



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA RURAL

JOSÉ ALEX DO NASCIMENTO BENTO

ENSAIOS SOBRE ECONOMIA AMBIENTAL NA AMÉRICA LATINA

FORTALEZA

2022

JOSÉ ALEX DO NASCIMENTO BENTO

ENSAIOS SOBRE ECONOMIA AMBIENTAL NA AMÉRICA LATINA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Economia Rural. Área de concentração: Políticas Públicas e Desenvolvimento Rural.

Orientador: Prof. Dr. Jair Andrade de Araujo
Coorientador: Prof. Dr. Francisco José Silva Tabosa

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B42e Bento, José Alex do Nascimento.
Ensaio sobre economia ambiental na América Latina / José Alex do Nascimento Bento. – 2022.
125 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Jair Andrade de Araújo.
Coorientação: Prof. Dr. Francisco José Silva Tabosa.

1. Economia Ambiental. 2. América Latina. 3. Mudanças Climáticas. I. Título.

CDD 338.1

JOSÉ ALEX DO NASCIMENTO BENTO

ENSAIOS SOBRE ECONOMIA AMBIENTAL NA AMÉRICA LATINA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Economia Rural. Área de concentração: Políticas Públicas e Desenvolvimento Rural.

Aprovada em 23/05/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jair Andrade de Araujo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco José Silva Tabosa (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Kilmer Coelho Campos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Wellington Ribeiro Justo
Universidade Regional do Cariri (URCA)

Prof^a. Dr^a. Andréa Ferreira da Silva
Universidade Regional do Cariri (URCA)

A Deus, minha família e amigos, em especial,
Illydio Esmeraldo, Eliene Pereira e Neta
Felício (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente ao longo da minha vida e me dar forças para seguir sempre em frente.

Aos meus pais, Cícero e Maria, aos meus irmãos, Elisângela, Alexandra e Alexandre e a minha sobrinha, Maria Luíza, por estarem comigo em todos os momentos de minha vida, dando-me apoio e conselhos que me favoreçam.

Aos meus amigos, em especial, Fabiana Sales, Carlos Tafarel, Fernando Menezes, Jordan, Leonardo, Betânia, Renê, Edilma, Kaique, Wellington, De Assis e outros tantos, por me incentivarem nas obrigações e me proporcionarem momentos de lazer.

Aos meus colegas de doutorado, Erivelton, Cícero, Laércio, Luciana, Luciene, Pedro e Nádia, por estarem comigo nesta jornada desde o começo, nos momentos felizes e difíceis em que compartilhamos nossos sonhos e esperanças.

Ao orientador, Jair Araujo, pelos seus ensinamentos, cuidado e dedicação dispensados no auxílio à concretização dessa tese. Agradeço também a todos os meus professores como Guillermo Gamarra (MAER/UFC), José Lemos (MAER/UFC), Edward Costa (MAER/UFC), Ahmad Saeed (MAER/UFC), Guilherme Irffi (CAEN/UFC), Christiane Luci (URCA), Laudeci Martins (URCA), entre tantos outros da graduação, mestrado e doutorado.

Aos professores membros da banca examinadora, em especial, meu co-orientador o Prof. Dr. Francisco José Silva Tabosa, e Prof. Dr. Wellington Ribeiro Justo, pela dedicação, conhecimento e confiança, Prof. Dr. Kilmer Coelho Campos, e Prof. Dr^a. Andréa Ferreira da Silva, pela disponibilidade e valiosas contribuições para a elaboração final desta tese.

A Universidade Federal do Ceará (UFC) e, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural (PPGER), saudoso MAER, pela dedicação na formação dos seus alunos. Aos funcionários do PPGER/UFC, pela ajuda, competência e profissionalismo em cada período.

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo apoio financeiro recebido com a concessão da bolsa de estudos, sem o qual não poderia ter iniciado e concluído o curso de doutorado.

E a todos que contribuíram de alguma forma na minha titulação no curso de Doutorado em Economia Rural, o meu muito obrigado!

RESUMO

Esta tese é composta por três ensaios relacionados com a temática de mudanças climáticas. O primeiro avalia a vulnerabilidade das economias latino-americanas, medida pelo PIB *per capita*, à precipitação e flutuações de temperatura, a fim de analisar como esses países são afetados pelas condições climáticas. O Método de Momentos Generalizados Diferenciado (MMG-DIF) foi utilizado para verificar a influência das variáveis climáticas, conjuntamente com indicadores econômicos, no nível de atividade econômica. Os resultados indicaram que extremos de precipitação, medido pelo *Standardized Precipitation Index* (SPI), são as influências climáticas dominantes no crescimento econômico e que os efeitos são significativos e negativos. A *dummy* de Seca foi associada a uma influência positiva no PIB *per capita*, enquanto a *dummy* de inundação, Chuva, foi associada a uma influência negativa para os países latino-americanos. Constatou-se que a temperatura tem efeito significativo menor do que a precipitação. Por sua vez, o segundo ensaio avalia os condicionantes das internações por doenças respiratórias para a região da Amazônia Legal, em nível municipal, no período 2000-2019, utilizando modelos abordando a dependência espacial. Os resultados da Análise Exploratória de Dados Espaciais sugerem a existência de “*clusters*” em um padrão Alto-Alto na região do Arco do Desmatamento e na parte nordeste da referida região. Os resultados indicaram a presença de efeitos não-observados nas internações por doenças respiratórias, sendo adequada a estimação pelo modelