 - Síntese dos trabalhos que considera a CKA e/ou o Desmatamento.

Autor(es)	Período	Método	Região	CKA	Desmate
<b>Cross-Section</b>					
Barros e Stege (2019)	2010	Econometria Espacial	337 municípios do MATOPIBA	√	√
Carvalho e Almeida (2010)	2010		187 países	√	-
Colusso, Parré e Almeida (2012)	2008		1.306 municípios do Cerrado brasileiro	√	√
Teixeira, Bertella e Almeida (2012)	2006		Municípios do Mato Grosso	√	√
<b>Dados em Painel</b>					
Almeida e Lobato (2019)	2002 a 2015	Efeitos Fixos	Estados da região norte brasileira	√	-
Biage e Almeida (2015)	1991 a 2006		37 países	√	-
Castelo <i>et al.</i> (2018)	2002 a 2016		Municípios do Pará	-	√
Delazeri (2016)	2008 a 2012		Arco Verde (Amazônia Legal)	-	√
Ferreira e Coelho (2015)	1999 a 2011		Estados da Amazônia Legal	√	√
Oliveira <i>et al.</i> (2011)	2001 a 2006	Econometria Espacial	Municípios da Amazônia Legal	√	√
Soares e Almeida (2018)	----	Construção de Indicadores	Brasil	-	√

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Base de Dados

Essa pesquisa analisa o desmatamento anual dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais - *DESM*, em *ha*. Esses dados são do projeto “Aqui tem Mata?<sup>28</sup>”, aplicativo elaborado com dados do “Atlas da Mata Atlântica”, da Fundação SOS Mata Atlântica e INPE (2021) que apresentam gráficos e mapas interativos com informação atualizada do estado de conservação das florestas, mangues e restingas em todos os 3.429 municípios brasileiros que apresentam resquícios de Mata Atlântica.

No levantamento das alterações na cobertura florestal, destacam-se duas limitações: a cobertura de nuvens, que prejudica o processamento das imagens, podendo resultar em áreas não observadas; e, a limitação do mapeamento, que necessita de uma área mínima de 3 *ha*, tanto na detecção das alterações florestais como na identificação dos remanescentes florestais. Para fins de monitoramento, áreas com desmatamento inferior a 3 *ha* são marcadas como indício de desmatamento e serão observadas novamente em novas versões dos relatórios (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA e INPE, 2020).

A consulta aplicada de 2011 a 2017<sup>29</sup> ao estado do Ceará resultou em 61 municípios monitorados e distribuídos entre cinco das sete mesorregiões cearenses (Figura 7). A mesorregião 1 compreende 26 municípios monitorados (50,51% do total), seguida da mesorregião 2 com 20 municípios (28%) e mesorregiões 3, 5 e 7 conjuntamente com 14 municípios monitorados (21,49%).

O processo de desmatamento pode se dar em função de diversas atividades, em especial das antrópicas. Com base nisso, utilizam-se de informações da agropecuária, consumo, demografia, econômicas e fiscais<sup>30</sup>, mercado de trabalho e aspectos geoambientais, oriundos de diversas fontes, como observado no Quadro 2.

As informações de economia, população e território são extraídas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e incluem a Densidade Populacional – *DPOP* (IBGE, 2021a), o *PIBpc* (IBGE, 2021c) e suas formas quadrática e cúbica, o Valor Adicionado

---

<sup>28</sup> O projeto tem por objetivo conservar e restaurar áreas de Mata Atlântica, visando a recuperação da biodiversidade e a proteção dos recursos hídricos na região.

<sup>29</sup> Durante a elaboração desta pesquisa, não havia sido divulgado o PIB municipal referente ao ano de 2018, logo há uma limitação para o uso dos dados sobre o desmatamento para o ano de 2017.

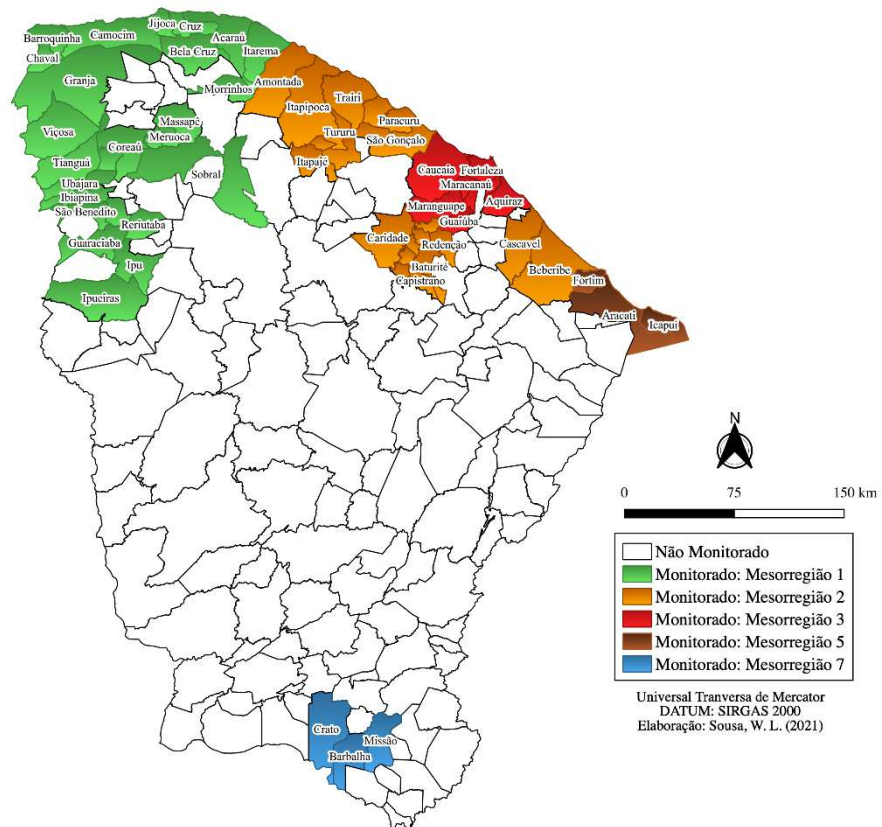
<sup>30</sup> Ambos os indicadores deflacionados pelo Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI), tomando-se por base o ano de 2015.

Bruto da Agropecuária –  $VAB_{pc}^{agro}$  (IBGE, 2021d), o efetivo do rebanho bovino –  $BOV$  (IBGE, 2021e) e o Valor da Produção Extrativista –  $VPE$  (IBGE, 2021f).

O número de trabalhadores efetivamente empregados nos setores da Agricultura, Pecuária, Produção Florestal e Serviços Relacionados ( $Emp_{primário}$ ) são provenientes da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), do Ministério do Trabalho (MTB, 2021). Enquanto, o Consumo de Energia Elétrica Municipal ( $CEpc$ ) é fornecido pela Enel (2021).

As informações fiscais como o Fundo de Participação Municipal (FPM), o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e Receita Tributária (RT) foram extraídas do Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público (SICONFI, 2021), banco de dados criado pela Secretaria do Tesouro Nacional (STN).

Figura 7 - Municípios cearenses monitorados pelo programa “Aqui tem Mata?”.



Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

A Precipitação total anual observada ( $PRECI$ ) é da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2021) e a delimitação da Região Semiárida (RSA) no Brasil é do Ministério da Integração (MI, 2021). Quanto as áreas protegidas, foram geradas variáveis binárias relacionadas a presença das Unidades de Conservação (UC) terrestres

municipal, estadual e federal localizadas em território cearense (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2021).

Além disso, a base municipal conta com variáveis derivadas, construídas a partir do cruzamento de dois indicadores de diferentes fontes. Estas variáveis indicam valores integrais como proporção da população ou da área municipal. Citam-se, informações econômicas, fiscais e de consumo de energia elétrica em valores *per capita*, já a bovinocultura e população são expressas por  $km^2$ .

Quadro 2 - Descrição das variáveis e as fontes dos dados.

Variável	Descrição	Unidade	Fonte
<i>DESM</i>	Área desmatada dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais	<i>ha</i>	Fundação Mata Atlântica e INPE (2021)
<i>DPOP</i>	Razão da população absoluta e área ocupada por esse mesmo contingente populacional	<i>hab/km<sup>2</sup></i>	IBGE (2021a)
<i>PIBpc</i>	<i>PIBpc</i> municipal	R\$ de 2015	IBGE (2021c)
$(PIBpc)^2$	<i>PIBpc</i> municipal ao quadrado	-	Derivado do <i>PIBpc</i>
$(PIBpc)^3$	<i>PIBpc</i> municipal ao cubo	-	
$VAB_{pc}^{agro}$	VAB da agropecuária <i>pc</i>	R\$ de 2015	IBGE (2021d)
<i>BOV</i>	Razão do efetivo do rebanho de bovinos pela área municipal	contagem/ $km^2$	IBGE (2021e)
<i>VPEpc</i>	Valor da produção extrativista de carvão vegetal, lenha e madeira em tora <i>pc</i>	R\$ de 2015	IBGE (2021f)
<i>Emp.primário</i>	Empregos formais no setor primário da economia em relação ao total de empregos formais	%	MTB (2021)
<i>CEpc</i>	Consumo municipal de energia elétrica <i>pc</i>	<i>MWh pc</i>	Enel (2021)
<i>FPMpc</i>	Fundo de Participação Municipal <i>pc</i>	R\$ de 2015	SICONFI (2021)
<i>ICMSpc</i>	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços <i>pc</i>		
<i>RTpc</i>	Receita Tributária <i>pc</i>		
<i>PRECI</i>	Precipitação total anual observada	<i>mm</i>	FUNCEME (2021)
<i>RSA</i>	1 se município pertence ao Semiárido, 0 caso contrário (c.c)	variável binária	MI (2021)
<i>UC<sub>municipal</sub></i>	1 se o município tem UC municipal, 0 c.c		MMA (2021)
<i>UC<sub>estadual</sub></i>	1 se o município tem UC estadual, 0 c.c		
<i>UC<sub>federal</sub></i>	1 se o município tem UC federal, 0 c.c		

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

### 3.2 Modelo Empírico

Na estimativa da CKA aplicada ao desmatamento dos remanescentes florestais e áreas naturais não-florestais no Ceará, considerou-se a especificação do modelo que inclui a variável *PIBpc* na forma quadrática e cúbica, na seguinte expressão:

$$DESM_{it} = \beta_0 + \beta_1 PIBpc_{i,t-1} + \beta_2 (PIBpc)_{i,t-1}^2 + \beta_3 (PIBpc)_{i,t-1}^3 + \beta_k X_{i,t-1} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Em que,  $DESM_{it}$  é o desmatamento anual para cada um dos  $i$  municípios monitorados pelo programa “Aqui tem Mata?”, sendo  $i = 1, \dots, 61$ . O subscrito  $t$  para o conjunto de dados corresponde ao ano observado  $t = 2011, \dots, 2017$ , já o  $PIBpc_{i,t-1}$  denota o nível da atividade econômica do  $i$ -ésimo município no ano anterior e  $X_{i,t-1}$  corresponde ao conjunto de variáveis explicativas adicionais defasadas em um ano (Quadro 2). Os dados compõem um painel balanceado com 427 observações.

A partir disso, o formato da CKA está relacionado ao sinal e significância apresentados pelos coeficientes  $(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ . Uma condição suficiente para que a CKA apresente formato linear se dá quando  $\beta_1 > 0$  ou  $\beta_1 < 0$ , enquanto que  $\beta_2 = \beta_3 = 0$ . No caso de  $\beta_1 > 0$ , um aumento no  $PIBpc$  é linearmente relacionado ao desmatamento. Para o formato de “U-invertido” é suficiente que  $\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$  e  $\beta_3 = 0$ , já para o formato de “U”,  $\beta_1 < 0, \beta_2 > 0$  e  $\beta_3 = 0$ . Por fim, nos casos em que  $\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$  e  $\beta_3 > 0$  ou  $\beta_1 < 0, \beta_2 > 0$  e  $\beta_3 < 0$ , a curva assume forma de “N” e “N-invertido” respectivamente.

Note que, a variável dependente, o desmatamento anual dos remanescentes florestais de Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais pode ser considerada uma variável censurada, pois é razoável supor que o desmatamento não assume valores negativos, assim não se observa a variável de interesse se ela está abaixo do zero. Além disso, a análise destes dados revela que, das 427 observações para o desmatamento, 347 são observações nulas (desmate  $< 3$  ha), ou seja, há um excesso de zeros e não a ausência de informações.

Ao desconsiderar tais fatos (a censura e o excesso de zeros) as estimativas tradicionais de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) serão inconsistentes, pois os pressupostos do modelo linear clássico são violados. Um modelo que se aplica bem nestes casos é o *tobit*, proposto inicialmente por Tobin (1958), adequado quando a variável dependente é censurada ou truncada, além destes casos se adequa quando a variável dependente assume um número excessivo de zeros<sup>31</sup> (CALZOLARI, MAGAZZINI e MEALLI, 2001). Assim, o modelo *tobit* pode ser expresso na seguinte forma:

$$Y_{it} = \begin{cases} 0, & \text{se } Y_{it}^* \leq 0 \\ Y_{it}^*, & \text{se } Y_{it}^* > 0 \end{cases} \quad (4)$$

<sup>31</sup> Não confundir com modelos para dados de contagem inflacionados de zeros: *Poisson* Inflacionado de Zeros (*Zero-Inflated Poisson*, ZIP) ou Binomial Negativo Inflacionado de Zeros (*Zero-Inflated Negative Binomial*, ZINB).

Em que,  $Y_{it}^* = X'_{it}\beta + \varepsilon_{it}$  é observado apenas se estritamente positivo,  $X_{it}$  representa o vetor de variáveis explicativas e o termo  $\varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$  *i.i.d* e independente de  $X_{it}$ , com  $i = 1, \dots, N$  e  $t = 1, \dots, T$ . A função densidade de probabilidade quando  $Y$  é observado é (AMEMIYA, 1985):

$$f(Y_{it}|X_{it}; \theta) = \begin{cases} 0, & \text{se } Y_{it} < 0 \\ \Phi(-X'_{it}\beta/\sigma_\varepsilon), & \text{se } Y_{it} = 0 \\ \phi((Y_{it} - X'_{it}\beta)/\sigma_\varepsilon), & \text{se } Y_{it} > 0 \end{cases} \quad (5)$$

Onde,  $\Phi$  é a função de distribuição acumulada e  $\phi$  é a função densidade de probabilidade da distribuição normal padrão. Ao considerar o modelo para dados em painel, o termo de erro  $\varepsilon_{it}$  pode ser decomposto em (CALZOLARI, MAGAZZINI e MEALLI, 2001):

$$\varepsilon_{it} = \alpha_i + \lambda_t + u_{it} \quad (6)$$

Onde  $\alpha_i$  são os efeitos individuais (características não observáveis específicas da unidade  $i$  que são consideradas constantes ao longo do tempo) interpretados como parâmetros fixos ou como variáveis aleatórias, já  $\lambda_t$  é o efeito do tempo (características não observáveis no período  $t$ , constante para todas as unidades de corte transversal na amostra) e  $u_{it}$  é um termo aleatório que varia no tempo e com os indivíduos, além disso,  $u_{it}$  não está correlacionada ao longo do tempo (CALZOLARI, MAGAZZINI e MEALLI, 2001).

Modelos de regressão *tobit* com dados em painel podem assumir duas formas, sendo efeitos fixos ou efeitos aleatórios. Segundo Cameron e Trivedi (2005), em painéis menores ( $T < 8$ ) o estimador de efeitos fixos não se mostra consistente, assim o modelo de efeitos aleatórios é o mais indicado:

$$Y_{it}^* = \alpha_i + X'_{it}\beta + u_{it} \quad (7)$$

Em que,  $\alpha_i \sim N(0, \sigma_\alpha^2)$  *i.i.d*,  $u_{it} \sim N(0, \sigma_u^2)$  *i.i.d*, com  $u_{it}$  independente de  $\alpha_i$ , assume-se que da expressão (6) o termo  $\lambda_t = 0 \forall t$ . A equação (7) pode ser reescrita como (CALZOLARI, MAGAZZINI e MEALLI, 2001):

$$Y_{it}^* = \sigma_\alpha \alpha_i + X'_{it}\beta + \sigma_u u_{it} \quad (8)$$

Onde  $\alpha_i \sim N(0,1)$  *i. i. d* independente de  $u_{it}$ , com  $u_{it} \sim N(0,1)$  *i. i. d*. Devido ao efeito individual, as observações sobre a variável dependente para cada indivíduo  $i$  são correlacionadas. No entanto, atrelado ao efeito individual  $\alpha_i$ , a função de densidade conjunta condicional pode ser escrita como (GOURIEROUX e MONFORT, 1993):

$$f(Y_i|X_i, \alpha_i; \theta) = \prod_{t:Y_{it}>0} \frac{1}{\sigma_u} \phi\left(\frac{Y_{it}-X'_{it}\beta-\sigma_u\alpha_i}{\sigma_u}\right) * \prod_{t:Y_{it}=0} \Phi\left(\frac{-X'_{it}\beta-\sigma_u\alpha_i}{\sigma_u}\right) \quad (9)$$

$\Phi$  e  $\phi$  são a função de distribuição acumulada e a função densidade de probabilidade com distribuição  $N(0,1)$ . Como os efeitos individuais  $\alpha_i$  não são observáveis, a equação (9) não pode ser usada nas inferências. Para obter a máxima verossimilhança incondicional é preciso integrar o efeito individual  $\alpha_i$ :

$$f(Y_i|X_i; \theta) = \int f(Y_i|X_i, \alpha_i; \theta) dP^\alpha(\alpha) \quad (10)$$

Uma solução satisfatória para a integral (10) é o procedimento via integração numérica. Alternativamente, pode-se aproximar a integral (10) por meio de simulações replicadas, obtendo-se assim uma função de verossimilhança simulada a ser maximizada a fim de obter um estimador simulado de máxima verossimilhança (CALZOLARI, MAGAZZINI e MEALLI, 2001). Por fim, análises adicionais a regressão *tobit* com efeitos aleatórios serão feitas com especificações da variável *PIBpc* na forma quadrática e cúbica para modelos *tobit* com dados empilhados ou *pooled tobit* (modelos-base).

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados são apresentados e discutidos em três subseções que concentram a análise das estatísticas descritivas, seguido da caracterização das áreas desmatadas e remanescentes e, por fim, são apresentados os resultados econométricos a partir das especificações da CKA com termo do  $PIB_{pc}$  nas formas quadrática e cúbica, estimadas por regressões *pooled tobit* e *tobit* com efeitos aleatórios.

### 4.1 Análise Descritiva dos Dados

A Tabela 6 apresenta algumas estatísticas descritivas para o conjunto de dados. Em linhas gerais, as variáveis exibiram variação percentual positiva no intervalo de 2011 a 2017, a exceção da bovinocultura, do percentual de empregos no setor primário da economia em relação ao total de empregos formais e a precipitação.

A análise do desmatamento revela média anual de 6,93 *ha*/município, com máxima extensão desmatada de 375 *ha* no município de Trairi (litoral oeste do estado do Ceará). Destas observações, grande parte (81%) se referem a desmatamento abaixo dos 3 *ha*, logo são 347 observações nulas. Apesar de tal fato, o desmatamento nestas regiões pode estar ocorrendo pelo “efeito formiga”, desmatamentos pequenos o suficiente para que o satélite não capte sua presença.

No tocante a  $DPOP$ , a média é de 263 hab. a cada  $km^2$ , com adensamento máximo na cidade de Fortaleza (capital do estado do Ceará) e mínima no município de Granja. A bovinocultura tem lotação de 14,60 cabeças/ $km^2$ , com adensamento mínimo e máximo nas cidades Guaramiranga (região serrana), com 2,50 cabeças/ $km^2$  e Maranguape, com 34,41 cabeças/ $km^2$ , localizada na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF).

Das informações econômicas, destaque para o  $PIB_{pc}$ , com média de R\$ 10 mil, mínimo de R\$ 2,7 mil para a cidade de Tururu e máximo de R\$ 71 mil em SGA, município da RMF. Para o  $VAB_{pc}^{agro}$ , a média foi de R\$ 1,1 mil, com mínimo valor na cidade de Fortaleza e máximo em Missão Velha. Já o  $VPE_{pc}$  tem média de R\$ 6,87, com máximo valor pc em Frecheirinha (R\$ 122,48).

Quanto aos empregos formais no setor primário, verifica-se uma baixa participação em relação ao total dos empregos formais, com maior proporção (> 45%) no município de Icapuí (litoral leste). Em relação ao  $CE_{pc}$ , a média é de 0,98 *MWh*, com consumo mínimo na cidade de Granja e máximo em SGA. Por fim, para as informações fiscais, as médias do  $FPM_{pc}$ ,



*ICMSpc* e *RTpc* foram respectivamente, R\$ 560,65, R\$ 212,88 e R\$ 111,24. Destaque para o município de SGA, que detém as maiores métricas relacionadas ao *PIBpc*, *CEpc*, *ICMSpc* e *RTpc*, possivelmente pela presença do CIPP na região.

Tabela 6 - Estatísticas descritivas, 2011-2017.

	Média	Desvio-Padrão	Mínimo	Máximo	$\Delta\%$ (2011-2017)
<i>DESM</i>	6,93	31,08	0,00	375,00	58,68%
<i>DPOP</i>	263,00	1052,56	19,61	8343,06	6,82%
<i>PIBpc</i>	10056,60	8453,16	2751,99	71026,16	153,27%
<i>VAB<sub>pc</sub><sup>agro</sup></i>	1148,80	1102,73	11,23	8899,82	58,00%
<i>BOV</i>	14,60	6,76	2,50	34,41	-22,50%
<i>VPEpc</i>	6,87	11,65	0,00	122,48	16,76%
<i>Emp.primário</i>	5,07	9,72	0,00	71,41	-1,60%
<i>CEpc</i>	0,98	0,91	0,32	6,87	16,47%
<i>FPMpc</i>	560,65	296,60	0,00	2681,13	153,20%
<i>ICMSpc</i>	212,88	185,09	0,00	1283,49	228,47%
<i>RTpc</i>	111,24	196,27	0,00	2245,39	308,86%
<i>PRECI</i>	916,18	381,01	19,00	2382,00	-30,95%

Fonte: Elaborado pelos autores.

A matriz de correlação é apresentada na Figura 8, a partir da qual se observa alta correlação entre *PIBpc* e *ICMSpc* ( $r = 0,80$ ) e entre *PIBpc* e *RTpc* ( $r = 0,84$ ). Em função disso, optou-se por considerar apenas o *PIBpc* no modelo econométrico.

Figura 8 - Matriz de correlação entre as variáveis explicativas.

	<i>PIBpc</i>	<i>VAB<sub>pc</sub><sup>AGRO</sup></i>	<i>VPEpc</i>	<i>DPOP</i>	<i>BOV</i>	<i>Emp.primário</i>	<i>CEpc</i>	<i>FPMpc</i>	<i>ICMSpc</i>	<i>RTpc</i>	<i>PRECI</i>
<i>PIBpc</i>	1	0,05	-0,13*	0,26*	0,00	0,00	0,71*	0,07	<b>0,80*</b>	<b>0,84*</b>	0,15*
<i>VAB<sub>pc</sub><sup>AGRO</sup></i>	0,05	1	-0,13*	-0,17*	-0,09*	0,44*	0,02	0,25*	-0,01	-0,03	0,03
<i>VPEpc</i>	-0,13*	-0,13*	1	-0,11*	-0,03	-0,11*	-0,09*	0,01	-0,07	-0,12*	-0,21*
<i>DPOP</i>	0,26*	-0,17*	-0,11*	1	-0,05	-0,08	0,22*	-0,16*	0,17*	0,27*	0,19*
<i>BOV</i>	0,00	-0,09*	-0,03	-0,05	1	0,03	-0,02	-0,23	-0,03	-0,08	0,04
<i>Emp.primário</i>	0,00	0,44*	-0,11*	-0,08	0,03	1	0,10	0,02*	0,03	0,00	-0,03
<i>CEpc</i>	0,71*	0,02	-0,09*	0,22*	-0,02	0,10	1	-0,04	0,57	0,50	0,09
<i>FPMpc</i>	0,07	0,25*	0,01	-0,16*	-0,23	0,02*	-0,04	1	0,42*	0,12*	-0,14*
<i>ICMSpc</i>	<b>0,80*</b>	-0,01	-0,07	0,17*	-0,03	0,03	0,57*	0,42*	1	0,72*	0,07
<i>RTpc</i>	<b>0,84*</b>	-0,03	-0,12*	0,27*	-0,08	0,00	0,50*	0,12*	0,72*	1	0,15*
<i>PRECI</i>	0,15*	0,03	-0,21*	0,19*	0,04	-0,03	0,09	-0,14*	0,07	0,15*	1

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

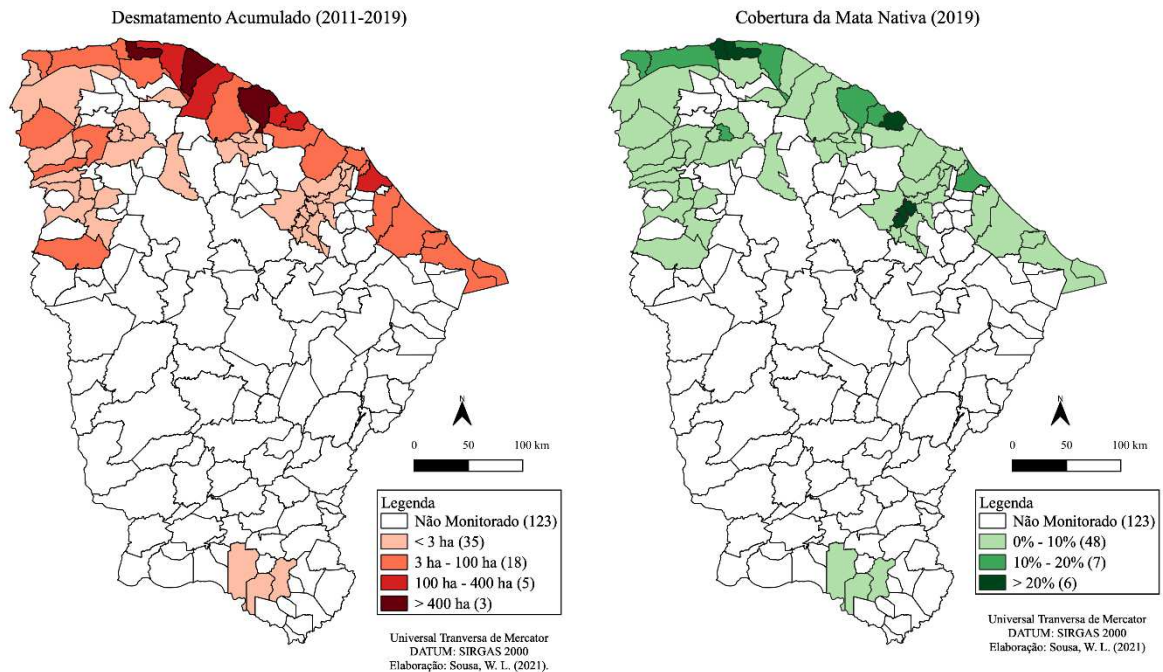
Nota: \* denota a significância ao nível de 5%.

#### 4.2 Análise sobre o desmatamento acumulado e mata nativa remanescente

A Figura 9 apresenta a distribuição espacial do desmatamento acumulado de Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 2011 a 2019, bem como a proporção destes domínios em relação a área municipal para o ano de 2019 (ano mais recente para as duas informações). Na desarborização, cores mais fortes evidenciam maior degradação, neste sentido

destacam-se os municípios de Cruz, Itarema e Trairi que respondem a 52% do total desmatado no intervalo de oito anos.

Figura 9 - Desmatamento acumulado e cobertura da mata nativa no estado do Ceará.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Além disso, o desmatamento está localizado, sobretudo no litoral, nas áreas de mangues e restingas das cidades de Acaraú, Amontada, Cruz, Itarema, Paracuru, Paraipaba e Trairi (porção oeste do estado). O recente desmatamento no litoral oeste pode se dar pela configuração destes locais como novos destinos turísticos, com o loteamento das terras para a construção das casas de veraneio e *resorts*, em face ao baixo custo da terra em alguns locais. Por outro lado, identificam-se 35 municípios monitorados com desmatamento inferior a 3 *ha*. Apesar de tal fato, é preciso levar em consideração o “efeito formiga” imposto pelo avanço das moradias e expansão da infraestrutura urbana.

No levantamento da mata nativa, cores mais fortes evidenciam maior proporção das áreas de Mata Atlântica e áreas naturais não florestais em relação a extensão territorial. Assim, seis municípios possuem mais que 20% do território coberto por mata nativa, sendo eles: Cruz, Guaramiranga, Jijoca de Jericoacoara, Mulungu, Pacoti e Paracuru. Contudo, nota-se que grande parte dos municípios monitorados encontra-se na faixa de mata nativa abaixo de 10% do território municipal.

### 4.3 Estimativas para a Curva de Kuznets Ambiental

Em relação a CKA, as versões na forma quadrática e cúbica foram estimadas por modelos de regressão *pooled tobit* e *tobit* com efeitos aleatórios. A Tabela 7 apresenta estes resultados, dentre os modelo-base (*pooled tobit*) e conforme o valor do AIC (*Akaike Information Criterion*) o modelo com melhor ajuste (1093,69 contra 1090,12) é aquele que incorpora a relação cúbica entre o desmatamento e *PIBpc*.

Para tal modelo, são significativas as variáveis *DPOP*, *BOV*, *CEpc*, *FPMpc* e as *dummies* para o semiárido e UC federais. A densidade populacional mostra relação negativa com a área desmatada anual, denotando que municípios com grandes adensamentos populacionais desmatam menos área de mata nativa. Mesmo com o resultado inesperado, é possível notar que na literatura científica, não há um consenso sobre o sinal obtido para a variável, pois algumas pesquisas encontraram relação positiva (CROPPER e GRIFFITHS, 1994), negativa (TEIXEIRA, BERTELLA e ALMEIDA, 2012) ou até mesmo observaram efeito nulo (OLIVEIRA *et al.*, 2011; COLUSSO, PARRÉ e ALMEIDA, 2012) entre desmatamento e demografia.

A pecuária bovina apresentou sinal inverso ao esperado (positivo), indicando que a presença da atividade agropecuária contribui para um menor desmatamento. Colusso, Parré e Almeida (2012) corroboram a relação negativa entre o rebanho bovino e desmatamento nos 1.306 municípios que apresentam área de Cerrado no Brasil para o ano de 2008. Por outro lado, estes resultados contradizem os achados por Oliveira *et al.* (2011) e em Barros e Stege (2019).

O incremento do consumo de energia elétrica *pc* é negativamente relacionado ao desmatamento anual que se estende entre os 61 municípios cearenses analisados. Embora as pesquisas que avaliem a hipótese da CKA não abordem diretamente a relação entre consumo de energia e desmatamento, o fazem para as emissões de  $CO_2$ , uma *proxy* para o desmatamento. Como consequência, os resultados obtidos indicam que as emissões de  $CO_2pc$  aumentam quando o *CEpc* se eleva (BIAGE e ALMEIDA, 2015; CARVALHO e ALMEIDA, 2010) conclusão contrária ao resultado desta pesquisa.

O *FPMpc* anterior está negativamente relacionado ao desmatamento, isto é, municípios que recebem maior repasse deste recurso desmatam menos em relação aos demais, o que está de acordo com o esperado. A transferência deste recurso aos municípios é atrelada ao fator população e ao *PIBpc*, assim cidades mais populosas e com alta renda *pc* recebem maior repasse. Por consequência, são mais desenvolvidas e possuem despesas significativas em serviços ofertados à população, como educação e saúde, fatores sem relação direta ao setor

florestal e desmatamento. Além disso, é razoável supor que áreas mais desenvolvidas dispõem de menos zonas verdes para desmatar.

As *dummies* geoambientais significativas foram a região semiárida e as UC federais. Os coeficientes apresentaram sinal negativo, levando a crer que os municípios inseridos em regiões de clima semiárido desmatam menos dos remanescentes florestais e não-florestais da Mata Atlântica em relação a aquelas com clima tropical úmido. Já, os municípios que possuem UC federais desmatam menos, isto é, a presença destas Áreas de Proteção Ambiental (APA) suaviza o desmatamento, mas não elimina por si só o desmate ilegal.

Em relação a CKA, o fato do  $(PIBpc)^3$  ser positivo sugere que o desmatamento da mata nativa remanescente aumenta quando o  $PIBpc$  aumenta, nos municípios amostrados. Isto decorre do formato de “N” da CKA, em que acréscimos na atividade econômica ( $PIBpc$ ) intensifica o desmatamento de Mata Atlântica. Os pontos de inflexão estimados são de R\$ 22 mil e R\$ 60 mil, sendo que o máximo local (R\$ 22 mil) contempla 91,8% dos municípios (responsáveis por 87% da área desmatada), que pertencem a parte ascendente da curva. Quatro municípios estão na região de  $R\$ 22 \text{ mil} \leq PIBpc \leq R\$ 60 \text{ mil}$ , representando pouco mais de 11% do desmatamento. E, por fim, na região de inclinação ascendente, com  $PIBpc \geq R\$ 60 \text{ mil}$  encontra-se o município de SGA.

Analisando os resultados dos modelos *pooled tobit versus tobit* com efeitos aleatórios, verifica-se que o teste da razão de verossimilhança (*Likelihood Ratio*, LR) para modelos *tobit* em dados em painel rejeitam  $H_0: \sigma_\alpha = 0$ , ou seja, devem-se analisar os resultados da regressão *tobit* com efeitos aleatórios. Quanto ao modelo, o que apresenta a relação cúbica entre o desmatamento e  $PIBpc$  tem o melhor ajuste conforme o AIC (1022,56 contra 1018,81).

Em termos de efeito, verifica-se que a pressão demográfica exercida pela densidade populacional se relaciona negativamente com o desmatamento, ou seja, acréscimos na  $DPOP$  suavizam a atividade do desmatamento. No entanto, esperava-se um efeito positivo dessa relação, entretanto, é plausível que devido a expansão inicial da malha urbana, algumas áreas verdes deem lugar as produções imobiliárias e obras de infraestrutura urbana. Assim, com a baixa disponibilidade das zonas verdes, devem-se preservar os fragmentos florestais urbanos.

Quanto ao rebanho bovino, o efeito é negativamente relacionado a área desmatada anual nos municípios monitorados. A intuição para a escolha desta variável no modelo é a de que, com a expansão das áreas de pasto, ocorreriam alterações na cobertura florestal. Porém, observando a produção nacional, se vê que o estado do Ceará responde a pouco mais de 1% do mercado brasileiro, em contrapartida os estados de Goiás e de Mato Grosso respondem a 10,6%

e 14% respectivamente da produção bovina em referência ao ano de 2018 (IBGE, 2021e), levantando suspeitas de que a atividade pecuária não é bem difundida no Ceará.

Tabela 7 - Resultados sobre o desmatamento dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais no Ceará, 2011-2017.

Modelo	Pooled Tobit		Efeitos Aleatórios Tobit	
	(PIBpc) <sup>2</sup>	(PIBpc) <sup>3</sup>	(PIBpc) <sup>2</sup>	(PIBpc) <sup>3</sup>
Constante	119,027* (52,379)	77,937 (55,170)	52,377 (66,803)	6,986 (69,655)
<i>DPOP</i>	-0,032* (0,008)	-0,031* (0,008)	-0,028* (0,013)	<b>-0,028*</b> (0,013)
<i>PIBpc</i>	0,017* (0,003)	0,025* (0,005)	0,012* (0,003)	<b>0,021*</b> (0,005)
( <i>PIBpc</i> ) <sup>2</sup>	-3,00e <sup>-07*</sup> (6,21e <sup>-08</sup> )	-7,78e <sup>-07*</sup> (2,44e <sup>-07</sup> )	-2,03e <sup>-07*</sup> (5,64e <sup>-08</sup> )	<b>-6,27e<sup>-07*</sup></b> (2,16e <sup>-07</sup> )
( <i>PIBpc</i> ) <sup>3</sup>		6,32e <sup>-12*</sup> (2,89e <sup>-12</sup> )		<b>5,10e<sup>-12*</sup></b> (2,34e <sup>-12</sup> )
<i>VAB<sub>pc</sub><sup>agro</sup></i>	-0,014 (0,010)	-0,015 (0,010)	-0,018 (0,013)	-0,018 (0,012)
<i>BOV</i>	-9,303* (1,727)	-9,093* (1,708)	-7,382* (2,136)	<b>-7,126*</b> (2,121)
<i>VPEpc</i>	-0,394 (0,075)	-0,153 (0,749)	0,312 (0,717)	0,594 (0,718)
<i>Emp<sub>primário</sub></i>	0,806 (0,998)	0,713 (1,003)	0,881 (1,378)	0,797 (1,367)
<i>CEpc</i>	-30,776* (10,706)	-27,688* (10,686)	-16,143 (12,591)	-15,455 (12,263)
<i>FPMpc</i>	-0,111* (0,034)	-0,115* (0,034)	-0,046 (0,037)	-0,063 (0,038)
<i>PRECI</i>	0,019 (0,017)	0,021 (0,017)	0,018 (0,013)	0,021 (0,013)
<i>RSA</i>	-95,389* (25,218)	-95,859* (24,965)	-82,405* (41,542)	-77,345 (40,972)
<i>UC<sub>municipal</sub></i>	-37,481 (41,967)	-40,106 (41,590)	8,605 (70,393)	4,369 (69,521)
<i>UC<sub>estadual</sub></i>	14,326 (13,391)	12,964 (13,348)	20,110 (24,782)	19,179 (23,840)
<i>UC<sub>federal</sub></i>	-37,698* (12,977)	-36,512* (12,898)	-33,395 (22,782)	-33,896 (22,575)
<i>/sigma</i>	76,303 (6,49)	75,718 (6,43)		
<i>/sigma<sub>α</sub></i>			62,537* (11,096)	61,792* (10,918)
<i>/sigma<sub>u</sub></i>			48,907* (4,235)	48,326* (4,181)
LR			73,120*	73,300*
AIC	1093,693	1090,122	1022,569	1018,819
Pseudo R <sup>2</sup>	0,070	0,087		
Nº Obs.	366	366	366	366
Ponto de inflexão	28333,333	Máx: 21923,520 Mín: 60143,980	29556,650	Máx: 23458,169 Mín: 58497,320
Forma Funcional	“U-invertido”	“N”	“U-invertido”	“N”

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

Notas: Erros-padrão robusto a heterocedasticidade entre parênteses. \* denota a significância ao nível de 5%.

Além deste fato, os dados para a bovinocultura cearense revelam uma redução gradual da atividade no estado. Acrescenta-se ainda, que a pecuária bovina pode estar sendo praticada principalmente no domínio morfoclimático da Caatinga cearense, logo a bovinocultura não estaria diretamente relacionada ao desmatamento anual nos domínios da Mata Atlântica e ecossistemas associados.

Novamente o (*PIBpc*)<sup>3</sup> é positivo, a CKA apresenta uma forma de “N”, implicando que a redução do desmatamento, quando a atividade econômica está crescendo, é transitória (até a parte de “U-invertido”), pois à medida que ocorrem aumentos adicionais no *PIBpc*, o desmatamento eleva, como ilustrado na Figura 10. Os pontos de inflexão encontrados foram de R\$ 23,5 mil e R\$ 58,5 mil.

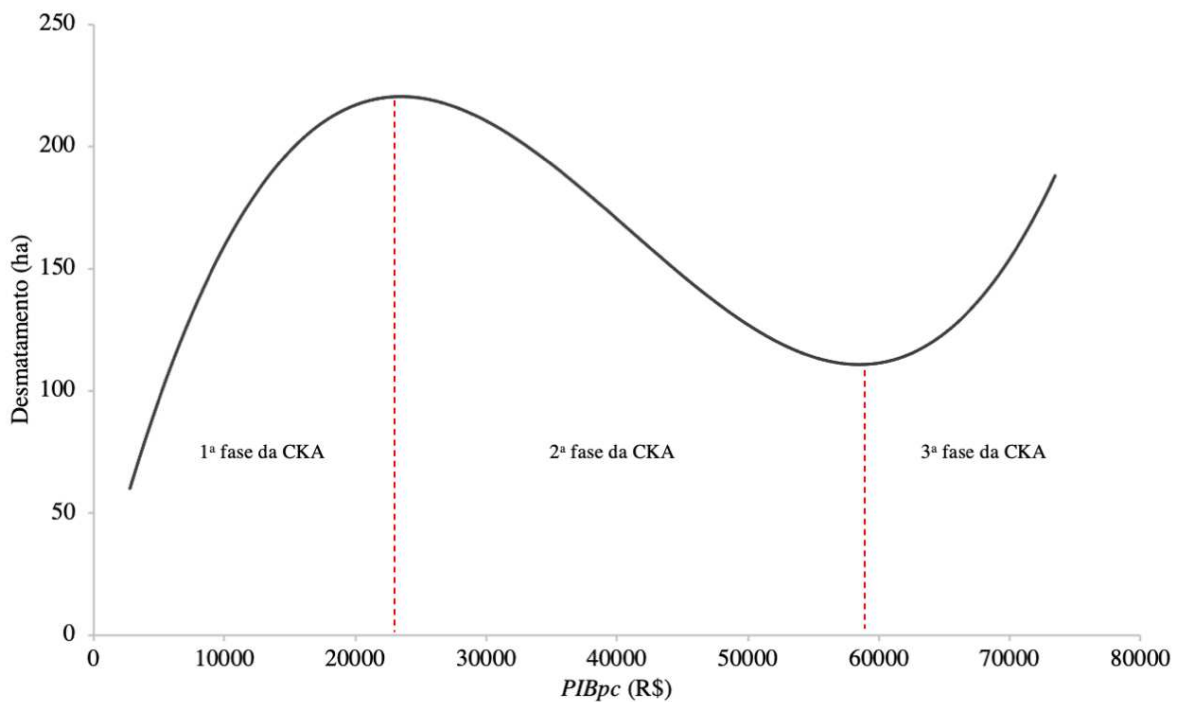
Na primeira fase da CKA, o ponto de máximo local do modelo (R\$ 23,5 mil) responde por 91,8% dos municípios da amostra, os quais são responsáveis por até 87% da área desmatada. Ao comparar o *PIBpc* médio dos municípios ao máximo local (R\$ 10 mil contra R\$ 23,5 mil) se observa que no curto prazo estas regiões ainda estarão na parte ascendente da curva e, por isso, ainda é possível que estes municípios adotem estratégias unilaterais (ou até de forma coordenada) para achatar a curva do desmatamento e, com isso, preservar as áreas remanescentes florestais da Mata Atlântica no Ceará, assim como as áreas naturais não-florestais.

Na segunda fase da CKA, que vai de R\$ 23,5 mil  $\leq$  *PIBpc*  $\leq$  R\$ 58,5 mil, figuram quatro municípios - Fortaleza, Aquiraz, Eusébio e Maracanaú (os três últimos na RMF), que respondem a pouco mais de 11% do desmatamento. Logo após o ponto de mínimo local (*PIBpc*  $\geq$  R\$ 58,5 mil), na terceira fase da CKA, situa-se o município de SGA, região estratégica por contemplar o CIPP, espaço de desenvolvimento econômico, industrial e social para o estado do Ceará.

A partir da forma de “N” da CKA pode-se inferir que o contínuo aumento da atividade econômica municipal, aferido pelo *PIBpc*, afeta de forma positiva o desmatamento. E, como este voltou a crescer, não se pode afirmar que os níveis de desmatamento atingiram um máximo absoluto na região de estudo. O resultado é similar ao de Colusso, Parré e Almeida (2012) que observaram uma CKA em formato de “N” para a relação entre crescimento econômico e degradação ambiental no bioma Cerrado. Entretanto, as diferentes relações entre desmatamento e renda pc, estabelecidas pelo formato de “U-invertido” (FERREIRA e COELHO, 2015; BARROS e STEGE, 2019) e “N-invertido” (OLIVEIRA *et al.*, 2011; RODRIGUES *et al.*, 2016) levam a conclusão de que a hipótese de “U-invertido” para o desmatamento não consegue se consolidar na literatura como um fato estilizado.

Por fim, quanto a hipótese da CKA, pode-se dizer que ela é verificada no formato de “U-invertido” apenas nos modelos com especificação quadrática do *PIBpc*. Ao incorporar o termo cúbico do *PIBpc* a CKA se configura na forma de “N”, rompendo o paradigma de que a atividade econômica gera por si só uma proteção automática ao meio ambiente, vis a vis ao desenvolvimento sustentável. Pelo contrário, as evidências encontradas por esta pesquisa apontam para a existência de um movimento cíclico na CKA nas áreas remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais no Ceará.

Figura 10 - Curva de Kuznets Ambiental para o desmatamento dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e áreas naturais não-florestais no Ceará, 2011-2017.



Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

## 5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa investigou a hipótese de “U-invertido” para a CKA entre o *PIBpc* e desmatamento anual dos remanescentes florestais e não-florestais da Mata Atlântica em uma amostra de 61 municípios cearenses monitorados pelo programa “Aqui tem Mata?” no período de 2011 a 2017.

As causas do desmatamento são condicionadas a diversas atividades, em especial as antrópicas. Para contemplar estas relações, utilizam-se as características associadas a agropecuária, consumo, demografia, informações econômicas e fiscais, mercado de trabalho e aspectos geoambientais. Compreender estas relações pode auxiliar no entendimento do processo de desenvolvimento sustentável da região, desacelerando o desmatamento em domínios da Mata Atlântica no Ceará.

Da análise descritiva para o desmatamento, destaca-se maior intervenção humana nos municípios localizados na faixa litorânea, com atenção as cidades de Cruz, Itarema e Trairi. Desta forma, o estado do Ceará não atende a meta 15.2 do 15º ODS para a Agenda 2030, de que até 2020 deve-se promover a implementação da gestão sustentável de todos os tipos de florestas, deter o desmatamento, restaurar florestas degradadas e aumentar substancialmente o florestamento e o reflorestamento globalmente (UNDP, 2021b).

Nos achados empíricos, a relação entre desmatamento e atividade econômica é verificada na forma de “N”. Na fase ascendente da CKA ( $PIBpc \leq R\$ 23,5$  mil), o desmatamento é crescente para baixos níveis de *PIBpc*. Por outro lado, na região de R\$ 23,5 mil a R\$ 58,5 mil de *PIBpc*, o desmatamento diminui à medida que o *PIBpc* se eleva, tornando-se novamente crescente para valores de *PIBpc* superior a R\$ 58,5 mil. Ademais, 91,8% dos municípios encontram-se na primeira fase ascendente da curva, já o *PIBpc* médio do Estado é de R\$ 10 mil, o que sugere que no curto prazo, grande parte destes municípios não atingirão a faixa intermediária da CKA, onde o desmatamento diminui com o aumento da atividade econômica. As análises da CKA, indicam que o nível de *PIBpc* é um fator crucial para o desmatamento.

Em relação a pressão demográfica exercida pela densidade populacional e pela bovinocultura, verifica-se que elas reduzem o desflorestamento. Todavia, vale ressaltar que a pecuária bovina não é tão expressiva no Ceará, e que a expansão das áreas de pasto pode se dar nos domínios da Caatinga, não tendo relação direta com a Mata Atlântica e suas formas naturais não-florestais. Para a densidade populacional, o efeito pode ser associado a preservação dos fragmentos florestais em áreas urbanas e limítrofes, em virtude da baixa disponibilidade de zonas verdes na região.



Em face a estes resultados, o formato em “N” da CKA revela um comportamento municipal, em que a atividade econômica não estaria alinhada ao desenvolvimento sustentável do recurso florestal, pois apenas quatro cidades estariam na parte intermediária da CKA, ao passo que, outras 56 cidades ainda estariam na primeira fase da curva, com intensa relação entre atividade econômica e área desmatada. Portanto, conclui-se que o aumento do *PIBpc* por si só não é um fator que promova melhoria na qualidade ambiental.

Enfatiza-se que, a cooperação unilateral dos municípios possibilita a preservação dos remanescentes florestais e áreas naturais não-florestais da Mata Atlântica, amenizando o desmatamento na região, sobretudo o ilegal. Ressalta-se que o monitoramento destas áreas pode auxiliar no desenho de políticas públicas destinadas ao uso sustentável dos recursos naturais, pois as florestas e ecossistemas associados ofertam diversos serviços ambientais e, além disso, a proteção destes *habitats* naturais previne a transmissão de zoonoses, por conta da interação amplificada entre humanos e animais promovida pela supressão ambiental.

## **CAPÍTULO 3 - EFEITOS LOCAIS DA CONSTRUÇÃO DO COMPLEXO INDUSTRIAL E PORTUÁRIO DO PECÉM EM INDICADORES DE SAÚDE DOS MUNICÍPIOS DE CAUCAIA E SÃO GONÇALO DO AMARANTE, CEARÁ - BRASIL<sup>32</sup>**

### **1 INTRODUÇÃO**

As transformações territoriais decorrentes da crescente demanda por bens industrializados proporcionam mudanças em diversos aspectos socioeconômicos<sup>33</sup> que alteram o estilo de vida e o bem-estar da população. Nesse contexto, integrando os programas Brasil em Ação e Avança Brasil, surge o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), um projeto estratégico do Plano de Desenvolvimento Sustentável do Ceará (1995-1998), voltado a ampliação do parque industrial e de sua zona de influência no estado (CEARÁ, 2013a).

Instalado entre os municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante, o CIPP contribui para o desenvolvimento econômico e social sustentável do Estado do Ceará, bem como, na geração de valor aos acionistas (CIPP, 2021a). Por outro lado, as instalações siderúrgicas e termelétricas movidas a carvão mineral podem trazer graves consequências socioambientais, sobretudo relacionadas à poluição atmosférica. A emissão de Material Particulado (MP<sup>34</sup>) e dos gases responsáveis pelas chuvas ácidas (dióxido de enxofre –  $SO_2$  e óxidos de nitrogênio –  $NO_x$ ) alteram a biodiversidade local e afetam a saúde humana, elevando o risco de doenças respiratórias nas comunidades circunvizinhas (RIGOTTO, 2009).

Em razão destes problemas, nas últimas décadas inúmeros estudos investigaram a relação entre qualidade do ar e indicadores de saúde. No âmbito internacional, destaca-se a pesquisa de Beatty e Shimshack (2014), que evidenciaram o impacto da exposição ao monóxido de carbono ( $CO$ ) no sistema respiratório infantil. Schlenker e Walker (2016) concluíram relação positiva entre as taxas de hospitalização e exposição ao  $CO$  na Califórnia. Na Suíça, Filippini, Masiero e Steinbach (2019) observaram que a poluição atmosférica teve um impacto substancial nas internações hospitalares.

Dos estudos nacionais que versam sobre os efeitos locais da instalação do CIPP sobre indicadores de saúde, citam-se pesquisas de caráter quali-quantitativa (BEZERRA *et al.*,

---

<sup>32</sup> Agradecemos a participação de Ana Cléssia Pereira e Maria Analice dos Santos na elaboração desse capítulo.

<sup>33</sup> Mercado de trabalho, educação, saúde, entre outros.

<sup>34</sup> O MP é classificado conforme seu tamanho, o diâmetro aerodinâmico médio das partículas. No intervalo de 2,5 a 10  $\mu m$  estão as partículas inaláveis grossas (MP<sub>2,5-10</sub>), enquanto as partículas finas ou respiráveis possuem diâmetro inferior a 2,5  $\mu m$  (MP<sub>2,5</sub>) (MINGUILLON, 2008).

2014; RIGOTTO, 2009; NUTO *et al.*, 2021). O trabalho pioneiro de Rigotto (2009) discute o impacto ambiental da inclusão da usina termelétrica a carvão mineral no CIPP. A autora alerta, que a opção pelo carvão mineral como combustível é impactante ao meio ambiente e à saúde humana, podendo causar insuficiência respiratória, advinda pela poluição atmosférica.

Bezerra *et al.* (2014) analisaram os aspectos do desenvolvimento econômico nas comunidades próximas ao CIPP, destacando o impacto do parque no ambiente, saúde e trabalho. Os autores concluíram um descompasso na adoção de políticas sociais voltadas à saúde, pois a exposição a novos meios de produção causa doenças agudas e crônicas que extrapolam a capacidade dos serviços de saúde ofertados. Couto *et al.* (2020) corroboram que a presença do complexo impacta na saúde e qualidade de vida dos moradores locais.

Em face ao exposto, o objetivo desta pesquisa consiste em avaliar os efeitos locais do funcionamento das Usinas Termelétricas I e II sobre as internações hospitalares e óbitos, dos municípios de Caucaia e SGA. Especificamente, analisam-se as internações e óbitos totais, por doenças no aparelho circulatório ou respiratório, classificados por ocorrência ou residência, com recorte por gênero e faixa etária, a partir de 2013, ano em que ambas as termelétricas operaram simultaneamente.

Com vista a este objetivo, o estudo utilizou uma base de dados para os 184 municípios cearenses, consolidada em 65 variáveis (com 11 covariadas) provenientes de 6 fontes de informações diferentes. A avaliação se estende de 2001 a 2019, em razão da melhor disponibilidade de dados. O Modelo de Controle Sintético foi aplicado somando 162 avaliações, 54 Agregadas para Caucaia/SGA e mais 108 avaliações individuais, 54 em cada cidade. O modelo constrói um grupo de “municípios cearenses sintéticos”, compondo o grupo de controle, que possuem características observáveis mais próximas possíveis daquelas unidades que receberam o tratamento, no caso da operação da UTE Pecém I e II.

A pesquisa contribui empiricamente com a literatura teórica que analisa o impacto dos danos e passivos ambientais ao meio ambiente e ao bem-estar populacional. Portanto, o estudo se justifica sob o escopo do desenvolvimento sustentável da região, pois do ponto de vista ambiental existem externalidades advindas da infraestrutura do complexo. Sob o escopo econômico, a exposição aos poluentes e MP é convertida em custos oriundos da internação das pessoas, além disso, os prejuízos se estendem ao mercado de trabalho, com os trabalhadores afetados pela poluição e na educação, a formação de capital humano é comprometida, pois os discentes podem se ausentar das atividades devido aos problemas respiratórios.

O trabalho está organizado da seguinte maneira: esta introdução é seguida do referencial teórico que apresenta o CIPP e estudos que relacionam fontes poluidoras a

indicadores de saúde. Em seguida, a metodologia é apresentada, com exposição e descrição da base de dados consolidada, assim como as principais informações de suas fontes e o modelo teórico da estimação por controle sintético. Por conseguinte, expõem-se as descritivas, os resultados das avaliações conjuntas e individuais e, na quinta e última são apresentadas as considerações finais a respeito do tema desenvolvido.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O Complexo Industrial e Portuário do Pecém

O CIPP foi concebido como um complexo industrial e portuário destinado ao desenvolvimento do parque industrial do estado do Ceará e da região Nordeste brasileira (CEARÁ, 2013a). Criado em 1995, o complexo tem área de 13.337 *ha*<sup>35</sup> que abrange os municípios de Caucaia e SGA (sobretudo no distrito do Pecém<sup>36</sup>), formando a Área de Influência Direta – AID do CIPP. Ademais, o complexo exerce influência na RMF, nos municípios cearenses de Itapipoca e Pentecoste, e a nível regional sua importância se estende na região Nordeste até a Bahia e, no Norte, até o estado do Pará (CEARÁ, 2013a).

A instalação do CIPP no distrito do Pecém foi estratégica, o terminal portuário possui o menor tempo de deslocamento entre o Brasil e seus principais parceiros comerciais (SECRETARIA ESPECIAL DOS PORTOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA - SEP/PR, 2015)<sup>37</sup>. Além da infraestrutura portuária, o complexo é formado por quatro setores destinados a instalação industrial, de serviços e da APA (Figura 11). O primeiro setor, comporta a Companhia Siderúrgica do Pecém (CSP), a Zona de Processamento de Exportação (ZPE) e as termelétricas. O segundo, receberia o projeto descontinuado da Refinaria *Premium II*<sup>38</sup> da Petrobrás, um polo petroquímico distribuidor de derivados. O terceiro contempla unidades industriais e de serviços de médio e grande porte e por fim, o quarto setor é composto pela área institucional, serviços e a ZPE, além do Terminal Intermodal de Cargas – TIC (CEARÁ, 2013b).

Quanto aos elementos da infraestrutura, a malha ferroviária é situada paralelamente a rodovia industrial (sentido norte - sul), com início no TIC e fim na zona portuária. No tocante as rodovias, a principal via de acesso é a rodovia CE - 155, que permeia o complexo no sentido norte - sul, e na direção leste - oeste a rodovia CE - 85 atravessa o CIPP. O fornecimento de água bruta dá-se por um canal adutor com 23,5 *km* de extensão, já o abastecimento de gás ocorre por um gasoduto construído pela Petrobrás e tubulação que conecta o terminal portuário até a Usina Termelétrica de Energia do Pecém (UTE TermoCeará). No fornecimento de energia

---

<sup>35</sup> 7.101,63 *ha* (53,25%) no município de Caucaia e 6.235,37 *ha* (46,75%) no município de SGA. Da área total do complexo (13.337 *ha*), 2.340 *ha* é destinada a Áreas de Preservação Permanente (APP) (CEARÁ, 2013a).

<sup>36</sup> SGA é organizada nos distritos de Cágado, Croatá, Pecém, São Gonçalo do Amarante (sede), Siupé, Taíba e Umarituba.

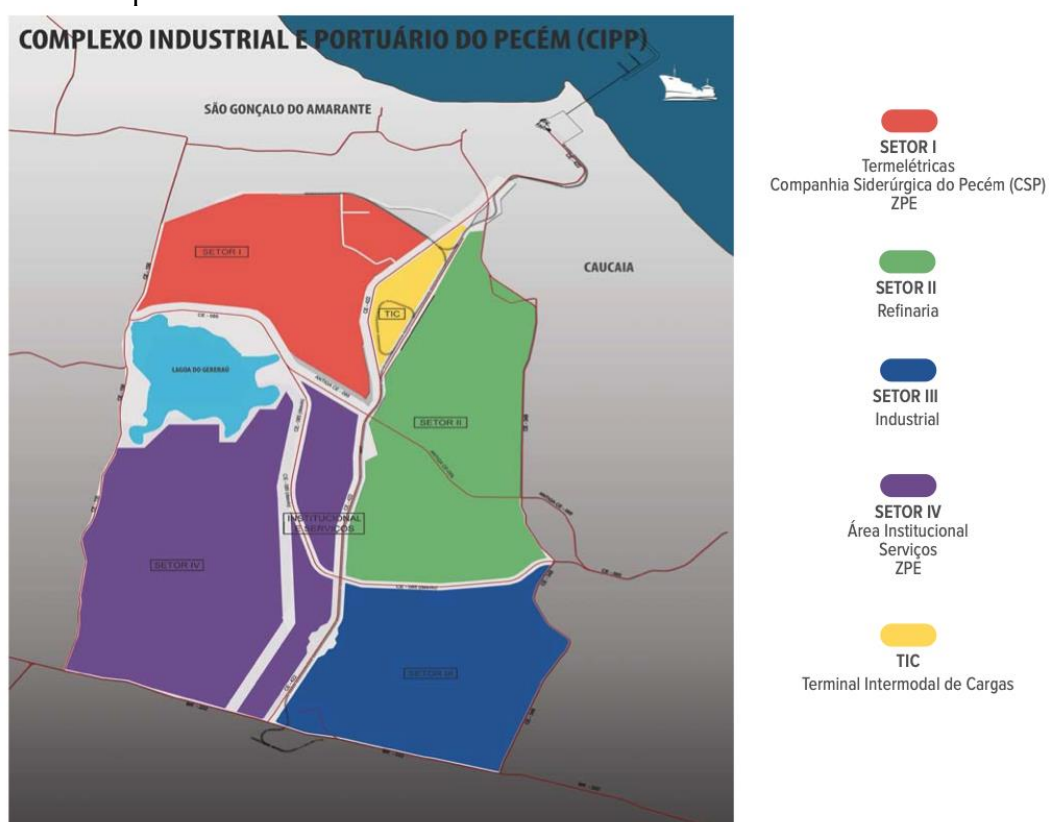
<sup>37</sup> O porto do Pecém fica a seis dias de viagem dos Estados Unidos (porto da Filadélfia), a cinco dias de Cabo Verde (porto de Praia) e a sete dias da Europa (porto de Algeciras) (SEP/PR, 2015).

<sup>38</sup> O projeto da Refinaria *Premium I* (Bacabeira, Maranhão - MA) foi descontinuado.

elétrica o CIPP conta com três subestações<sup>39</sup> e por fim as correias transportadoras de carvão mineral com 6 km de extensão e capacidade para movimentar 2.400 ton./hora (CEARÁ, 2013b).

Dos macroempreendimentos instalados, destaca-se a CSP, a primeira usina siderúrgica integrada da região Nordeste, resultado da parceria entre a empresa brasileira Vale e as coreanas *Dongkuk* e *Posco*. A siderúrgica iniciou suas atividades em 2016 e tem capacidade produtiva anual de 3 milhões de toneladas de aço, com geração de 23 mil empregos diretos e indiretos durante sua fase de construção e mais 14 mil em sua etapa de funcionamento (CEARÁ, 2013b).

Figura 11 - Complexo Industrial e Portuário do Pecém.



Fonte: Ceará (2013b).

A ZPE é destinada às indústrias exportadoras que usufruem da isenção de impostos, com regimes cambial e tributário diferenciados, pela lei da ZPE, no mínimo 80% de sua produção deve ser destinada para exportação, com possibilidade dos 20% restantes serem destinados ao mercado nacional, porém sem isenção de impostos (CEARÁ, 2013b). A UTE TermoCeará, resultado da parceria entre as empresas EDP energia do Brasil e MPX Energia, tem potência instalada de 720 MWh e máxima geração de energia na ordem de 6.307 GWh, o suficiente para

<sup>39</sup> Subestação da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), subestação do Pecém e subestação do Terminal Portuário.

abastecer uma população de 5 milhões de habitantes. A primeira destas, a UTE Pecém I, entrou em operação ao final de 2012, com investimento aproximado de R\$ 3 bilhões. No ano seguinte, entra em funcionamento uma nova termelétrica, a UTE Pecém II, com investimento total de R\$ 1,5 bilhões (CEARÁ, 2013b).

O carvão mineral, uma opção como fonte de energia no CIPP, desembarca no terminal portuário do Pecém, e segundo dados oficiais, nos anos de 2013 e 2015 movimentaram-se cerca de 1,05 milhão e 2,60 milhão de toneladas de carvão (SEP/PR, 2015). Para o ano de 2020 esperava-se demanda de 4,18 milhão de toneladas de carvão (SEP/PR, 2015), no entanto, com a pandemia da Covid-19, um dos minérios mais importantes do complexo atingiu 1,97 milhão de toneladas (CIPP, 2021b), metade do previsto.

Desta forma, são frequentes os problemas relacionados a emissão de fuligem devido à condução do material nas esteiras transportadoras (BARROS, 2017). Ademais, o cenário de possível funcionamento das unidades da Refinaria *Premium II* e Dutovia resultaria em chuvas ácidas (ocorrência de longo prazo, permanente e irreversível), aumento nas concentrações de CO, Compostos Orgânicos Voláteis (COVS) e de Hidrocarbonetos (HCs) na Área de Influência Indireta (AII) da Refinaria (raio de 10 km a partir dos seus limites) (FUNDAÇÃO DE APOIO A SERVIÇOS TÉCNICOS, ENSINO E FOMENTO A PESQUISAS - FASTEF, 2011).

Devido a delimitação da pesquisa nos problemas respiratórios oriundos da poluição atmosférica local, optou-se por resumir as outras externalidades negativas no Quadro 3. Desta forma, constata-se que as comunidades circunvizinhas a área de expansão do CIPP sofrem com passivos ambientais associados a perda de biodiversidade, poluição e degradação dos recursos naturais.

Quadro 3 - Aspectos Ambientais Impactados pela Construção do CIPP.

<b>Dimensão do Impacto</b>	<b>Caracterização</b>
Ar	Emissão de ruídos e vibrações, chuva ácida, emissões de gases para a atmosfera: CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , MP, HCs, COVS
Meio Antrópico	Crescimento populacional e ocupação urbana; perda de áreas rurais para uso urbano, descaracterização das praias e a construção desordenada de conjuntos habitacionais, crescimento do turismo predatório, desapropriação e reassentamento da população, aumento das doenças degenerativas; danos ao patrimônio histórico, cultural e arqueológico
Meio Biótico	Desmatamento, extração de madeira e queimadas; danos aos <i>habitats</i> e <i>microhabitats</i> decorrente do movimento de máquinas e veículos
Recursos Hídricos	Liberação de água de lastro; disposição inadequada de efluentes das atividades industriais; assoreamento dos corpos hídricos; alteração da qualidade das águas provocadas pelo carreamento de óleos e graxas; derramamentos acidentais
Uso e ocupação do solo	Disposição irregular de resíduos sólidos, urbanos e industriais; desmatamento; erosão do solo; derramamentos acidentais

Fonte: elaborado a partir de FASTEF (2011) e CEARÁ (2014).

## 2.2 Efeitos da poluição atmosférica em indicadores de saúde

O desenvolvimento econômico impulsionado pela construção do CIPP trouxe diversas implicações socioambientais para as comunidades circunvizinhas ao conglomerado. Nesse sentido, um dos vetores que interferem na promoção da saúde dos habitantes locais e empregados do complexo é a poluição atmosférica oriunda dos processos produtivos. A OMS (2018) destaca que a poluição do ar é um grande risco ambiental para a saúde cardiovascular e respiratória, sendo responsável por Acidente Vascular Cerebral (AVC), câncer de pulmão, doenças cardíacas e doenças respiratórias crônicas e agudas, incluindo a asma. Nesse contexto, a literatura sobre essa temática expõe estudos com maior ênfase sobre os efeitos da poluição do ar em morbidade, mortalidade e internações hospitalares.

No CIPP, Rigotto (2009) observou o impacto ambiental da futura operação da usina termelétrica movida a carvão mineral, concluindo que a escolha por este combustível fóssil é impactante tanto pela questão ambiental quanto na saúde humana, podendo causar insuficiência respiratória, provocada pela poluição atmosférica nas comunidades do seu entorno. Os impactos socioambientais são comuns devido à emissão de gases poluentes, destacando-se o  $SO_2$  e  $NO_x$ , que agravam as doenças respiratórias, reduzem a capacidade pulmonar, e são associados ao envelhecimento precoce. Além de prejudicar a saúde humana, esses gases são responsáveis pela chuva ácida, fenômeno que altera a qualidade do solo e da água, interferindo na biodiversidade. As termelétricas de carvão liberam  $CO$ , um dos gases do efeito estufa, que exerce influência sobre a saúde, podendo causar isquemia cardiovascular.

Bezerra *et al.* (2014) também analisaram os aspectos do desenvolvimento econômico nas comunidades próximas ao CIPP, destacando o impacto do empreendimento sobre o mercado de trabalho, meio ambiente e saúde das pessoas. Eles constataram que existe uma preocupação dos habitantes com o impacto advindo da expansão dessa malha industrial nas mudanças de vida e formas de trabalho. Além disso, concluíram que a ausência de políticas sociais voltadas à promoção da saúde, dada a dinâmica do setor de produção prejudica a qualidade de vida, agravando doenças agudas e crônicas que extrapolam a capacidade dos serviços de saúde oferecidos para os expostos a esses novos meios de produção.

Ao avaliarem o conhecimento dos moradores locais sobre o CIPP, com foco na qualidade de vida das comunidades (prevalência de hipertensão e excesso de peso), Nuto *et al.* (2021) realizaram uma pesquisa domiciliar de caráter primário, envolvendo cinco áreas<sup>40</sup> da

---

<sup>40</sup> Caucaia (Matões) e SGA (Acende-Candeia, Parada, Planalto e Praia).



Estratégia de Saúde da Família (ESF) dos municípios de Caucaia e SGA no período de outubro de 2017 a março de 2018. Os moradores do bairro Parada (SGA) relataram a maior parte dos problemas relacionados às partículas aéreas (51,10%), pior conceito em relação ao CIPP (40,10%), maior piora da qualidade de vida (29,10%) e grande desejo de mudar (31,50%). Além de que, o excesso de peso esteve presente em todas as comunidades amostradas.

Ainda no estado do Ceará, para a cidade de Fortaleza, Rocha *et al.* (2020) avaliaram os benefícios à saúde pública da redução na concentração de  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$  entre 2015 a 2017. Examinando por cenários preditivos, os autores concluíram que mediante uma diminuição no nível de  $MP_{10}$  em  $5 \mu g/m^3$  teria evitado mais de 130 hospitalizações devido às doenças cardiorrespiratórias por ano e em outra simulação, com redução de  $20 \mu g/m^3$  teria evitado 410 hospitalizações.

Nos estudos internacionais, o impacto da poluição do ar nos indicadores de saúde é condicionado à saúde infantil, bem como na mortalidade em geral. Beatty e Shimshack (2014) concluíram que existe um impacto da exposição ao *CO* na saúde respiratória das crianças em um estudo na Inglaterra. Schlenker e Walker (2016) estimaram o impacto da poluição do ar no estado da Califórnia (EUA), e inferiram que existe relação entre as taxas de hospitalização e a exposição ao *CO*. Esses estudos reconhecem que os poluentes diminuem a expectativa de vida, aumentam o número de mortes por pneumonia, asma e infarto agudo do miocárdio, elevam também o número de internações por doenças respiratórias, comprometendo a qualidade de vida e sobrecarregando o sistema de saúde.

Filippini, Masiero e Steinbach (2019) também caracterizaram a relação entre a exposição à poluição do ar e a morbidade na população da Suíça. Os dados utilizados foram referentes às internações hospitalares para categorias de doenças específicas entre 2001 e 2013. Os autores abordaram o erro de medição na variável de tratamento usando medidas de poluição atmosférica geograficamente explícitas e derivadas de um modelo de dispersão que replica as condições atmosféricas e responde por várias fontes de emissão. Para explorar a relação entre poluição do ar e internações hospitalares, foi utilizado o estimador de probabilidade Pseudo-Máxima Verossimilhança (PMV) de *Poisson*. Os resultados apontam que a poluição do ar tem um impacto substancial nas internações hospitalares.

Dada a combinação dos efeitos agudos e crônicos da exposição à poluição atmosférica sobre risco de AVC, as evidências mostram que estas hospitalizações são maiores em áreas com elevados níveis de poluição. Visto isso, em estudo para a Itália, Vidale *et al.* (2010) examinaram a hipótese da correlação entre o nível de poluição do ar e o AVC Isquêmico (AVCI), assim como em internações hospitalares e na mortalidade da população urbana. O período

avaliado envolveu os anos de 2000 a 2003, em que foi aplicado um modelo de estimativa da distribuição de *Poisson*, com a inserção de variáveis meteorológicas como covariadas. Assim, os autores concluíram que, a curto prazo existe uma relação entre a exposição à poluição do ar e AVCI, e o aumento da taxa de mortalidade.

Na avaliação do risco de saúde das populações próximas a empreendimentos industriais, destaca-se a pesquisa de Valenti *et al.* (2016), que analisaram a incidência das doenças respiratórias na comunidade de Piquiá de Baixo (Açailândia – MA, Brasil) expostos a poluição atmosférica por partículas finas (MP<sub>2,5</sub>) em conexão a indústria siderúrgica. A partir de questionários, histórico médico e avaliação clínica da função respiratória por meio da espirometria com uma amostra de 220 pessoas, verificou que 28% da amostra sofre de patologias respiratórias, corroborando que a presença de partículas finas no ar causa uma queda significativa na função respiratória.

Na Espanha, Cambra *et al.* (2011) estudaram a associação entre a proximidade das instalações industriais poluidoras do ar e mortalidade no país Basco entre 1996 e 2003. Assumiu-se que os principais impactos da poluição industrial ocorreram dentro de um limite de 2 km de distância da fonte. As causas de mortalidade estudadas foram: câncer traqueal, brônquico e pulmonar; tumores hematológicos; cardiopatia isquêmica; doenças cerebrovasculares; doenças crônicas do trato respiratório inferior e câncer de mama (em mulheres). Para tanto, utilizaram de Modelos Mistos Lineares Generalizados de *Poisson* em um ambiente *bayesiano*. Dentre os resultados, a proximidade das indústrias de produção de energia está atrelada ao aumento do risco de morte por câncer traqueal, brônquico e pulmonar em homens. Ademais, a proximidade as indústrias de processamento de metais estão relacionadas ao aumento de mortalidade por cardiopatia isquêmica e doenças respiratórias em mulheres, enquanto a proximidade com a indústria mineral foi associada a menor mortalidade total e isquêmica por doença cardíaca no gênero feminino, maior mortalidade por câncer de mama em mulheres e menor mortalidade por doenças respiratórias em homens.

Os estudos acima mencionados exploraram os efeitos da poluição atmosférica na morbidade e mortalidade. Entretanto, outras pesquisas abordaram os custos econômicos associados à exposição das pessoas ao MP. Dentre os estudos internacionais, expõe-se o de Pascal *et al.* (2013), um grande projeto que calculou em termos monetários os impactos na saúde devido à exposição crônica ao MP<sub>2,5</sub> em habitantes de 25 cidades europeias. Dentre os achados, na capital da Grécia, Atenas, os gastos públicos em saúde atingiram US\$ 6 bilhões, em Bucareste (capital da Romênia) os custos com saúde foram de US\$ 1 bilhão, em Dublin

(capital da Irlanda) foi demandado cerca de US\$ 22 milhões e, por fim, na comuna francesa de *Le Havre* os gastos se aproximaram de US\$ 224 mil.

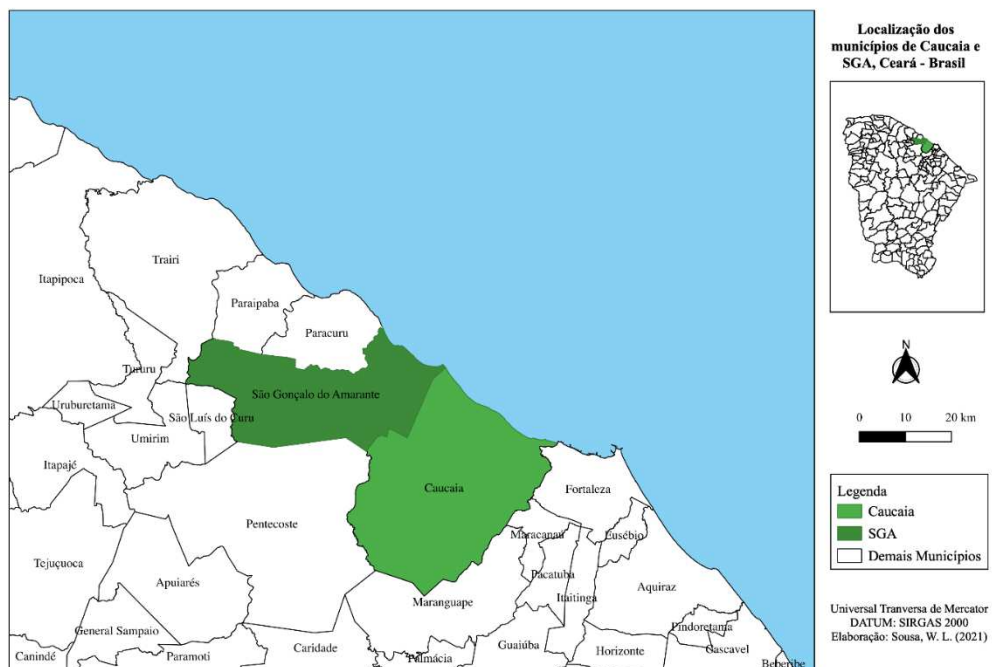
Dentre os estudos nacionais que seguem a mesma linha de pesquisa, indicam-se o de Abe e Miraglia (2016) que concluíram que caso a cidade de São Paulo reduzisse a concentração de MP<sub>2,5</sub> em cerca de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , aproximadamente 1.724 mortes seriam evitadas, resultando em um ganho anual de US\$ 4,96 bilhões. Silva, Abe e Miraglia (2017) concluíram que em Diadema (município do estado de São Paulo) uma redução na concentração de MP<sub>2,5</sub> em cerca de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  teria evitado 21 mortes a cada 100.000 habitantes e custo evitado de US\$ 189 milhões.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Área de Estudo

A pesquisa contempla a AID do CIPP, Caucaia e SGA, municípios da Grande Fortaleza, pertencentes ao estado do Ceará (região Nordeste do Brasil) - Figura 12. A estimativa da população residente em Caucaia e SGA é de respectivamente 368.918 e 49.306 habitantes<sup>41</sup> (IBGE, 2021a), e a respeito da extensão territorial as duas cidades possuem conjuntamente 2062,9  $km^2$ , com o território Caucaia 1,5 vezes maior que SGA.

Figura 12 - Localização dos municípios de Caucaia e SGA no estado do Ceará, Brasil.



Fonte: Elaborado com base nos dados da pesquisa.

Do território, cerca de 3,2%<sup>42</sup> das terras municipais são destinadas as práticas agrícolas (IBGE, 2021b), enquanto 2,9% da sua extensão é reservada a unidades de preservação ou de conservação ambiental (MMA, 2021). Conforme delimitação da RSA brasileira, ambas cidades pertencem à zona semiárida (MI, 2021) com precipitação observada de 1.578  $mm$  em Caucaia e de 1.513,20  $mm$  em SGA (FUNCEME, 2021), para o ano de 2020. Dentre as atividades econômicas do CIPP, pode-se destacar, o setor siderúrgico, refino de petróleo,

<sup>41</sup> Estimativa com data de referência em 1º de julho de 2021.

<sup>42</sup> O equivalente a 67,36  $km^2$ , área destinada à colheita das lavouras permanentes e temporárias.

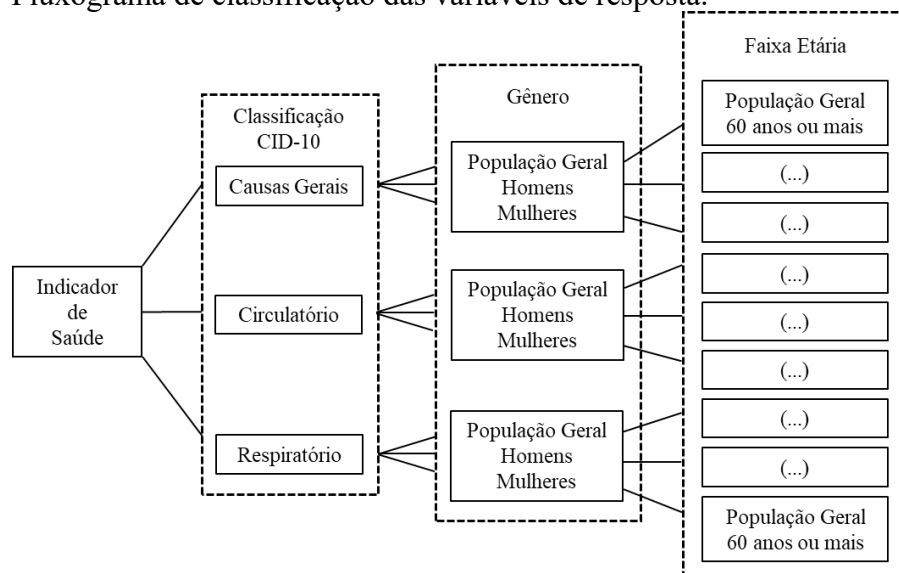
petroquímica, a geração de energia elétrica, a presença do terminal portuário e da ZPE (EMBRAPA, 2023).

### 3.2 Base de Dados

Os dados foram consolidados em um painel desbalanceado com características anuais dos municípios cearenses no período de 2001 a 2019 ( $n = 3.496$ ), o que forneceu informações com 13 anos pré-intervenção e seis anos pós-intervenção. As variáveis de resposta foram obtidas do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil - DATASUS (2021a) e correspondem aos seguintes indicadores de saúde: internações por local de residência, óbitos por local de ocorrência e óbitos por local de residência<sup>43</sup>.

Na sequência, cada indicador de saúde foi categorizado conforme a Classificação Internacional de Doenças (CID – 10) por causas gerais, doenças do aparelho circulatório ou por doenças do aparelho respiratório<sup>44</sup> (DATASUS, 2021c). Por fim, realizou-se recorte por gênero e considerações por faixa etária conforme a Figura 13. Desta forma, cada indicador de saúde foi subclassificado em 18 variáveis, e cada município contará com 54 variáveis resposta (a lista completa dessas variáveis pode ser encontrada no Apêndice C).

Figura 13 – Fluxograma de classificação das variáveis de resposta.



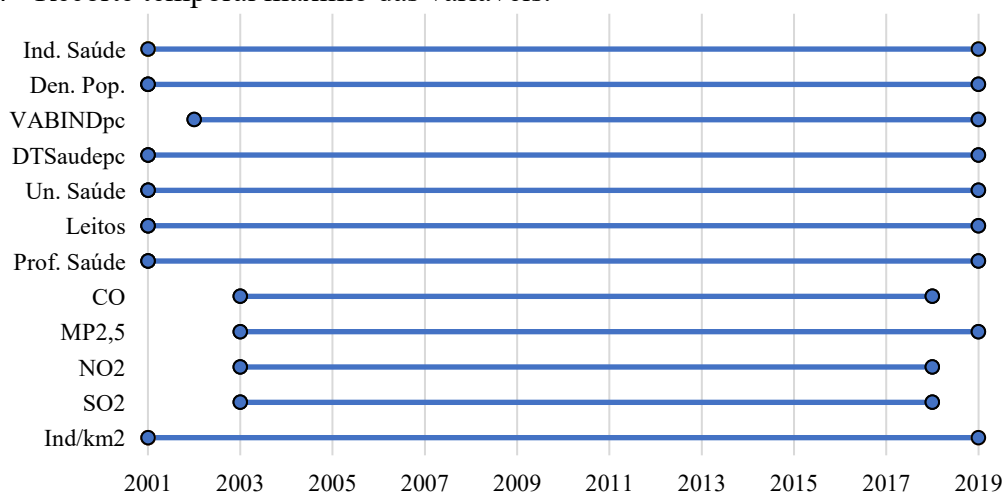
Fonte: Elaborado pelo autor.

<sup>43</sup> Local de residência: local de residência do paciente ou falecido, conforme informado pela unidade hospitalar. Local de ocorrência: local de ocorrência do óbito (DATASUS, 2021b).

<sup>44</sup> Conforme a CID - 10, Capítulo IX, categorias I00-I99 para doenças do aparelho circulatório e Capítulo X, categorias J00-J99 para doenças do aparelho respiratório. Maiores detalhes no Apêndice B.

As covariadas incluem 11 indicadores numéricos distribuídos nos setores demográfico, econômico<sup>45</sup>, saúde e meio ambiente dos 184 municípios cearenses. No recorte temporal (Figura 14), seis destas variáveis cobrem o período de 2001 a 2019 e exceções podem ser vistas nas variáveis relacionadas a poluição local, as concentrações de  $CO$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ .

Figura 14 - Recorte temporal máximo das variáveis.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além desses aspectos, os dados são oriundos de cinco fontes de informações distintas, com destaque para os indicadores consolidados das bases do IBGE e da Secretaria da Saúde do Estado Ceará (SESA) que contemplam cinco variáveis conjuntamente. Do IBGE extraem-se dados de economia e população, incluindo a estimativa da população residente (IBGE, 2021a) e o VAB da Indústria (IBGE, 2021d). Da SESA coletaram-se informações das unidades de saúde, leitos ligados ao Sistema Único de Saúde (SUS) e o número de profissionais de saúde (SESA, 2021). Já, do Sistema de Informações sobre Orçamentos Públicos em Saúde (SIOPS, 2021) inclui-se as despesas municipais com saúde.

Do Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde (SISAM, 2021) foram obtidas as concentrações diárias dos seguintes poluentes:  $CO$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ . Para fins de análise, a concentração anual foi obtida por média aritmética simples das concentrações diárias de cada um destes poluentes no intervalo de um ano. Da Secretaria da Fazenda do Estado do Ceará (SEFAZ/CE, 2021) foi obtida a quantidade das empresas industriais por município.

O Quadro 4 consolida em maiores detalhes as variáveis, descrição e unidade de medida. É importante destacar a taxa de preenchimento das variáveis que em sua maioria é de 100%. A única exceção a essa tendência, é vista nas despesas totais com saúde. Além disso, a

<sup>45</sup> Informações econômicas e fiscais deflacionadas pelo IGP-DI, tomando-se por base o ano de 2010.

base municipal conta com informações derivadas, construídas a partir do cruzamento de dois indicadores de diferentes fontes. Estas variáveis indicam valores integrais como proporção da população ou da área do município. Citam-se, dados econômicos em valores *per capita*, a razão população estimada/área municipal e a relação do número de indústrias/área municipal.

Quadro 4 - Informações gerais da base de dados.

Variável	Descrição	Unidade	Preenchimento	Fonte
Densidade populacional	Razão da população absoluta e área ocupada por esse mesmo contingente populacional	<i>hab/km<sup>2</sup></i>	100%	IBGE (2021a)
<i>VABIndpc</i>	VAB industrial dividido pelo número de habitantes da região	R\$ de 2010		IBGE (2021d)
Despesas com saúde	Despesa total com saúde <i>pc</i> municipal	R\$ de 2010	99,94%	SIOPS (2021)
Unidades de saúde	Nº de unidades de saúde ligadas ao SUS por municípios	Contagem	100%	SESA (2021)
Leitos	Quantidade de leitos ligados ao SUS, segundo os municípios			
Profissionais de saúde	Nº de profissionais de saúde cadastrados em entidades públicas e privadas			
<i>CO</i>	Concentração de Monóxido de Carbono próximo da superfície	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100%	SISAM (2021)
<i>MP<sub>2,5</sub></i>	Concentração de Material Particulado diâmetro < 2,5 $\mu\text{m}$ próximo da superfície			
<i>NO<sub>2</sub></i>	Concentração de Dióxido de Nitrogênio próximo da superfície			
<i>SO<sub>2</sub></i>	Concentração de Dióxido de Enxofre próximo da superfície			
Indústrias	Quantidade de empresas industriais ativas por <i>km<sup>2</sup></i>	<i>Ind./km<sup>2</sup></i>	100%	SEFAZ (2021)

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.3 Controle Sintético

Na avaliação de impacto do funcionamento das UTE I e II sobre os indicadores de saúde dos municípios de Caucaia e SGA será utilizada a metodologia de controle sintético, introduzida por Abadie e Gardeazabal (2003) e, posteriormente, desenvolvida em Abadie, Diamond e Hainmueller (2010; 2011). A unidade de controle sintético consiste na média ponderada das unidades candidatas a controle disponíveis que apresentam características mais próximas da unidade tratada antes da intervenção (ABADIE; GARDEAZABAL, 2003).

Nesse sentido, os métodos de controle sintético mostram a contribuição de cada unidade de controle disponível e a similaridade, antes da intervenção, entre a unidade tratada e sua contraparte sintética. O método é utilizado em estudos de casos com amostras reduzidas e com apenas uma ou poucas unidades de tratamento, como é o caso em questão. A intuição consiste em construir um grupo de “municípios cearenses sintéticos”, que é o grupo de controle,

com as características observáveis mais próximas possíveis dos municípios que receberam o tratamento, no caso da instalação das termelétricas nos municípios de Caucaia e SGA.

Os resultados serão estimados sobre o Agregado Caucaia/SGA e para conferir mais segurança aos achados, serão feitas avaliações individuais em cada unidade tratada. Logo, a estratégia para verificar os efeitos da intervenção em Caucaia e SGA consiste em excluir da análise os municípios limítrofes aos mesmos, pois entende-se que os efeitos da poluição podem enviesar os indicadores de saúde das cidades vizinhas. Ademais, excluiu-se a cidade de SGA para verificar os efeitos em Caucaia e para observar os efeitos sobre SGA, Caucaia foi excluída.

A descrição formal do método é apresentada por Abadie, Diamond e Hainmueller (2011), em que as unidades (municípios)  $j = 1, \dots, J + 1$  são observadas para os períodos  $t = 1, \dots, T$ . A unidade  $j = 1$  é a unidade de interesse, isto é, a unidade tratada por uma intervenção, as demais unidades, de  $j = 2$  a  $J + 1$ , constituem o *donor pool*, isto é, o conjunto de unidades não tratadas pela intervenção e que servem como potenciais unidades de comparação com a unidade tratada. A intervenção ocorre no período  $T_0 + 1$ , de modo que  $1, 2, \dots, T_0$  são os períodos pré-intervenção e  $T_0 + 1, T_0 + 2, \dots, T$  são os períodos pós-intervenção.

Visando estimar o efeito da intervenção sobre o resultado da(s) unidade(s) tratada(s) no período pós-intervenção, define-se  $Y_{it}^N$  como o resultado que seria observado para a unidade  $i$  no momento  $t$  se a unidade  $i$  não estiver exposta à intervenção, e  $Y_{it}^I$  refere-se ao resultado que seria observado se a unidade  $i$  fosse exposta à intervenção. Este efeito é formalmente definido como a diferença entre os dois resultados potenciais  $\alpha_{1t} = Y_{1t}^I - Y_{1t}^N$  para os períodos  $T_0 + 1, T_0 + 2, \dots, T$ . Além disto, é possível incluir até  $M$  (linearmente independentes) combinações de resultados pré-intervenção (com  $M \leq T_0$ ) para controlar tais fatores comuns não observados (ABADIE; DIAMOND; HAINMUELLER, 2011).

Supõe-se que  $D_{it}$  seja uma variável *dummy* que assume valor 1 caso a unidade  $i$  seja exposta a intervenção no período  $t$ , e 0 caso contrário. O valor observado para a unidade  $i$  no momento  $t$  é:

$$Y_{1t}^I = Y_{1t}^N + \alpha_{1t}D_{it} \quad (11)$$

Os parâmetros a serem estimados são  $\alpha_{1T_0+1}, \dots, \alpha_{1T}$ . Uma vez que  $Y_{1t}^I$  é um fator observado em todos os períodos e  $Y_{1t}^N$  não observado, calcula-se então o  $Y_{1t}^N$ . Supõe-se que  $Y_{1t}^N$  seja dado pelo modelo fatorial mostrado a seguir:



$$Y_{1t}^N = \delta_t + \theta_t U_i + \lambda_t \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

Onde  $\delta_t$  é um fator comum desconhecido;  $\theta_t$  é um vetor ( $1 \times r$ ) de parâmetros desconhecidos, já  $U_i$  é um vetor ( $r \times 1$ ) de covariáveis observadas que não foram afetadas pela intervenção, podendo ou não variar no tempo;  $\lambda_t$  é um vetor ( $1 \times F$ ) de fatores comuns não-observáveis;  $\mu_i$  é um vetor ( $F \times 1$ ) de fatores municipais específicos e desconhecidos; e  $\varepsilon_{it}$  representa os choques transitórios não observados no nível municipal, com média zero para todos os  $i$ .

Para a construção da unidade de controle sintético, define-se o vetor ( $J \times 1$ ) de pesos  $W = (w_2, \dots, w_{J+1})'$  tal que  $w_j \geq 0$  para  $j = 2, \dots, J + 1$  e  $w_2 + \dots + w_{J+1} = 1$ , onde cada elemento do vetor representa uma média ponderada específica das unidades de controle, que podem se tornar o controle sintético. Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie Diamond e Hainmueller (2010) indicam a escolha dos pesos  $W^*$  de modo que a unidade de controle sintético resultante se aproxime da unidade exposta à intervenção em relação aos preditores de  $U_i$  e  $M$  combinações lineares para a variável de interesse antes da intervenção  $\underline{Y}_i^{K_1}, \dots, \underline{Y}_i^{K_M}$ . Formalmente, é selecionada  $W^* = w_2^* + \dots + w_{J+1}^*$  de modo que  $\sum_{j=2}^{J+1} w_j^* \underline{Y}_i^{K_1} = \underline{Y}_i^{K_1} \dots \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* \underline{Y}_i^{K_M} = \underline{Y}_i^{K_M}$  e  $\sum_{j=2}^{J+1} w_j^* U_j = U_1$ . Então:

$$\hat{\alpha}_{1t} = Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt} \quad (13)$$

Em que  $\hat{\alpha}_{1t}$  é o estimador nos períodos pós-intervenção. Para a obtenção numérica do estimador de controle sintético, se faz necessário definir uma distância entre a unidade de controle sintético e a unidade tratada. Por esse motivo, combinam-se as características da unidade exposta na matriz ( $k \times 1$ ), dada por  $X_1 = (U_1', \underline{Y}_1^{K_1}, \dots, \underline{Y}_1^{K_M})'$  e os valores das mesmas características das unidades de controle na matriz ( $k \times J$ ),  $X_0$  com a  $j$ -ésima linha  $(U_j', \underline{Y}_j^{K_1}, \dots, \underline{Y}_j^{K_M})'$ . Sabe-se que,  $k = r + M$ . Escolhe-se, portanto o vetor  $W^*$  para minimizar uma distância,  $\|X_1 - X_0 W\|$  entre  $X_1$  e  $X_0 W$ , sujeito às restrições de peso.

$$\|X_1 - X_0 W\|_v = \sqrt{(X_1 - X_0 W)' V (X_1 - X_0 W)} \quad (14)$$

O resultado da expressão (16) irá fornecer a matriz  $W^*$  que contém o peso ótimo estimado de cada município que possivelmente pode ser tido como controle, para que seja

construído o contrafactual. A matriz  $V$  é semidefinida simétrica e positiva ( $k \times k$ ). O termo  $V$  é incluído para permitir pesos diferentes para as variáveis em  $X_0$  e  $X_1$ , dependendo em seu poder preditivo sobre o resultado. Uma escolha ideal de  $V$  atribui pesos que minimizam o erro quadrático médio pré-tratamento (*Root Mean Squared Error – RMSPE*), que é a esperança de  $(Y_1 - Y_0W^*)'(Y_1 - Y_0W^*)$ .

#### 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados são apresentados e discutidos em três subseções. A primeira apresenta as estatísticas descritivas sobre os grupos de municípios tratados e controles. Na segunda parte, avaliam-se os impactos locais da operação das UTE I e II sobre os indicadores de saúde considerando o Agregado e individual. Por fim, a terceira dispõe dos testes de placebo com o intuito de checar a qualidade dos resultados obtidos na subseção anterior.

##### 4.1 Efeitos locais da construção do CIPP: estatísticas descritivas

A Tabela 8 apresenta as estatísticas descritivas por *status* de tratamento contemplando o ano de 2013. Em função da diversidade das variáveis resposta, optou-se por apresentar a média e o desvio-padrão para as 11 covariadas no intuito de construir um perfil para o grupo de municípios tratados e o grupo de potenciais controles (*donor pool*).

As unidades tratadas estavam em 2013 com VAB Industrial *pc* superior aos demais municípios (possivelmente em função do CIPP na região<sup>46</sup>). Além dessa, apresentaram maior porte do que os não tratados em indicadores populacionais, oferta de saúde, industrialização e em quase todas as medidas de poluição. Por outro lado, os municípios candidatos ao grupo de doadores apresentaram maior concentração de  $NO_2$  próximo a superfície.

Tabela 8 - Estatísticas descritivas por perfil das unidades (2013).

Variáveis	Tratados		Candidatos <i>Donor Pool</i>	
	Média	DP	Média	DP
Densidade populacional ( <i>hab/km<sup>2</sup></i> )	<b>168,10</b>	159,34	63,61	107,65
VAB Industrial <i>pc</i> (R\$)	<b>3925,69</b>	270,13	762,39	1587,56
Despesas com saúde <i>pc</i> (R\$)	<b>519,73</b>	202,34	457,76	137,65
Unidades de saúde (contagem)	<b>49,50</b>	40,30	17,75	14,70
Leitos (contagem)	<b>175,00</b>	195,16	59,33	117,81
Profissionais de saúde (contagem)	<b>1109,00</b>	854,18	222,02	237,56
CO	<b>111,76</b>	0,42	108,88	7,25

<sup>46</sup> Silva *et al.* (2020) avaliaram pelo método de controle sintético generalizado o efeito causal da instalação do CIPP sobre o crescimento econômico dos municípios de Caucaia e SGA. Os resultados apontam um período de transição do investimento, com efeito positivo sobre o *PIBpc* nas unidades tratadas após o ano de 2006.

MP <sub>2,5</sub>	<b>8,96</b>	0,66	7,40	0,81
NO <sub>2</sub>	1,46	0,05	<b>1,55</b>	0,52
SO <sub>2</sub>	<b>1,36</b>	1,18	0,70	0,34
Indústrias (ind./km <sup>2</sup> )	<b>0,74</b>	0,83	0,22	0,73
Total de Municípios	2		175	

Fonte: Elaborado pelo autor.

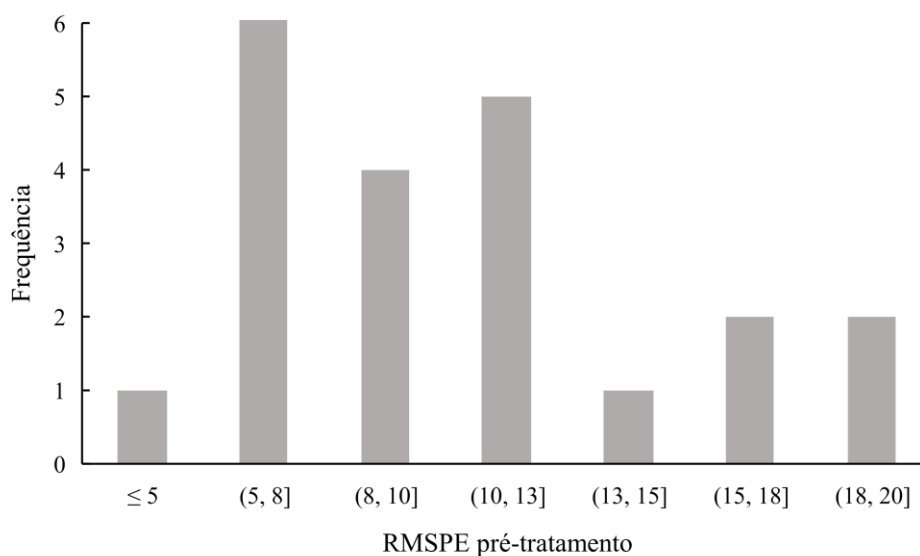
Nota: Valores em negrito destacam que grupo teve maior média em relação ao outro.

## 4.2 Efeitos locais da operação da UTE Pecém I e II sobre os indicadores de saúde

O método do controle sintético foi aplicado em 162 avaliações com o intuito de comparar cada município tratado com o seu contrafactual. Antes da apresentação dos resultados é feita uma análise da qualidade das estimativas do controle sintético, com o propósito de fornecer estimativas de maior confiança.

Para tanto, foram consideradas análises com RMSPE inferior ou igual a 20, conforme sugerido por Martini e Gallo (2020) e com no mínimo quatro efeitos significantes dentre os períodos,  $t$  (2013),  $t + 1$ ,  $t + 2$ ,  $t + 3$ ,  $t + 4$ ,  $t + 5$ ,  $t + 6$  (2019). De tal maneira, que restaram 22 casos para avaliação, ou seja, 13,6% dos exercícios foram validados seguindo estes critérios (Figura 15), sendo estes relacionados aos óbitos por residência.

Figura 15 – Distribuição de frequência do RMSPE pré-tratamento nos 22 casos avaliados.



Fonte: Elaborado com base nos dados da pesquisa.

Na sequência é feita uma análise com base na comparação da proporção dos casos em que os indicadores de saúde tiveram resultado superior aos valores vistos em seus respectivos contrafactuais (casos positivos, aumento nos óbitos por residência). Conforme a Tabela 9, é possível observar o descolamento da proporção de efeitos positivos em relação aos

efeitos negativos no ano do tratamento ( $t$ ) e nos períodos seguintes, até  $t + 3$ , quando a proporção de casos negativos volta a aumentar, não superando os casos positivos.

Tabela 9 – Proporção de efeitos positivos e negativos em indicadores de saúde.

Variável	Ano	Nº de casos negativos	Nº de casos positivos	% de casos positivos
Ind. de Saúde	$t - 3$	12	10	45%
Ind. de Saúde	$t - 2$	8	14	63%
Ind. de Saúde	$t - 1$	6	16	72%
Ind. de Saúde	$t$	0	22	100%
Ind. de Saúde	$t + 1$	0	22	100%
Ind. de Saúde	$t + 2$	0	22	100%
Ind. de Saúde	$t + 3$	0	22	100%
Ind. de Saúde	$t + 4$	5	17	77%
Ind. de Saúde	$t + 5$	0	22	100%
Ind. de Saúde	$t + 6$	5	17	77%

Fonte: Elaborado com base nos dados da pesquisa.

#### 4.2.1 Resultados da avaliação no Agregado (Caucaia e SGA)

A próxima etapa consiste em analisar a magnitude dos efeitos estimados na unidade Agregada em relação aos seus contrafactuais. A Tabela 10 apresenta os coeficientes estimados do método do controle sintético para cada indicador de saúde e anos analisados, iniciando no ano  $t$ , período de operação conjunta das UTE Pecém I e II. Os valores denotam a diferença entre o Agregado e suas respectivas unidades sintéticas.

Tabela 10 – Efeitos sobre os indicadores de saúde no Agregado.

Variável	$t$	$t + 1$	$t + 2$	$t + 3$	$t + 4$	$t + 5$	$t + 6$	Efeito Médio
OGHR60+	39,68*	33,12*	14,31*	4,75	18,08*	13,98	15,23	19,87
OGMR	37,54*	17,80*	32,62*	16,76	5,29	39,93*	39,12*	27,00
OCHR60+	4,27*	6,61*	7,42*	0,80	3,56	6,25*	-2,48	3,77
ORR	37,67*	19,53*	29,17*	21,07*	2,11	8,00	27,99*	20,79
ORR60+	24,25*	15,96*	15,49*	13,53	-2,87	3,46	20,83*	12,95
ORHR	22,31*	15,97*	14,97*	15,97*	7,85*	-0,07	11,59*	12,65
ORHR60+	14,82*	14,19*	7,18*	9,12*	7,55*	3,31	5,59	8,82
ORMR60+	10,48*	2,99	9,46*	5,97	-7,90*	0,98	16,45*	5,49

Fonte: Elaborado com base nos dados da pesquisa.

Nota: \* denota a significância ao nível de 5%.

De forma geral, das 18 subclassificações dos óbitos por residência, foram validados 8 exercícios (45% deste total). Ademais, é possível notar que os efeitos médios são positivos, incidindo sob os óbitos por causas gerais, por doenças do aparelho respiratório e em doenças do aparelho circulatório, com ênfase na população geral, homens ou mulheres, com idade acima dos 60 anos ou não.

Devido a quantidade de análises realizadas, os principais resultados foram compilados na Tabela 11, que apresenta a diferença percentual entre a trajetória do Agregado e seu controle sintético em cada ano. De acordo com a Tabela 11, o efeito médio percentual antes do funcionamento ( $t - 3$ ,  $t - 2$ ,  $t - 1$ ) das UTE I e II já era positivo, o que pode estar relacionado a existência de outras fontes poluidoras no CIPP. Após a operação das termelétricas (de  $t$  em diante), o efeito médio percentual sob os óbitos é mais severo, atingindo um aumento de até 40% ao ano e diminuindo em  $t + 4$  e  $t + 5$ .

Tabela 11 – Resultados compilados para o Agregado.

Ano	Efeito Médio	Desvio-Padrão	P <sub>25%</sub>	Mediana	P <sub>75%</sub>	Mínimo	Máximo
$t - 3$	-7,40	14,56	-21,13	-7,97	0,20	-23,84	21,04
$t - 2$	2,95	8,45	-3,49	3,17	9,97	-10,73	14,49
$t - 1$	8,10	15,08	-2,37	8,04	20,02	-19,10	28,38
$t$	40,62	8,98	31,10	43,23	47,78	25,88	49,58
$t + 1$	28,84	10,19	18,09	30,52	36,05	13,91	43,66
$t + 2$	26,03	6,56	21,57	26,43	32,20	14,24	32,90
$t + 3$	19,73	12,55	6,13	21,00	30,50	4,32	38,48
$t + 4$	5,63	16,69	-2,78	9,09	18,46	-28,73	21,27
$t + 5$	11,97	9,52	3,95	11,54	19,84	-0,21	28,41
$t + 6$	20,05	15,97	12,99	23,00	29,98	-13,05	40,12

Fonte: Elaborado com base nos dados da pesquisa.

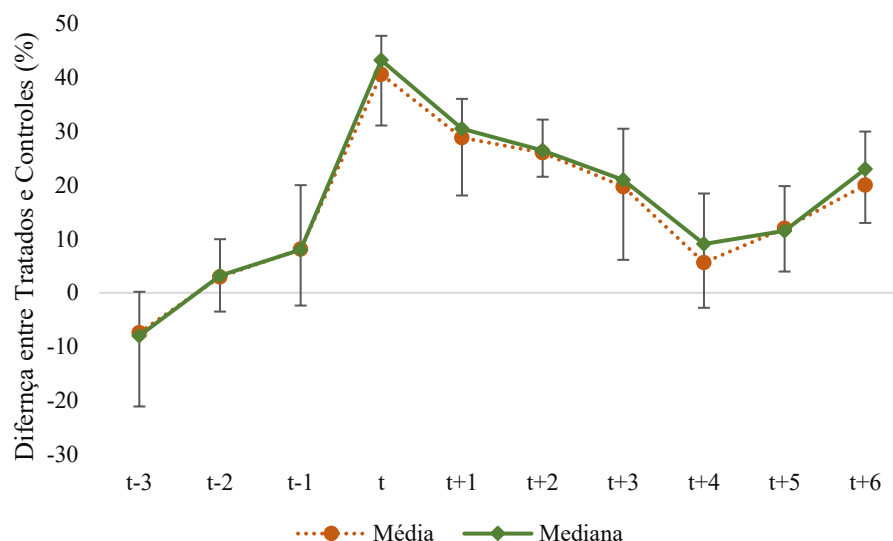
Como o método do controle sintético oferece uma solução gráfica para cada variável analisada<sup>47</sup>, compilou-se os resultados da Tabela 11 em um único gráfico apresentado na Figura 16 com maiores detalhes. Isto é necessário devido ao número de gráficos gerados e por conta da magnitude dos resultados no tocante ao recorte por variáveis (população geral, gênero e idade).

A Figura 16 apresenta a trajetória do efeito percentual das diferenças dos indicadores de saúde entre o Agregado e controles ao longo do tempo. A linha tracejada denota o efeito médio, já a linha contínua na cor verde representa o efeito mediano com destaque ao primeiro e terceiro quartis. No período pré-tratamento, observa-se que as trajetórias não são próximas de zero, porém dois anos antes do funcionamento das UTE I e II os efeitos são praticamente nulos.

Outro ponto é que os efeitos médios e medianos percentuais apresentam grande similaridade antes e depois da intervenção. No período pós-tratamento, observa-se o deslocamento mais acentuado dos efeitos médio e mediano percentual dos indicadores de saúde até  $t + 3$  quando o percentual de óbitos anuais torna a reduzir.

<sup>47</sup> Os gráficos dos resultados individuais podem ser consultados no Apêndice D.

Figura 16 – Mediana das diferenças percentuais do Agregado tratado em relação ao controle sintético.



Fonte: Elaborado com base nos dados da pesquisa.

#### 4.2.2 Resultados da avaliação no município de Caucaia

Nessa etapa avalia-se o impacto estimado no município de Caucaia em relação aos seus contrafactuais. A Tabela 12 apresenta a magnitude dos coeficientes estimados do controle sintético para cada indicador de saúde e anos analisados. Os valores denotam a diferença entre a unidade tratada e suas unidades sintéticas.

Tabela 12 – Efeitos sobre os indicadores de saúde do município de Caucaia.

Variável	t	t + 1	t + 2	t + 3	t + 4	t + 5	t + 6	Efeito Médio
OGHR60+	77,52*	64,38*	34,65*	24,36	37,07*	46,27*	33,93*	45,45
OGMR60+	46,41*	27,21*	35,54*	4,75	-2,98	40,59*	64,85*	30,91
OCR	32,65*	15,45*	23,77*	24,45*	8,36	14,69*	-1,92	16,77
OCR60+	11,94*	20,56*	18,48*	14,29*	11,40*	21,32*	-0,07	13,98
OCHR	15*	22,49*	17,23*	0,28	0,27	7,93	-7,82*	7,91
OCHR60+	9,15*	14,86*	11,88*	1,43	2,89	15,99*	-3,33	7,55
OCMR	11,35*	2,48	10,37*	20,30*	12,07*	10,29*	2,47	9,90
OCMR60+	2,33	6,58*	6,86*	12,61*	7,73*	5,55	3,94	6,51
ORR	74,33*	38,92*	65,29*	47,14*	4,58	29,35*	60,21*	45,68
ORR60+	49,13*	29,37*	41,08*	32,77*	0,29	23,28*	48,00*	31,98
ORHR	46,73*	28,10*	33,15*	37,09*	12,42*	7,84	26,06*	27,34
ORHR60+	30,11*	22,26*	19,51*	23,58*	13,69*	13,19*	14,60*	19,56
ORMR	28,39*	10,85*	32,37*	9,94	-7,85	20,96*	34,02*	18,38
ORMR60+	19,83*	7,05*	21,94*	9,12	-13,20*	9,66	33,26*	12,52

Fonte: Elaborado com base nos dados da pesquisa.

Nota: \* denota a significância ao nível de 5%.

Para os óbitos por residência, das 18 subclassificações, 14 exercícios foram validados (77,77%) e estes incluem óbitos na população geral, homens ou mulheres, com idade acima dos 60 anos ou não.

De maneira análoga aos resultados da Tabela 10 foram produzidos os resultados compilados na avaliação para Caucaia vistos na Tabela 13. Conforme observado na referida tabela, o efeito médio percentual antes do funcionamento das UTE I e II já era positivo, o que novamente pode estar associado a outras atividades econômicas no CIPP. Em suma, nota-se que após a operação das termelétricas, o efeito médio percentual sob os óbitos é mais severo, atingindo um aumento de até 39% no primeiro ano de operação.

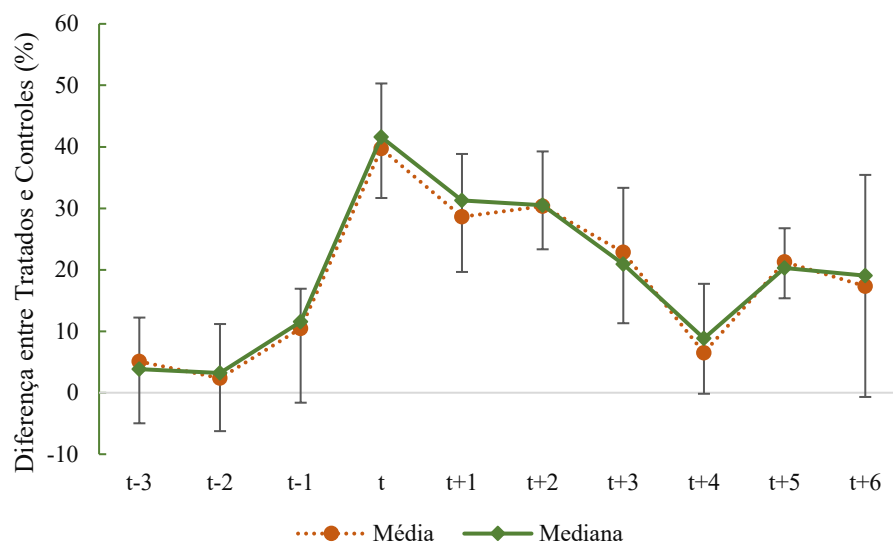
Tabela 13 – Resultados compilados para o município de Caucaia.

Ano	Efeito Médio	Desvio-Padrão	P <sub>25%</sub>	Mediana	P <sub>75%</sub>	Mínimo	Máximo
<i>t</i> - 3	5,08	13,12	-4,97	3,83	12,23	-10,89	31,52
<i>t</i> - 2	2,36	9,79	-6,25	3,21	11,18	-15,19	16,81
<i>t</i> - 1	10,44	12,84	-1,62	11,56	16,92	-7,71	37,34
<i>t</i>	39,69	13,05	31,67	41,58	50,31	9,71	56,30
<i>t</i> + 1	28,61	10,73	19,64	31,27	38,84	6,89	42,81
<i>t</i> + 2	30,35	8,10	23,33	30,49	39,25	19,47	41,50
<i>t</i> + 3	22,86	15,11	11,30	20,90	33,33	0,57	48,80
<i>t</i> + 4	6,49	14,05	-0,17	8,84	17,72	-28,09	21,73
<i>t</i> + 5	21,30	7,37	15,36	20,31	26,76	12,65	39,00
<i>t</i> + 6	17,30	19,86	-0,69	19,03	35,43	-16,64	45,56

Fonte: Elaborado com base nos dados da pesquisa.

Por fim, foi gerado um gráfico semelhante ao da Figura 16. Novamente, são plotadas a média (linha tracejada), mediana (linha na cor verde contínua) e os primeiro e terceiro quartis (Figura 17). Na avaliação para Caucaia os efeitos são homogêneos em termos de efeitos percentuais médios e medianos. No seu ponto mais alto após um ano de operação, o efeito mediano atingiu um aumento de 41,58 pontos percentuais e sete anos após o tratamento o efeito é de aproximadamente 19,03 pontos percentuais.

Figura 17 – Mediana das diferenças percentuais de Caucaia tratada em relação ao controle sintético.



Fonte: Elaborado com base nos dados da pesquisa.

#### 4.2.3 Resultados da avaliação no município de SGA

Em relação aos efeitos da operação das termelétricas sob o município de SGA constatou-se que os resultados dos exercícios de controle sintético não foram significantes na unidade tratada.

#### 4.2.4 Teste de Placebo Temporal

Para atestar os resultados das avaliações do Agregado e para o município de Caucaia, é realizado o teste de placebo temporal (Apêndice E), a partir de séries sintéticas com período de tratamento anterior ao da operação da UTE Pecém I e II, assim o corte para a nova avaliação foi estabelecido no ano de 2012. Na sequência, é observado se não existem alterações no ponto em que as séries sintéticas e tratadas realmente se separaram. Se o efeito da instalação das termelétricas no complexo for responsável pelo aumento na diferença entre a unidade sintética e tratada, então as trajetórias em diferentes períodos de tempo serão similares.

Mesmo com o novo período de tratamento, a trajetória sintética para os indicadores de saúde apontados no Apêndice D são semelhantes aos vistos no Apêndice E. Isto significa, que o recuo do período de tratamento para o ano de 2012 não altera os resultados previamente estabelecidos.



### 4.3 Discussão dos Resultados

Diante dos achados inéditos dessa pesquisa, destaca-se que este é um esforço inicial para mensurar com esteio em evidências empíricas os impactos do funcionamento das UTE I e II em indicadores de saúde dos municípios cearenses de Caucaia e São Gonçalo do Amarante. Apesar da importância dos resultados, existem algumas limitações a serem mencionadas.

A primeira diz respeito a presença das outras atividades econômicas e produtivas do complexo, os setores siderúrgicos, refino de petróleo, petroquímico, terminal portuário e da ZPE. Como é possível observar nas Tabelas 11 e 13, existem efeitos positivos moderados antes mesmo da intervenção proposta, o que pode estar atrelado a construção/operação de outros macros empreendimentos na região e até mesmo a presença de outras fontes poluidoras, o que é um problema na pesquisa, pois os resultados pré-tratamento necessitam de um bom ajustamento.

Um ponto importante e que necessita de aprofundamento, é que o aumento gradual nos efeitos médios e medianos não é sustentando no intervalo de 2013 a 2017, quando em 2018 ocorre uma piora nos indicadores de saúde. Embora seja uma coincidência, no ano de 2016 entra em funcionamento a CSP, outro grande empreendimento produtor de placas de aço e que poderia estar associado com o incremento nos óbitos nos períodos finais de análise, devido à maior demanda de carvão mineral para a geração de energia.

A terceira limitação se refere a área de análise, o ideal é que apenas os distritos circunvizinhos ao CIPP<sup>48</sup> participassem da avaliação. Entretanto, devido às limitações na obtenção dos dados secundários, as informações estão disponíveis apenas a nível municipal, o que não possibilita estimar o real impacto no entorno do complexo.

Em relação aos resultados obtidos, a análise revela que os efeitos da operação não incidem nas taxas de internação e sim sobre os óbitos por residência, ou seja, vidas podem estar sendo perdidas devido a operação das UTE I e II. Ademais, os efeitos médio e mediano vistos nas Figuras 16 e 17 não apresentam formato de “U-invertido”, significando que o incremento nos óbitos por residência nas regiões analisadas não é transitório.

Os achados para a cidade de SGA são inesperados, uma vez que não foram constatados efeitos significantes da operação das UTE I e II na região. Tal fato pode estar associado novamente ao recorte dos efeitos incidirem de forma direta no distrito do Pecém ou,

---

<sup>48</sup> Distritos de Catuana e Guararú para Caucaia e os distritos de Pecém e Taíba para SGA.

até mesmo devido a direção e intensidade dos ventos que estejam dispersando os poluentes para outras localidades.

No tocante a poluição originária das atividades econômicas do complexo, Couto *et al.* (2021) avaliaram a concentração diária de  $MP_{2,5}$  nas zonas de influência do CIPP (Caucaia, Paracuru, Paraipaba e SGA) entre os anos de 2006 a 2017. Por meio de regressões não lineares, constatou-se que as concentrações estimadas anuais estão em um patamar inferior ao predeterminado pela legislação nacional em todos os municípios analisados. Entretanto, mesmo com as baixas concentrações de  $MP_{2,5}$  é importante reforçar que a exposição prolongada a esse e outros poluentes pode reduzir qualidade de vida da população local.

Nuto *et al.* (2021) analisaram a condição das comunidades que habitam ao redor do CIPP entre 2017 e 2018. Embora não se estabeleça relações causais nos resultados, são expostos indícios de impactos na saúde e qualidade de vida dos moradores locais, com problemas relacionados as partículas aéreas, piora na qualidade de vida e grande desejo de mudar de local. Apesar da importância desta pesquisa de campo, a ausência de informações em períodos anteriores não possibilita o comparativo para estabelecer se houve uma piora ou melhora dentre os indicadores avaliados.

Em análise similar a desta pesquisa, Boscá (2019) observou uma possível associação entre o crescimento das atividades humanas atreladas a emissão de MP e a saúde respiratória dos moradores da cidade de Manaus. Por meio de modelos estatísticos, a análise com regressão de Poisson apresentou os melhores resultados. No entanto, não foi possível estabelecer uma conexão entre o  $MP_{2,5}$  e o total de internamentos ou quando analisado por faixas etárias. Ademais, o autor caracteriza que a inexistência de dados relacionados a frota veicular e da concentração de poluentes em Manaus, podem explicar as fragilidades obtidas nos resultados.

De posse dos achados desta pesquisa pode-se argumentar que, com a instalação e operação das termelétricas, houve uma piora nos resultados dos óbitos por residência para a avaliação no Agregado e na cidade de Caucaia.

## 5 CONCLUSÕES

Para analisar os impactos locais da operação da UTE Pecém I e II sobre as internações hospitalares e óbitos, nas cidades de Caucaia e SGA, situadas no estado do Ceará, adotou-se um painel de dados com seis fontes de informações considerando os 184 municípios cearenses no período de 2001-2019.

Como estratégia empírica, adotou-se o modelo de controle sintético desenvolvido por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010; 2011). Esta metodologia permite a construção de um grupo de comparação, composto por uma combinação de municípios com características observáveis mais próximas das unidades que receberam o CIPP. Sendo assim, obteve-se um grupo de “municípios cearenses sintéticos” para cada unidade tratada com o objetivo de avaliar a trajetória das variáveis de interesse nos municípios tratados caso não fosse implantada as UTE Pecém I e II.

Os exercícios de controle sintético resultaram em 162 avaliações, 54 para cada localidade (Agregado, Caucaia e SGA). Após os filtros de validação dos resultados, restaram 22 casos para análise, ou 13,60% dos exercícios, com todos relacionados aos óbitos por residência.

Devido à presença das outras atividades econômicas antes mesmo do período pré-tratamento é possível visualizar efeitos positivos para os óbitos por residência na avaliação no Agregado e para a cidade de Caucaia. Especificamente, no estudo de caso para o Agregado é possível observar efeitos positivos nos óbitos por causas gerais, por doenças no aparelho circulatório, respiratório, entre homens e mulheres acima dos 60 anos ou não.

Em termos de impacto e em razão da quantidade de resultados, os exercícios de controle sintético foram consolidados de forma que no ano do funcionamento ocorreu um incremento de 40% nos óbitos por residência, sendo que estes diminuem até o ano de 2018, quando voltam a subir novamente, possivelmente em função das atividades da CSP.

Na cidade de Caucaia, os resultados são semelhantes, com os efeitos estimados médios oscilando entre 6,50% e 39,69% nos óbitos por residência a partir do funcionamento das UTE I e II. Ademais, os resultados obtidos nessa pesquisa são de acordo com a literatura internacional levantada (BEATTY e SHIMSHACK, 2014; CAMBRA *et al.*, 2011; VALENTI *et al.*, 2016).

Para verificar os resultados obtidos, foi realizado um exercício de placebo temporal, antecipando o período pré-tratamento em um ano. Desta forma, a nova análise fornece maiores evidências de consistência dos resultados para o Agregado e Caucaia.

Tendo em vista estas considerações, destaca-se que essa pesquisa resultou em um esforço inicial de observar o impacto da operação das UTE I e II nas cidades de Caucaia e SGA. Apesar dos resultados positivos, instrumentos de controle da poluição (política de comando e controle; política de internalização das externalidades) podem atenuar os efeitos sobre os óbitos por residência. No que tange as limitações do estudo, a pesquisa desconsidera outras infraestruturas do complexo que possam vir a ser potenciais canais de externalidades negativas, e a área de análise mais precisa envolveria a população que habita próxima ao CIPP.

Para futuras pesquisas, recomenda-se considerar efeitos sazonais na região, como meses de chuva ou seca e a direção dos ventos, pois a ação destes pode favorecer a dispersão horizontal dos poluentes em localidades e municípios circunvizinhos.

## CONCLUSÃO GERAL

O objetivo principal desta tese consiste em investigar as relações promovidas entre a atividade econômica e meio ambiente, na forma das externalidades negativas oriundas das atividades humanas. Para tal, são apresentados três capítulos, o primeiro versa sobre as implicações da atividade econômica na ocorrência dos focos de calor na América do Sul. O segundo tange ao desmatamento, saindo do eixo tradicional de pesquisa focalizado na Amazônia-Cerrado e adentra na Mata Atlântica cearense. A terceira é um estudo de caso de como a atividade econômica local afeta os indicadores de saúde dos municípios cearenses de Caucaia e São Gonçalo do Amarante.

No primeiro capítulo, avaliam-se as causas antrópicas e naturais associadas a ocorrência dos focos de calor na América do Sul, sob o escopo do *PIBpc* e do *IDH*. Da relação entre as métricas de atividade/desenvolvimento socioeconômico e focos de calor conclui-se que o formato de “U-normal” é válido na amostra dos países sul-americanos. Além disso, as análises via ambos os indicadores apontam consistência na distribuição dos países por regiões da CKA (fase descendente e ascendente) na amostra completa.

Para os estágios iniciais de desenvolvimento ( $PIBpc \leq US\$ 12,6$  mil ou  $IDH \leq 0,760$ ) encontram-se a Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru e Venezuela, países em que o desenvolvimento socioeconômico suaviza a ocorrência dos focos de calor. Na sequência, após o ponto de virada situam-se a Argentina, Chile e Uruguai, nações onde o desenvolvimento amplifica os registros dos focos de calor. Novamente, em razão dos resultados encontrados sugere-se o desenho de políticas ambientais de combate e prevenção aos focos de calor por grupos de países, e como sugestão, recomenda-se a adoção do *PIBpc* ou do *IDH*.

Em relação aos controles adicionais, intensificam a ocorrência dos focos de calor: a cobertura florestal e o desemprego. Portanto, recomenda-se ainda a promoção das políticas de emprego, valorização do trabalho e forte legislação ambiental, desestimulando agentes econômicos a adentrarem em atividades ilegais. Estas medidas propostas se fazem necessárias em decorrência também dos efeitos nocivos oriundos da fumaça dos incêndios e queimadas, liberação dos gases estufa e perda da biomassa florestal que podem alavancar as consequências do aquecimento global (incluindo os focos de calor, incêndios e queimadas).

O segundo capítulo, investiga a hipótese da CKA entre a atividade econômica e desmatamento municipal de Mata Atlântica e ecossistemas associados no estado do Ceará. As evidências empíricas sugerem que o formato de “N” é válido para a amostra de municípios cearenses. Nos municípios em estágio inicial de desenvolvimento ( $PIBpc \leq R\$ 23$  mil), os

resultados apontam que incrementos na atividade econômica podem elevar o desmate dos remanescentes de Mata Atlântica na região.

Na faixa intermediária de desenvolvimento ( $R\$ 23 \text{ mil} \leq PIBpc \leq R\$ 58 \text{ mil}$ ) encontram-se Aquiraz, Fortaleza, Maracanaú, Sobral e Uruburetama, cidades cujo aumento na atividade econômica promove a proteção ambiental do bioma Mata Atlântica. Por fim, nos municípios de SGA e Eusébio ( $PIBpc \geq R\$ 58 \text{ mil}$ ), incrementos na renda pc novamente elevam o desmatamento nestas regiões, levando a crer que o fenômeno é cíclico na amostra avaliada.

Sendo assim, sugere-se que as políticas públicas de combate e fiscalização ao desmatamento devem se intensificar nos municípios em estágios iniciais de desenvolvimento, achatando a curva do desmatamento como um todo na região e com alguma compensação para estes municípios. Além disso, pode-se discutir a flexibilização destas políticas nas cidades com estágio intermediário de desenvolvimento, de tal maneira a não prejudicar a continuidade de determinados segmentos econômicos (agropecuário, industrial e turístico).

Em mais detalhes, o último capítulo propôs uma avaliação de impacto da operação das UTE I e II instaladas no CIPP sobre internações hospitalares e óbitos dos municípios cearenses de Caucaia e SGA. Ao aplicar a metodologia desenvolvida por Abadie e Gardeazabal (2003), o modelo de controle sintético, obteve-se 162 avaliações, 54 para o Agregado Caucaia/SGA e 108 para Caucaia e SGA. Em relação aos óbitos por local de residência, as análises demonstraram efeito positivo da intervenção no Agregado e para a cidade de Caucaia.

De forma detalhada, o aumento dos óbitos se estende sob as causas gerais, nas doenças do aparelho circulatório e respiratório, entre homens e mulheres com idade acima dos 60 anos ou não. Visto que a usina termelétrica é uma instalação intensiva em emissões atmosféricas, recomenda-se instrumentos de controle da poluição. Em futuras pesquisas, sugere-se considerar outros canais de poluição atmosférica, avaliar as condições meteorológicas na dispersão dos poluentes e, por fim, delimitar a área de estudo para as comunidades limítrofes ao CIPP.

Diante dos resultados dos três capítulos, pode-se dizer de uma maneira geral, que a atividade econômica induz uma piora na saúde ambiental e tende a elevar medidas de degradação. Por isso, surge a necessidade da discussão a nível regional e global de algumas medidas a promoção da qualidade ambiental alinhada ao desenvolvimento econômico, pois em algum grau, as atividades econômicas induzem a pressão no sistema terrestre.

Para os problemas abordados, as fontes poluidoras industriais e os grandes centros urbanos não sustentáveis podem se tornar problemas ambientais e econômicos ao longo do século XXI. No contexto do desmatamento internacional, as atenções estão voltadas a

Amazônia, contudo entende-se que a avaliação da atividade nos demais biomas brasileiros é importante para elucidar as questões relacionadas a atividade econômica regional e supressão florestal. No caso cearense, o monitoramento da expansão imobiliária e avaliação continuada do desmatamento “formiga” podem prevenir o desmate dos remanescentes florestais ao longo do litoral. Quanto a atividade do fogo, a repercussão internacional da ocorrência dos focos de calor e incêndios florestais revela a interferência das atividades humanas na recorrência desses episódios.

Nesse contexto, pode-se afirmar que mitigar os efeitos desastrosos ao meio ambiente implica na redução dos custos econômicos e sociais. Para a floresta Amazônica brasileira, cada hectare preservado pode gerar até US\$ 737 contra US\$ 40 gerado pela pecuária (STRAND *et al.*, 2018), em relação a poluição atmosférica, o custo global dos impactos na saúde e mortalidade foram de US\$ 5 trilhões em 2013, com US\$ 1,58 trilhões para a União Europeia, uma parcela significativa de recursos que poderiam ser direcionadas a outras áreas essenciais, promovendo a atividade econômica, com ramificações ao desenvolvimento sustentável.

## REFERÊNCIAS

- ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of California's tobacco control program. **Journal of the American statistical Association**, v. 105, n. 490, p. 493-505, 2010.
- ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Synth: An r package for synthetic control methods in comparative case studies. **Journal of Statistical Software**, v. 42, n. 13, p. 1-17, 2011.
- ABADIE, A.; GARDEAZABAL, J. The economic costs of conflict: A case study of the Basque Country. **American Economic Review**, v. 93, n. 1, p. 113-132, 2003.
- ABE, K. C.; MIRAGLIA, S. G. K. Health impact assessment of air pollution in São Paulo, Brazil. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 7, p. 694-703, 2016.
- AGEE, J. K. **Fire ecology of Pacific Northwest forests**. Washington, DC: Island Press, 1993. 493 p.
- ALCASENA, F. J. *et al.* Quantifying economic losses from wildfires in black pine afforestations of northern Spain. **Forest Policy and Economics**, v. 73, p. 153-167, 2016.
- ALMEIDA, M. G.; LOBATO, T. C. A curva de Kuznets ambiental para a região norte do Brasil entre os anos de 2002 a 2015. **Economia & Região**, v. 7, n. 1, p. 7-25, 2019.
- AMEMIYA, T. **Advanced Econometrics**. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1985. 536 p.
- ANDERSEN, L. M.; SUGG, M. M. Geographic multi-criteria evaluation and validation: A case study of wildfire vulnerability in Western North Carolina, USA following the 2016 wildfires. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 39, p. 101-123, 2019.
- ARGAÑARAZ, J. P. *et al.* Human and biophysical drivers of fires in semiarid Chaco Mountains of central Argentina. **The Science of the Total Environment**, v. 520, p. 1-12, 2015.
- AZNAR-SÁNCHEZ, J. A. *et al.* Forest ecosystem services: an analysis of worldwide research. **Forests**, v. 9, n. 8, p. 453-471, 2018.
- BALTAGI, B. **Econometric Analysis of Panel Data**, 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 2005. 317 p.
- BARROS, N. A. **Avaliação do passivo ambiental da correia transportadora de carvão mineral do Complexo Industrial e Portuário do Pecém - CIPP**. 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.



- BARROS, P. H. B.; STEGE, A. L. Deforestation and human development in the Brazilian agricultural frontier: an environmental Kuznets curve for MATOPIBA. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 13, n. 2, p. 161-182, 2019.
- BEATTY, T. K.; SHIMSHACK, J. P. Air pollution and children's respiratory health: A cohort analysis. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 67, n. 1, p. 39-57, 2014.
- BENEDUZI, A. *et al.* Distinct grazing pressure loads generate different impacts on bacterial community in a long-term experiment in Pampa biome. **Applied Soil Ecology**, v. 137, p. 167-177, 2019.
- BEZERRA, M. D. G. V. *et al.* Implicações do desenvolvimento econômico no trabalho, ambiente e saúde em comunidades portuárias no Ceará, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 10, p. 4023-4030, 2014.
- BIAGE, M.; ALMEIDA, H. J. F. Desenvolvimento e impacto ambiental: uma análise da curva ambiental de Kuznets. **Pesquisa e planejamento econômico**, v. 45, n. 3, p. 505-556, 2015.
- BOSCÁ, P. M. **O impacto da emissão de material particulado sobre a saúde respiratória da população de Manaus no período de 2008 a 2019**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.
- BOUBETA, M. *et al.* Prediction of forest fires occurrences with area-level Poisson mixed models. **Journal of Environmental Management**, v. 154, n. 1, p. 151-158, 2015.
- BOUBETA, M. *et al.* Poisson mixed models for predicting number of fires. **International Journal of Wildland Fire**, v. 28, n. 3, p. 237-253, 2019.
- CALZOLARI, G.; MAGAZZINI, L.; MEALLI, F. Simulation-based estimation of Tobit model with random effects. **Econometric Studies: a Festschrift in Honour of Joachim Frohn**, p. 349-369, 2001.
- CAMBRA, K. *et al.* Mortality in small geographical areas and proximity to air polluting industries in the Basque Country (Spain). **Occupational and Environmental Medicine**, v. 68, n. 2, p. 140-147, 2011.
- CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics: methods and applications**. New York: Cambridge University Press, 2005. 1034 p.
- CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics using Stata**. Stata press, College Station, Texas, 2009. 706 p.
- CARDILLE, J. A.; VENTURA, S. J.; TURNER, M. G. Environmental and social factors influencing wildfires in the Upper Midwest, USA. **Ecological Applications**, v. 11, n. 1, p. 111-127, 2001.
- CARVALHO, T. S.; ALMEIDA, E. S. A hipótese da curva de Kuznets ambiental global: uma perspectiva econométrico-espacial. **Estudos Econômicos**, v. 40, n. 3, p. 587-615, 2010.

CASTELO, T. B. *et al.* Governos e mudanças nas políticas de combate ao desmatamento na Amazônia. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 28, n. 1, p. 125-148, 2018.

CATRY, F. X. *et al.* Modelling and mapping wildfire ignition risk in Portugal. **International Journal of Wildland Fire**, v. 18, n. 8, p. 921-931, 2009.

CEARÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. **Cenário Atual do Complexo Industrial e Portuário do Pecém**. Conselhos de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos. Eudoro de Walter Santana (Coordenador) - Fortaleza, INESP. 2013a. 328p. Disponível em: <https://al.ce.gov.br/phocadownload/cenarioatualpecem.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2022.

CEARÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. **Agenda Estratégica para o Complexo Industrial e Portuário do Pecém - CIPP**. Conselhos de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos. Francisco Lopes Viana (Coordenador) - Fortaleza, INESP. 2014. 132p. Disponível em: [https://www.al.ce.gov.br/phocadownload/conselhoaltosestudos/AGENDA\\_Porto\\_do\\_Pecem.pdf](https://www.al.ce.gov.br/phocadownload/conselhoaltosestudos/AGENDA_Porto_do_Pecem.pdf). Acesso em: 14 jun. 2022.

CEARÁ. **São Gonçalo do Amarante, porto do Pecém - o futuro é agora**. 2013b. 52 p. Disponível em: <http://saogoncalodoamarante.ce.gov.br/portal/images/brochure.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2022.

CHEN, X.; GOODWIN, B. K.; PRESTEMON, J. P. Is timber insurable? A study of wildfire risks in the US forest sector using spatio-temporal models. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 96, n. 1, p. 213-231, 2014.

COLUSSO, M. V. S.; PARRÉ, J. L.; ALMEIDA, E. S. Degradação ambiental e crescimento econômico: a curva de Kuznets ambiental para o cerrado. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 10, n. 3, p. 335-357, 2012.

COMPLEXO INDUSTRIAL E PORTUÁRIO DO PECÉM. **Missão, Visão e Valores**. 2021a. Disponível em: <https://www.complexodopecem.com.br/missao-visao-e-valores/>. Acesso em: 05 jan. 2023.

COMPLEXO INDUSTRIAL E PORTUÁRIO DO PECÉM. **ZPE Ceará**. 2021b. Disponível em: <https://www.complexodopecem.com.br/zpe-ceara-fecha-2020-com-alta-na-movimentacao-de-minerio-de-ferro-e-placas-de-aco/>. Acesso em: 14 jun. 2022.

CONTROLADORIA GERAL DA UNIÃO. **Relatório de Avaliação da Governança do Fundo Amazônia Exercida pelo Ministério do Meio Ambiente**. 2022. Disponível em: [www.fundoamazonia.gov.br/relatorios](http://www.fundoamazonia.gov.br/relatorios). Acesso em: 30 set. 2022.

COSTAFREDA-AUMEDES, S.; COSMAS, C.; VEGA-GARCIA, C. Human-caused fire occurrence modelling in perspective: A review. **International Journal of Wildland Fire**, v. 26, n. 12, p. 983-998, 2017.

COUTO, L. O. *et al.* Estimativa da concentração média diária de material particulado fino na região do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, Ceará, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 7, p. 1-14, 2020.

CROPPER, M.; GRIFFITHS, C. The Interaction of Population Growth and Environmental Quality. **The American Economic Review**, v. 84, n. 2, p. 250-254, 1994.

DANG, G.; PHENG, L. S. Theories of Economic Development. **Infrastructure Investments in Developing Economies: The Case of Vietnam**. Springer, Singapore, 2015.

DELAZERI, L. M. M. Determinantes do desmatamento nos municípios do arco verde - Amazônia Legal: uma abordagem econométrica. **Economia Ensaios**, v. 30, n. 2, p. 11-34, 2016.

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE DO BRASIL. **Informações de Saúde**. 2021a. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=02>. Acesso em: 16 jun. 2022.

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE DO BRASIL. **Mortalidade - Notas Técnicas**. 2021b. Disponível em: <http://tabnet.saude.es.gov.br/cgi/tabnet/sim/sim96/obtdescr.htm>. Acesso em: 16 jun. 2022.

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE DO BRASIL. **CID – 10, Lista de Tabulação para Morbidade**. 2021c. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/mxcid10lm.htm>. Acesso: 20 jan. 2022.

DODDS, W. K. *et al.* The freshwater biome gradient framework: predicting macroscale properties based on latitude, altitude, and precipitation. **Ecosphere**, v. 10, n. 7, p. 1-33, 2019.

ELIA, M. *et al.* Modeling fire ignition patterns in Mediterranean urban interfaces. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 33, p. 169-181, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Aqua Project Science**. 2020a. Disponível em: [https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao\\_aqua.html](https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_aqua.html). Acesso em: 01 mar. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sobre o MATOPIBA**. 2020b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-matopiba/sobre-o-tema>. Acesso em: 10 ago. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Porto do Pecém**. 2023. Disponível em: [https://www.embrapa.br/macrologistica/exportacao/porto\\_pecem](https://www.embrapa.br/macrologistica/exportacao/porto_pecem). Acesso em: 04 jun. 2023.

ENTE NAZIONALE PER L'ENERGIA ELETTRICA. **Companhia Energética do Estado do Ceará - COELCE**. 2021. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pt-ceara.html>. Acesso em: 10 ago. 2021.

FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B. Desmatamento recente nos estados da Amazônia legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 1, p. 93-108, 2015.

FERREIRA, L. N. *et al.* Global fire season severity analysis and forecasting. **Computers & Geosciences**, v. 134, p. 1-9, 2020.

FILIPPINI, M.; MASIERO, G.; STEINBACH, S. The impact of ambient air pollution on hospital admissions. **The European Journal of Health Economics**, v. 20, n. 6, p. 919-931, 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Data**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 03 mar. 2021.

FUNDAÇÃO DE APOIO A SERVIÇOS TÉCNICOS, ENSINO E FOMENTO A PESQUISAS. **Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), Refinaria Premium II**. Sérgio Armando Benevides (Coordenador) - Universidade Federal do Ceará, 2011, 100 p. Disponível em: <http://tmp.mpce.mp.br/orgaos/CAOMACE/pdf/rima/RIMA-RefinariaPremiumIIEdutovia.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2022.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Calendário das Chuvas no Estado do Ceará**. 2021. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/app/pagina/show/168>. Acesso em: 10 ago. 2020.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**: período 2018-2019. São Paulo, p. 61, 2020.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Aqui tem Mata?** 2021. Disponível em: <https://aquitemmata.org.br/#/>. Acesso em: 09 ago. 2020.

GONZÁLEZ-OLABARRIA, J. R.; MOLA-YUDEGO, B.; COLL, L. Different factors for different causes: analysis of the spatial aggregations of fire ignitions in Catalonia (Spain). **Risk Analysis**, v. 35, n. 7, p. 1197-1209, 2015.

GOURIEROUX, C.; MONFORT, A. Simulation-based inference: A survey with special reference to panel data models. **Journal of Econometrics**, v. 59, n. 1-2, p. 5-33, 1993.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Environmental impacts of a North American free trade agreement. **National bureau of Economic Research Working Paper - NBER**, n. 3914, Cambridge, MA, 1991.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Economic growth and the environment. **Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, 353-377, 1995.

GUO, F. *et al.* Geospatial information on geographical and human factors improved anthropogenic fire occurrence modeling in the Chinese boreal forest. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 46, n. 4, p. 582-594, 2016a.

GUO, F. *et al.* What drives forest fire in Fujian, China? Evidence from logistic regression and Random Forests. **International Journal of Wildland Fire**, v. 25, n. 5, p. 505-519, 2016b.

HAUSMAN, J.; HALL, B. H.; GRILICHES, Z. Econometric models for count data with an application to the Patents - R&D relationship. **Econometrica**, v. 52, n. 4, p. 909-938, 1984.

HOFFMANN, B. *et al.* WHO Air Quality Guidelines 2021: Aiming for Healthier Air for all: A Joint Statement by Medical, Public Health, Scientific Societies and Patient Representative Organisations. **International Journal of Public Health**, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da População**. 2021a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>. Acesso em: 11 ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Agrícola Municipal - PAM**. 2021b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>. Acesso em: 16 jun. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. 2021c. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=resultados>. Acesso em: 12 ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Valor Adicionado Bruto**. 2021d. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=resultados>. Acesso em: 12 ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Pecuária Municipal - PPM**. 2021e. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=downloads>. Acesso em: 12 ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. 2021f. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938>. Acesso em: 13 ago. 2020.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA. Boletim do Desmatamento. 2022. Disponível em: <https://imazon.org.br/categorias/boletim-do-desmatamento/>. Acesso em: 30 set. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Programa queimadas**. 2021. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br//queimadas/portal>. Acesso em: 02 fev. 2021.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. **Statistics and databases**. 2020. Disponível em: <https://www.ilo.org/global/statistics-and-databases/lang--en/index.htm>. Acesso em: 05 mar. 2021.

INTERNATIONAL MONETARY FUND. **IMF data**. 2020. Disponível em: <https://www.imf.org/en/Data>. Acesso em: 06 mar. 2021.

- JUAN, P.; MATEU, J.; SAEZ, M. Pinpointing spatio-temporal interactions in wildfire patterns. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 26, n. 8, p. 1131-1150, 2012.
- KUZNETS, S. Economic Growth and Income Inequality. **The American Economic Review**, v. 45, n. 1, p. 1-28, 1955.
- LANZI, E.; DELLINK, R.; CHATEAU, J. The sectoral and regional economic consequences of outdoor air pollution to 2060. **Energy Economics**, v. 71, p. 89-113, 2018.
- MANN, M. L. *et al.* Incorporating anthropogenic influences into fire probability models: effects of human activity and climate change on fire activity in California. **PLoS ONE**, v. 11, n. 4, p. 1-21, 2016.
- MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J.; CHUVIECO, E.; KOUTSIAS, N. Modelling long-term fire occurrence factors in Spain by accounting for local variations with geographically weighted regression. **Natural Hazards and Earth System Science**, v. 13, n. 2, p. 311-327, 2013.
- MARTINI, R. A.; GALLO, M. E. C. Impactos econômicos de desastres naturais nos municípios Brasileiros e a focalização do programa BNDES PER. In: **48º Encontro Nacional de Economia**, Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia – ANPEC, on-line, 2020.
- 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. 1-40, 2019.
- MINGUILLON, M. C. *et al.* Seasonal and spatial variations of sources of fine and quasi-ultrafine particulate matter in neighborhoods near the Los Angeles Long Beach harbor. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 32, p. 7317-7328, 2008.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO. **Nova delimitação Semiárido**. 2021. 272 p. Disponível em: [http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/Relação\\_de\\_Municípios\\_Semi\\_árido.pdf](http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/Relação_de_Municípios_Semi_árido.pdf). Acesso em: 14 ago. 2020.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação - CNUC**. 2021. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMDNmZTA5Y2ItNmFkMy00Njk2LWI4YjYtZDJINzFkOGM5NWQ4IiwidCI6IjJmY2ZmE5LTNmOTMtNGJiMS05ODMwLTYzNDY3NTJmMDNINCIsImMiOiJF9>. Acesso em: 15 ago. 2020.
- MINISTÉRIO DO TRABALHO. **A Relação Anual de Informações Sociais - RAIS**. 2021. Disponível em: <http://pdet.mte.gov.br/microdados-rais-e-caged>. Acesso em: 15 ago. 2020.
- MORELLO, T. F. *et al.* Predicting fires for policy making: Improving accuracy of fire brigade allocation in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 169, p. 1-14, 2020.
- MURTHY, K. K. *et al.* A fine-scale state-space model to understand drivers of forest fires in the Himalayan foothills. **Forest Ecology and Management**, n. 432, p. 902-911, 2019.

NARAYANARAJ, G.; WIMBERLY, M. C. Influences of forest roads on the spatial patterns of human- and lightning-caused wildfire ignitions. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 878-888, 2012.

NUNES, A. N.; LOURENÇO, L.; MEIRA, A. C. C. Exploring spatial patterns and drivers of forest fires in Portugal (1980-2014). **The Science of the Total Environment**, v. 573, p. 1190-1202, 2016.

NUTO, S. A. S. *et al.* Complexo Industrial e Portuário do Pecém: um inquérito epidemiológico. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 26, n. 5, p. 1613-1624, 2021.

OLIVEIRA, R. C. *et al.* Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: uma análise da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia Legal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 3, p. 709-739, 2011.

OLIVEIRA, S. *et al.* Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using multiple regression and random forest. **Forest Ecology and Management**, v. 275, p. 117-129, 2012.

OLIVEIRA, S. *et al.* Exploring the spatial patterns of fire density in Southern Europe using Geographically Weighted Regression. **Applied Geography**, v. 51, p. 143-157, 2014.

OLIVEIRA, G. M. B. *et al.* Tick-borne pathogens in dogs, wild small mammals and their ectoparasites in the semi-arid Caatinga biome, northeastern Brazil. **Ticks and Tick-borne Diseases**, p. 1-7, 2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Air Pollution**. 2018. Disponível em: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Acesso em: 10 jun. 2022.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Air Pollution**. 2022. Disponível em: [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1). Acesso em: 30 set. 2022.

PASCAL, M. *et al.* Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: results of the Aphekom project. **The Science of the Total Environment**, v. 449, p. 390-400, 2013.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Econometria: modelos e previsões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 726p.

PRESTEMON, J. P. *et al.* Net reductions or spatiotemporal displacement of intentional wildfires in response to arrests? Evidence from Spain. **International Journal of Wildland Fire**, v. 28, n. 6, p. 397-411, 2019.

RAPPAPORT, D. I. *et al.* Quantifying long-term changes in carbon stocks and forest structure from Amazon Forest degradation. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 6, p. 1-12, 2018.

REBOITA, M. S. *et al.* Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terrae Didatica**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

- REZENDE, V. L. *et al.* Climate and evolutionary history define the phylogenetic diversity of vegetation types in the central region of South America. **Oecologia**, v. 192, p. 191-200, 2020.
- RIBEIRO, M. S. **Contabilidade Ambiental**. São Paulo: Saraiva, 2010. 220p.
- RIGOTTO, R. M. Inserção da saúde nos estudos de impacto ambiental: o caso de uma termelétrica a carvão mineral no Ceará. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 14, n. 6, p. 2049-2059, 2009.
- ROCHA, C. A. *et al.* Health impact assessment of air pollution in the metropolitan region of Fortaleza, Ceará, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 241, p. 1-9, 2020.
- RODRIGUES, L. A. *et al.* Pobreza, crescimento econômico e degradação ambiental no meio urbano brasileiro. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 26, n. 1, p. 11-24, 2016.
- RODRIGUES, M.; de la RIVA, J.; FOTHERINGHAM, S. Modeling the spatial variation of the explanatory factors of human-caused wildfires in Spain using geographically weighted logistic regression. **Applied Geography**, v. 48, p. 52-63, 2014.
- SCHLENKER, W.; WALKER, W. R. Airports, air pollution, and contemporaneous health. **Review of Economic Studies**, v. 83, n. 2, p. 768-809, 2016.
- SECRETARIA ESPECIAL DOS PORTOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Plano Mestre Terminal Portuário do Pecém**. 2015. 80 p. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/se36-pdf>. Acesso em: 07 jun. 2022.
- SECRETARIA DA FAZENDA. **Finanças Públicas**. 2021. Disponível em: <https://www.sefaz.ce.gov.br/financas-publicas/>. Acesso em: 21 jun. 2022.
- SECRETARIA DA SAÚDE DO ESTADO DO CEARÁ. **Sistema de Informações Hospitalares**. 2021. Disponível em: <https://www.saude.ce.gov.br/tabnet-ceara/sih/>. Acesso em: 08 jun. 2022.
- SERRA, L. *et al.* Spatial pattern modelling of wildfires in Catalonia, Spain 2004-2008. **Environmental Modelling & Software**, v. 40, p. 235-244, 2013.
- SILVA, C. C.; FERREIRA, R. T.; NOGUEIRA, L. V.; PESSOA, S. R. P. P. Efeito econômico do Complexo Industrial e Portuário do Pecém sobre os municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante: uma aplicação do método de controle sintético generalizado. In: **48º Encontro Nacional de Economia**, Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia – ANPEC, on-line, 2020.
- SILVA, L. T.; ABE, K. C.; MIRAGLIA, S. G. K. Avaliação de impacto à saúde da poluição do ar no município de Diadema, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 46, p. 117-129, 2017.



SISTEMA DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS INTEGRADO A SAÚDE. **Descrição dos Dados**. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/sisam/v2/dados/descricao/>. Acesso: 20 jan. 2022.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES CONTÁVEIS E FISCAIS DO SETOR PÚBLICO. **Contas Anuais**. 2021. Disponível em: <http://www.tesouro.fazenda.gov.br/contas-anuais>. Acesso: 16 ago. 2020.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES SOBRE ORÇAMENTOS PÚBLICOS EM SAÚDE. **Série Histórica de Indicadores**. 2021. Disponível em: <http://siops-asp.datasus.gov.br/CGI/deftohtm.exe?SIOPS/serhist/municipio/indicCE.def>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SOARES, L. R.; ALMEIDA, L. T. Desacoplamento de impactos ambientais no Brasil. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 28, n. 2, p. 21-43, 2018.

SONG, C. *et al.* Comparison between Spatial Econometric Models and Random Forest for Modeling Fire Occurrence. **Sustainability**, v. 9, n. 5, p. 819-839, 2017.

STRAND, J. *et al.* Spatially explicit valuation of the Brazilian Amazon Forest's ecosystem services. **Nature Sustainability**, v. 1, p. 657-664, 2018.

STURTEVANT, B. R.; CLELAND, D. T. Human and biophysical factors influencing modern fire disturbance in northern Wisconsin. **International Journal of Wildland Fire**, v. 16, n. 4, p. 398-413, 2007.

SU, Z. *et al.* Geographically weighted negative binomial regression model predicts wildfire occurrence in the Great Xing'an mountains better than negative binomial model. **Forests**, v. 10, n. 5, p. 377-392, 2019a.

SU, Z. *et al.* Comparative analysis of spatial variation in forest fire drivers between boreal and subtropical ecosystems in China. **Forest Ecology and Management**, v. 454, p. 1-11, 2019b.

TASKER, K. A.; ARIMA, E. Y. Fire regimes in Amazonia: the relative roles of policy and precipitation. **Anthropocene**, v. 14, p. 46-57, 2016.

TEIXEIRA, R. F. A. P.; BERTELLA, M. A.; ALMEIDA, L. T. Curva de Kuznets ambiental para o estado do mato grosso. **Análise Econômica**, v. 30, n. 57, p. 313-337, 2012.

THE WORLD BANK. **World development indicators**. 2020. Disponível em: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>. Acesso em: 06 mar. 2021.

TOBIN, J. Estimation of relationships for limited dependent variables. **Econometrica**, v. 26, n. 1, p. 24-36, 1958.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Human Development Reports**. 2020. Disponível em: <http://hdr.undp.org/>. Acesso em: 29 jun. 2022.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **The Millennium Development Goals Report**. 2021a. Disponível em: <https://www.un.org/millenniumgoals/reports.shtml>. Acesso em: 29 jun. 2021.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Sustainable Development Goals**. 2021b. Disponível em: <https://www.un.org/millenniumgoals/reports.shtml>. Acesso em: 29 jun. 2021.

VADREVU, H. P.; EATURU, A.; BADARINATH, K. V. S. Spatial distribution of forest fires and controlling factors in Andhra Pradesh, India, using satellite datasets. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 123, p. 75-96, 2006.

VALENTI, C. *et al.* Respiratory illness and air pollution from the steel industry: the case of Piquiá de Baixo, Brazil. **Multidisciplinary respiratory medicine**, v. 11, n. 41, p. 1-7, 2016.

VASCONCELOS, M. J. P. *et al.* Spatial prediction of fire ignition probabilities: comparing logistic regression and neural networks. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 67, n. 1, p. 73-81, 2001.

VEGA-NIEVA, D. J. *et al.* Temporal patterns of active fire density and its relationship with a satellite fuel greenness index by vegetation type and region in Mexico during 2003-2014. **Fire Ecology**, v. 15, n. 28, p. 1-19, 2019.

VIDALE, S. *et al.* Air pollution positively correlates with daily stroke admission and in hospital mortality: a study in the urban area of Como, Italy. **Neurological Sciences**, v. 31, n. 2, p. 179-182, 2010.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**. 2. ed. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2010. 1064 p.

XIAO, Y.; ZHANG, X.; JI, P. Modeling Forest fire occurrences using count-data mixed models in Qiannan autonomous prefecture of Guizhou Province in China. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, p. 1-12, 2015.

ZHANG, Y.; LIM, S.; SHARPLES, J. J. Modelling spatial patterns of wildfire occurrence in South-Eastern Australia. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 7, n. 6, p. 1800-1815, 2016.

ZHANG, Y.; LIM, S. Drivers of wildfire occurrence patterns in the inland riverine environment of New South Wales, Australia. **Forests**, v. 10, n. 6, p. 524-540, 2019.

**APÊNDICE A - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS, 2002-2018**

Países	Variáveis	Média	Desvio-padrão	Mín.	Máx.	Δ% (2002-2018)
Argentina	<i>FOCOS</i>	41379,47	12967,16	19053	69317	-16,52
	<i>AGRI</i>	45,11	2,52	39,60	47,55	-15,79
	<i>AGRO</i>	13,53	0,84	12,07	14,78	5,37
	<i>ÁGUA</i>	1,50	0,04	1,45	1,61	-8,36
	<i>FLORE</i>	11,12	0,47	10,52	11,97	-12,11
	<i>TEMP</i>	0,54	0,34	-0,21	1,10	212,85
	<i>DPOP</i>	15,00	0,75	13,84	16,25	17,44
	<i>EMP</i>	54,49	1,95	48,39	56,29	11,79
	<i>DESEM</i>	9,68	3,46	7,1	19,59	-52,93
	<i>PIBpc</i>	13647,41	1749,89	9697	15376	47,06
Bolívia	<i>FOCOS</i>	37653	18470,81	15891	83119	-39,49
	<i>AGRI</i>	34,53	0,33	33,80	34,84	1,13
	<i>AGRO</i>	5,18	0,57	4,25	6,08	43,19
	<i>ÁGUA</i>	1,19	0,01	1,16	1,20	0,90
	<i>FLORE</i>	48,96	0,99	47,31	50,49	-6,29
	<i>TEMP</i>	0,60	0,26	0,15	1,28	-61,53
	<i>DPOP</i>	9,44	0,79	8,21	10,71	30,40
	<i>EMP</i>	68,89	1,93	64,99	70,84	-0,15
	<i>DESEM</i>	2,70	0,48	2,02	3,65	41,13
	<i>PIBpc</i>	2595,88	409,82	2066	3291	59,29
Brasil	<i>FOCOS</i>	244465,50	89925,96	128145	393915	-58,66
	<i>AGRI</i>	27,77	0,36	27,34	28,34	3,65
	<i>AGRO</i>	17,05	0,68	15,24	17,94	15,35
	<i>ÁGUA</i>	1,55	0,02	1,49	1,56	4,41
	<i>FLORE</i>	61,81	1,70	59,71	64,99	-8,12
	<i>TEMP</i>	1,04	0,24	0,72	1,58	12,52
	<i>DPOP</i>	23,44	1,11	21,59	25,14	16,45
	<i>EMP</i>	58,02	1,82	54,36	60,12	-6,54
	<i>DESEM</i>	8,88	1,89	6,66	12,82	31,59
	<i>PIBpc</i>	8225,82	786,19	6905	9248	24,14
Chile	<i>FOCOS</i>	3758,41	1216,57	256	6732	1289,45
	<i>AGRI</i>	21,18	0,15	20,75	21,43	0,86
	<i>AGRO</i>	3,25	0,44	2,53	3,68	-23,49
	<i>ÁGUA</i>	3,63	0,00	3,62	3,65	-0,27
	<i>FLORE</i>	22,70	0,87	21,52	24,16	12,26
	<i>TEMP</i>	0,39	0,29	-0,28	0,87	148,05
	<i>DPOP</i>	22,92	1,21	21,10	25,15	19,16
	<i>EMP</i>	53,40	2,57	48,96	56,02	13,37
	<i>DESEM</i>	8,24	1,58	6,21	11,31	-28,90
	<i>PIBpc</i>	11894,12	1614,48	9056	13901	53,50
Colômbia	<i>FOCOS</i>	17122,47	5376,76	5061	28073	278,46
	<i>AGRI</i>	39,40	2,19	37,50	44,61	18,96
	<i>AGRO</i>	15,26	0,98	13,80	16,75	5,07
	<i>ÁGUA</i>	1,21	0,03	1,11	1,23	7,59
	<i>FLORE</i>	54,89	0,77	53,66	56,20	-4,51
	<i>TEMP</i>	0,67	0,22	0,27	1,13	61,52
	<i>DPOP</i>	40,33	2,36	36,46	44,41	21,80
	<i>EMP</i>	60,22	2,61	56,73	63,71	9,13
	<i>DESEM</i>	10,48	1,75	8,30	14,48	-37,08
	<i>PIBpc</i>	5256,70	798,34	4008	6272	56,48
Equador	<i>FOCOS</i>	2365,70	862,64	983	3920	159,51
	<i>AGRI</i>	27,77	3,59	21,94	30,34	-27,25
	<i>AGRO</i>	11,90	1,09	10,01	13,22	-19,11
	<i>ÁGUA</i>	1,12	0,01	1,09	1,16	1,53
	<i>FLORE</i>	52,66	1,19	50,84	54,72	-7,09
	<i>TEMP</i>	0,72	0,27	0,24	1,33	26,15

Países	Variáveis	Média	Desvio-padrão	Mín.	Máx.	$\Delta\%$ (2002-2018)
	<i>DPOP</i>	60,37	4,96	52,62	68,51	30,18
	<i>EMP</i>	62,72	2,07	59,64	65,53	3,17
	<i>DESEM</i>	3,96	0,73	3,08	5,66	-27,92
	<i>PIBpc</i>	5423,70	604,58	4397	6217	35,36
Paraguai	<i>FOCOS</i>	25202,18	8090,55	12823	44774	-43,73
	<i>AGRI</i>	40,55	1,42	38,49	42,63	9,89
	<i>AGRO</i>	20,52	3,15	15,93	24,89	45,79
	<i>ÁGUA</i>	0,91	0,01	0,88	0,94	6,52
	<i>FLORE</i>	49,01	4,60	41,94	56,15	-25,30
	<i>TEMP</i>	0,55	0,38	0,09	1,37	-55,31
	<i>DPOP</i>	14,64	0,90	13,30	16,21	21,88
	<i>EMP</i>	65,56	1,64	62,29	68,36	8,19
	<i>DESEM</i>	5,34	1,29	4,09	9,39	-33,75
	<i>PIBpc</i>	4702,70	717,83	3725	5781	57,61
Peru	<i>FOCOS</i>	11988	3255,40	6261	18730	76,95
	<i>AGRI</i>	19,09	0,36	18,38	19,61	5,00
	<i>AGRO</i>	2,96	0,08	2,81	3,08	7,97
	<i>ÁGUA</i>	1,16	0,03	1,07	1,18	10,09
	<i>FLORE</i>	57,77	0,58	56,78	58,63	-3,15
	<i>TEMP</i>	0,81	0,21	0,55	1,33	-11,95
	<i>DPOP</i>	22,99	1,11	21,35	25,15	17,81
	<i>EMP</i>	73,79	2,67	67,15	76,89	10,91
	<i>DESEM</i>	3,88	0,53	3,21	4,88	-27,89
	<i>PIBpc</i>	5107	1109,72	3422	6574	92,10
Uruguai	<i>FOCOS</i>	802,52	334,12	395	1365	-54,53
	<i>AGRI</i>	83,15	1,44	81,08	85,29	-4,90
	<i>AGRO</i>	47,28	1,56	44,76	50,27	1,77
	<i>ÁGUA</i>	2,55	0,01	2,54	2,56	-0,20
	<i>FLORE</i>	9,88	1,02	8,24	11,36	37,86
	<i>TEMP</i>	0,69	0,41	0,16	1,62	103,31
	<i>DPOP</i>	19,19	0,23	18,89	19,58	3,64
	<i>EMP</i>	57,46	4,12	49,26	61,85	16,77
	<i>DESEM</i>	9,34	3,36	6,31	16,66	-49,90
	<i>PIBpc</i>	13389,47	3129,87	8929	17423	95,12
Venezuela	<i>FOCOS</i>	21521	5056,81	12049	33743	63,43
	<i>AGRI</i>	24,41	0,04	24,38	24,49	-0,16
	<i>AGRO</i>	12,42	0,66	10,79	12,98	0,68
	<i>ÁGUA</i>	1,55	0,01	1,50	1,56	4,16
	<i>FLORE</i>	53,87	0,91	52,53	55,35	-5,09
	<i>TEMP</i>	0,74	0,23	0,39	1,17	17,78
	<i>DPOP</i>	32,26	2,01	28,71	34,85	17,74
	<i>EMP</i>	57,54	2,77	51,39	60,27	3,42
	<i>DESEM</i>	8,43	3,86	5,02	16,78	-68,94
	<i>PIBpc</i>	10977,12	1903,23	6703	13001	-29,09

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

**APÊNDICE B – LISTA DE TABULAÇÃO PARA MORBIDADE**

Capítulo	Código	Descrição	Códigos da CID - 10
IX	143-64	Doenças do aparelho circulatório	I00-I99
IX	143	Febre reumática aguda	I00-I02
IX	144	Doença reumática crônica do coração	I05-I09
IX	145	Hipertensão essencial (primária)	I10
IX	146	Outras doenças hipertensivas	I11-I15
IX	147	Infarto agudo do miocárdio	I21-I22
IX	148	Outras doenças isquêmicas do coração	I20, I23-I25
IX	149	Embolia pulmonar	I26
IX	150	Transtornos de condução e arritmias cardíacas	I44-I49
IX	151	Insuficiência cardíaca	I50
IX	152	Outras doenças do coração	I27-I43, I51-I52
IX	153	Hemorragia intracraniana	I60-I62
IX	154	Infarto cerebral	I63
IX	155	Acidente vascular cerebral, não especificado como hemorrágico ou isquêmico	I64
IX	156	Outras doenças cerebrovasculares	I65-I69
IX	157	Aterosclerose	I70
IX	158	Outras doenças vasculares periféricas	I73
IX	159	Embolia e trombose arteriais	I74
IX	160	Outras doenças das artérias, arteríolas e capilares	I71-I72, I77-I79
IX	161	Flebite, tromboflebite, embolia e trombose venosa	I80-I82
IX	162	Veias varicosas das extremidades inferiores	I83
IX	163	Hemorróidas	I84
IX	164	Outras doenças do aparelho circulatório	I85-I99
X	165-179	Doenças do aparelho respiratório	J00-J99
X	165	Faringite aguda e amigdalite aguda	J02-J03
X	166	Laringite e traqueíte agudas	J04
X	167	Outras infecções agudas das vias aéreas superiores	J00-J01, J05-J06
X	168	Influenza [gripe]	J09-J11
X	169	Pneumonia	J12-J18
X	170	Bronquite aguda e bronquiolite aguda	J20-J21
X	171	Sinusite crônica	J32
X	172	Outras doenças do nariz e dos seios paranasais	J30-J31, J33-J34
X	173	Doenças crônicas das amígdalas e das adenóides	J35
X	174	Outras doenças do trato respiratório superior	J36-J39
X	175	Bronquite, enfisema e outras doenças pulmonares obstrutivas crônicas	J40-J44
X	176	Asma	J45-J46
X	177	Bronquiectasia	J47
X	178	Pneumoconiose	J60-J65
X	179	Outras doenças do aparelho respiratório	J22, J66-J99

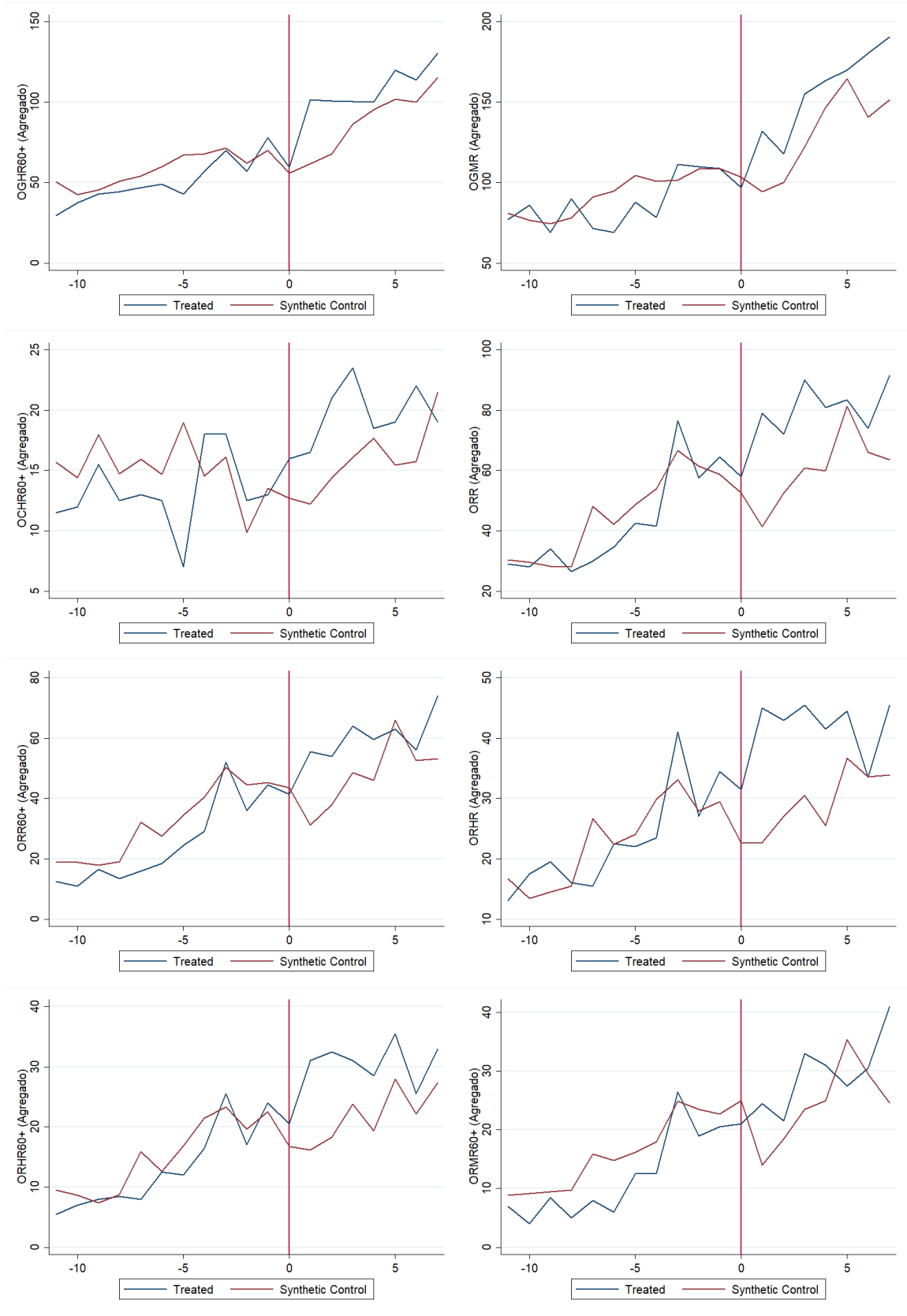
Fonte: Elaborado com base em DATASUS (2021c).

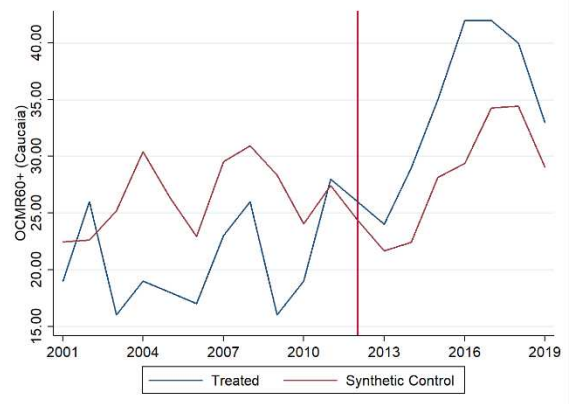
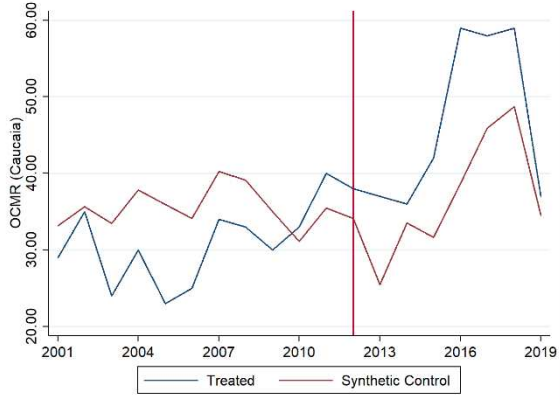
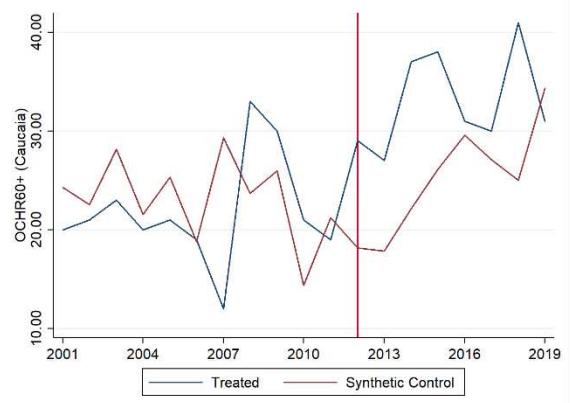
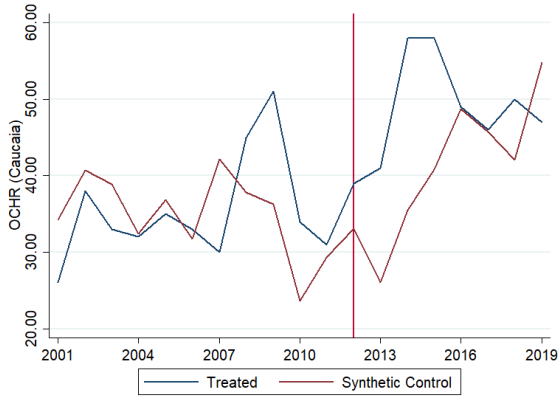
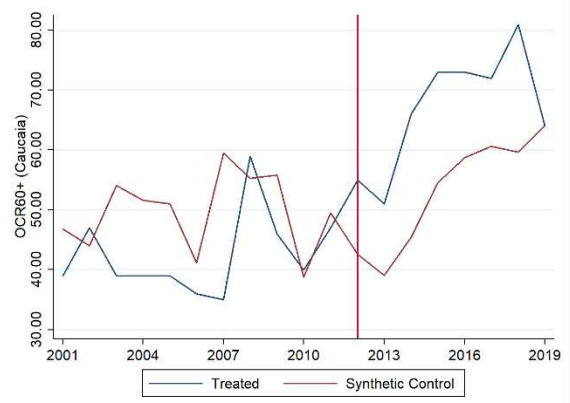
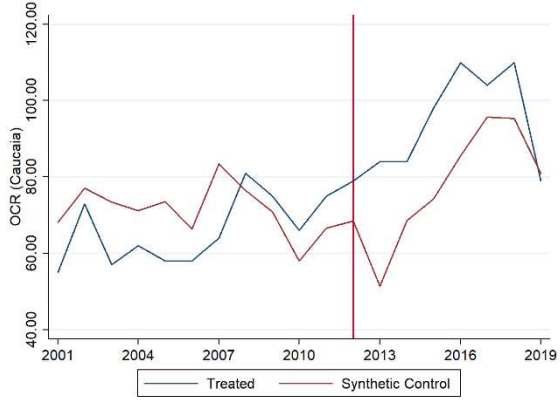
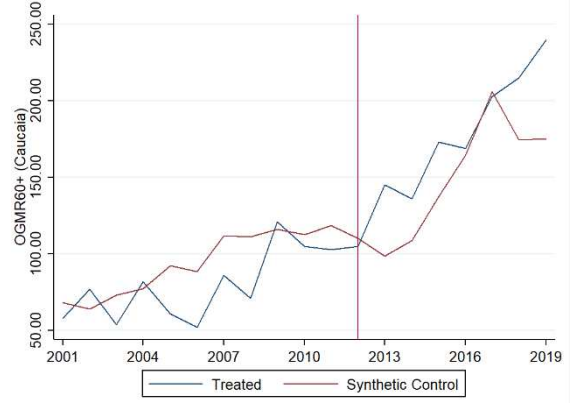
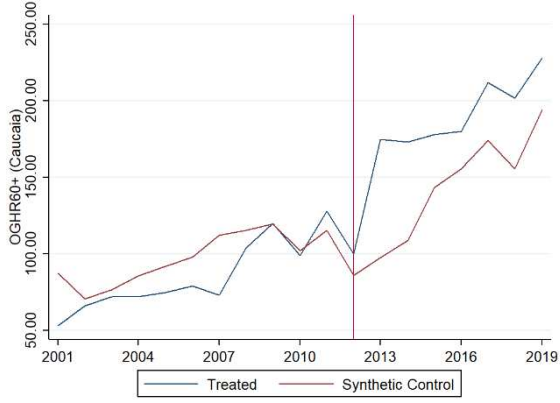
### APÊNDICE C – CLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS RESPOSTA

Abreviação da Variável	Definição Completa
IGR	Internações Gerais Residência
IGR60+	Internações Gerais Residência 60+
IGHR	Internações Gerais Homens Residência
IGHR60+	Internações Gerais Homens Residência 60+
IGMR	Internações Gerais Mulheres Residência
IGMR60+	Internações Gerais Mulheres Residência 60+
ICR	Internações Circulatório Residência
ICR60+	Internações Circulatório Residência 60+
ICHR	Internações Circulatório Homens Residência
ICHR60+	Internações Circulatório Homens Residência 60+
ICMR	Internações Circulatório Mulheres Residência
ICMR60+	Internações Circulatório Mulheres Residência 60+
IRR	Internações Respiratório Residência
IRR60+	Internações Respiratório Residência 60+
IRHR	Internações Respiratório Homens Residência
IRHR60+	Internações Respiratório Homens Residência 60+
IRMR	Internações Respiratório Mulheres Residência
IRMR60+	Internações Respiratório Mulheres Residência 60+
OGO	Óbitos Gerais Ocorrência
OGO60+	Óbitos Gerais Ocorrência 60+
OGHO	Óbitos Gerais Homens Ocorrência
OGHO60+	Óbitos Gerais Homens Ocorrência 60+
OGMO	Óbitos Gerais Mulheres Ocorrência
OGMO60+	Óbitos Gerais Mulheres Ocorrência 60+
OCO	Óbitos Circulatório Ocorrência
OCO60+	Óbitos Circulatório Ocorrência 60+
OCHO	Óbitos Circulatório Homens Ocorrência
OCHO60+	Óbitos Circulatório Homens Ocorrência 60+
OCMO	Óbitos Circulatório Mulheres Ocorrência
OCMO60+	Óbitos Circulatório Mulheres Ocorrência 60+
ORO	Óbitos Respiratório Ocorrência
ORO60+	Óbitos Respiratório Ocorrência 60+
ORHO	Óbitos Respiratório Homens Ocorrência
ORHO60+	Óbitos Respiratório Homens Ocorrência 60+
ORMO	Óbitos Respiratório Mulheres Ocorrência
ORMO60+	Óbitos Respiratório Mulheres Ocorrência 60+
OGR	Óbitos Gerais Residência
OGR60+	Óbitos Gerais Residência 60+
OGHR	Óbitos Gerais Homens Residência
OGHR60+	Óbitos Gerais Homens Residência 60+
OGMR	Óbitos Gerais Mulheres Residência
OGMR60+	Óbitos Gerais Mulheres Residência 60+
OCR	Óbitos Circulatório Residência
OCR60+	Óbitos Circulatório Residência 60+
OCHR	Óbitos Circulatório Homens Residência
OCHR60+	Óbitos Circulatório Homens Residência 60+
OCMR	Óbitos Circulatório Mulheres Residência
OCMR60+	Óbitos Circulatório Mulheres Residência 60+
ORR	Óbitos Respiratório Residência
ORR60+	Óbitos Respiratório Residência 60+
ORHR	Óbitos Respiratório Homens Residência
ORHR60+	Óbitos Respiratório Homens Residência 60+
ORMR	Óbitos Respiratório Mulheres Residência
ORMR60+	Óbitos Respiratório Mulheres Residência 60+

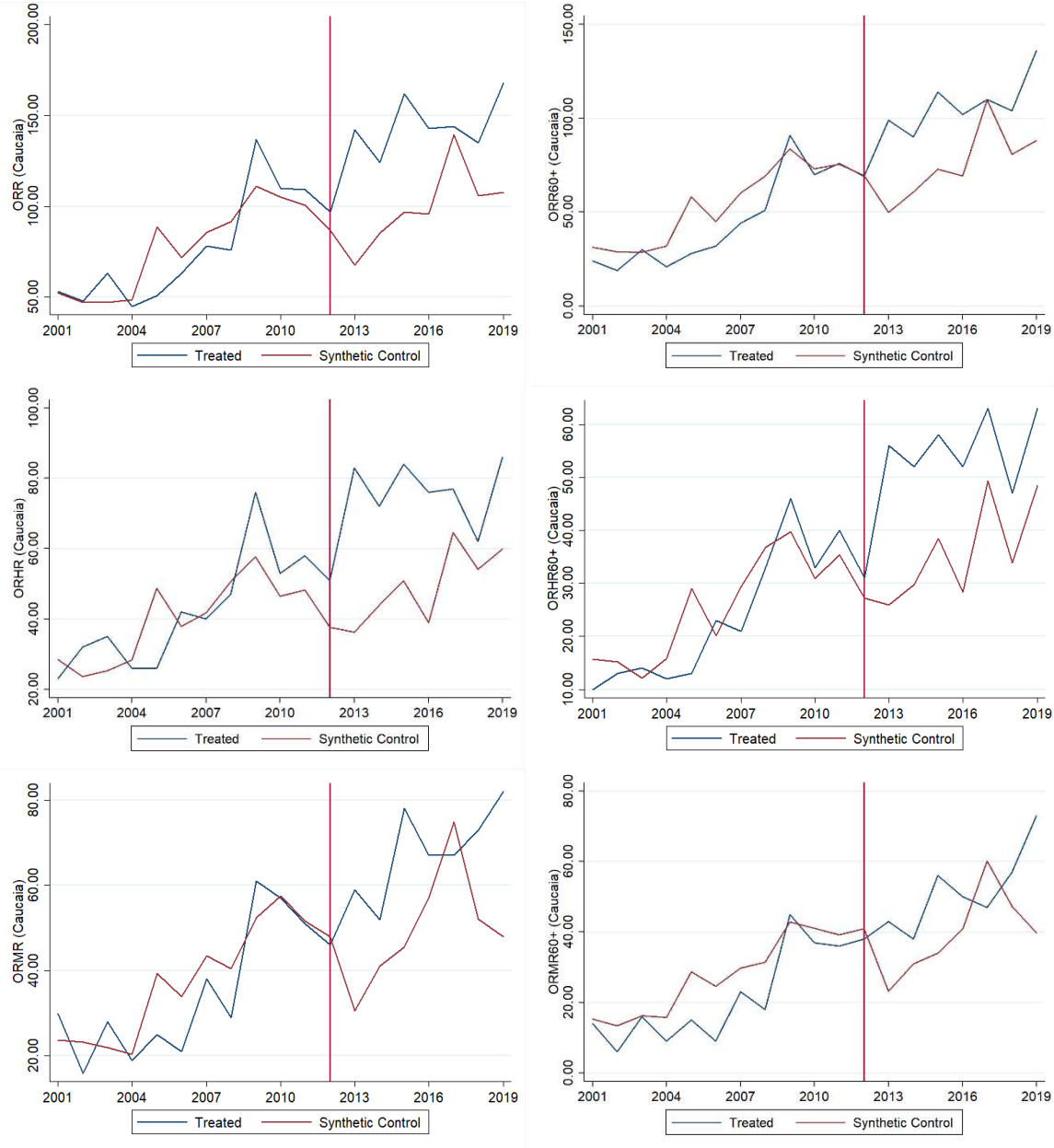
Fonte: Elaborado com base nos dados da pesquisa.

### APÊNDICE D – EFEITOS SOBRE OS INDICADORES DE SAÚDE



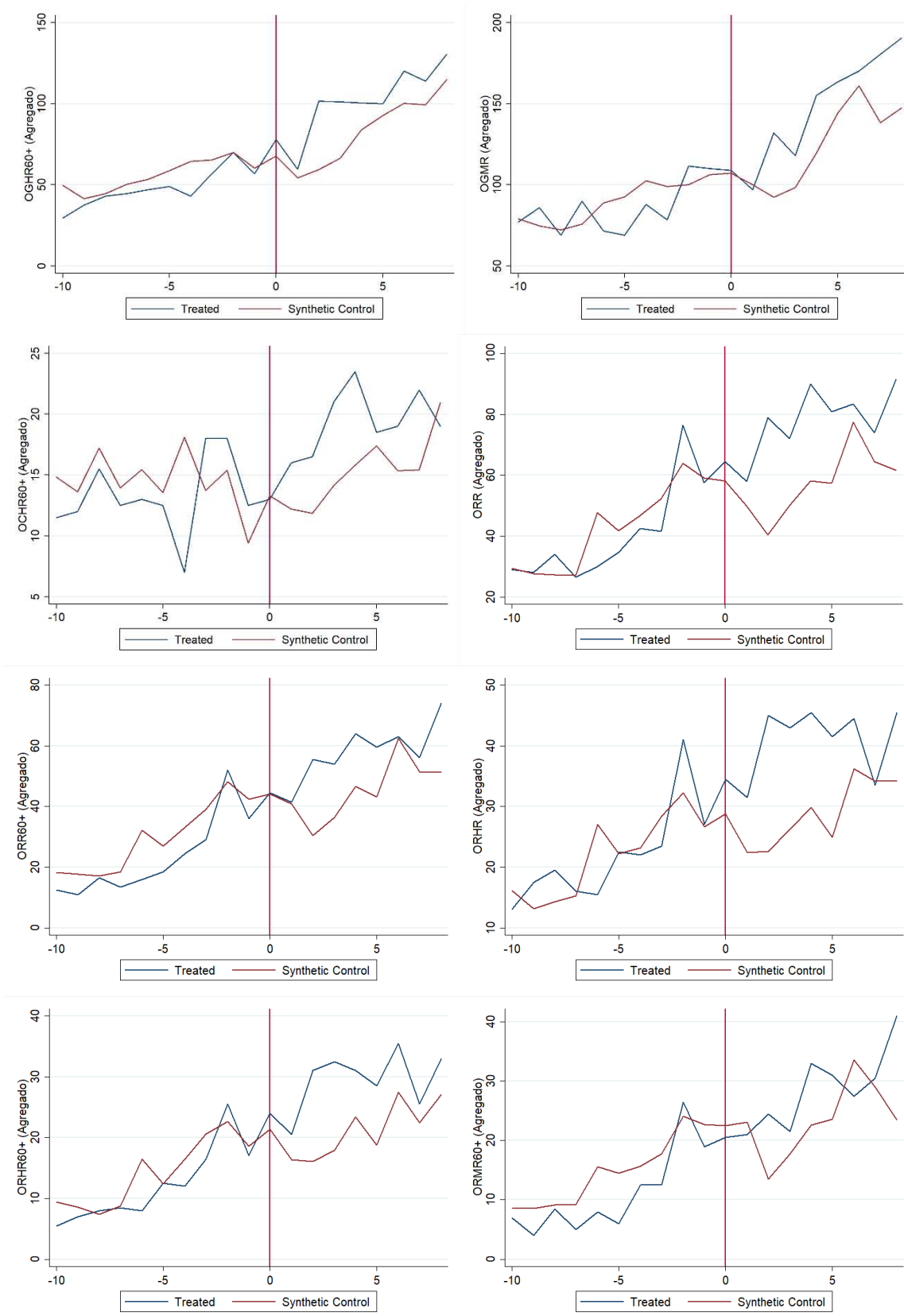




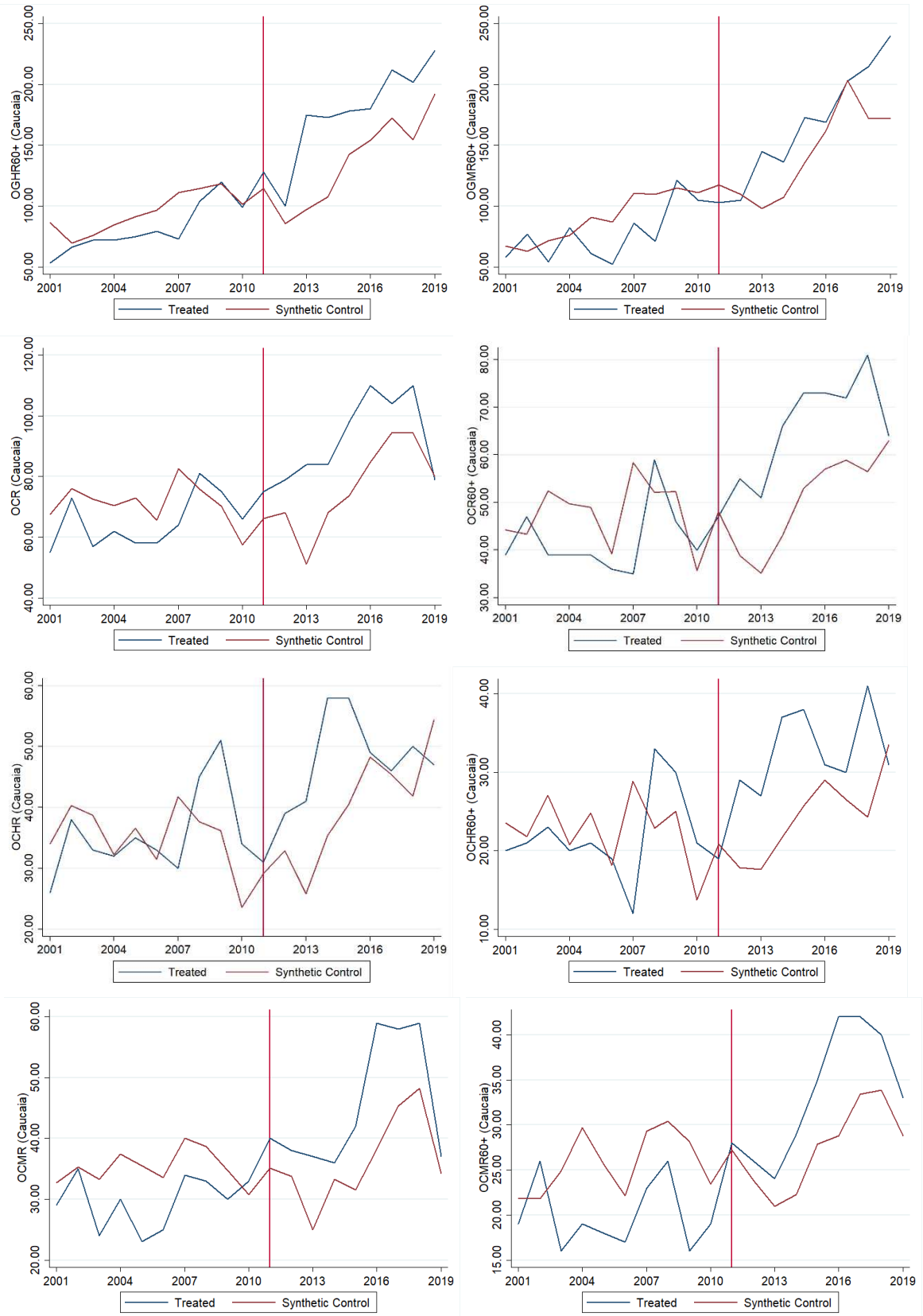


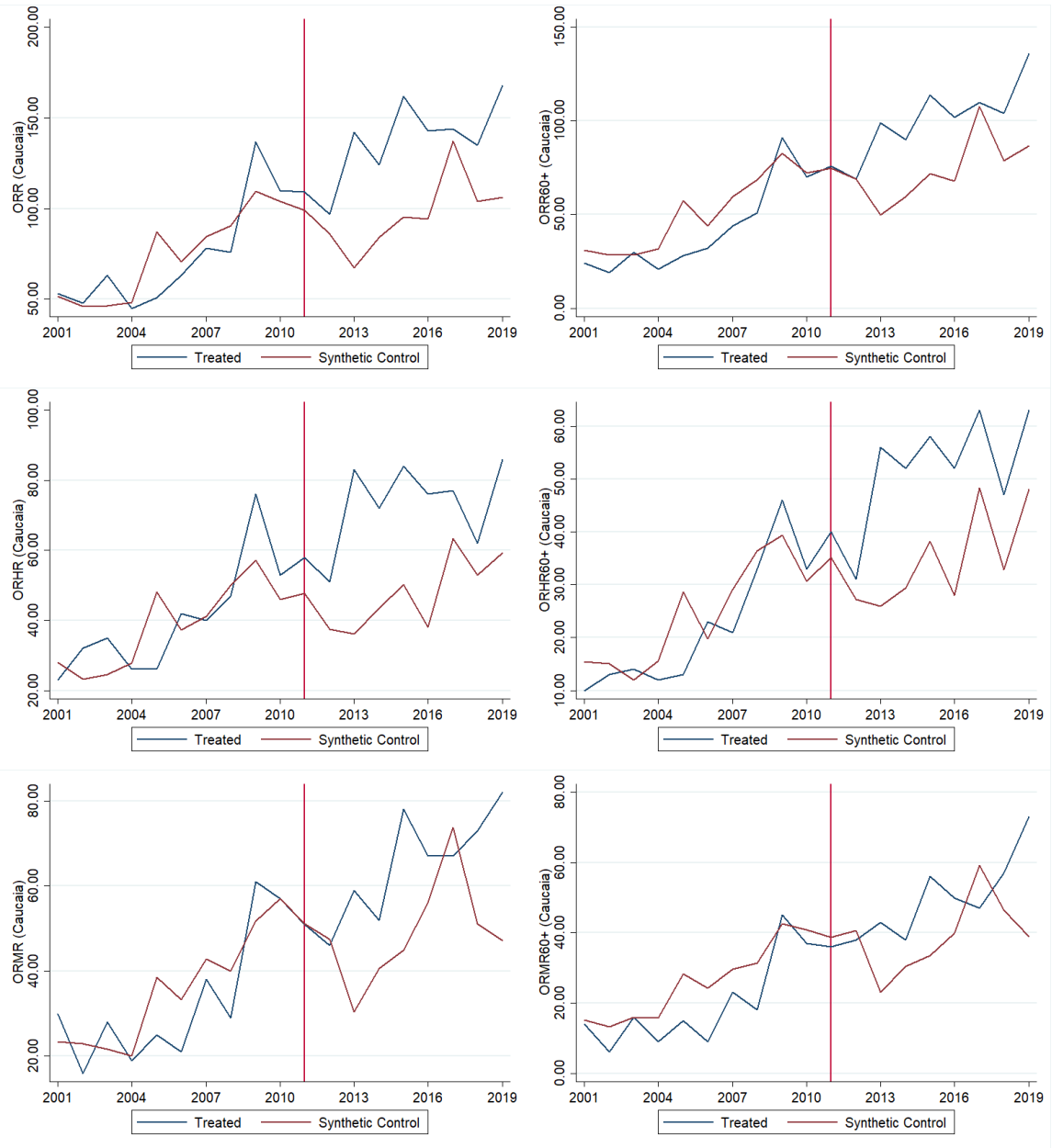
Fonte: Elaborado com base nos dados da pesquisa.

## APÊNDICE E – TESTE DE PLACEBO TEMPORAL



Fonte: Elaborado com base nos dados da pesquisa.





Fonte: Elaborado com base nos dados da pesquisa.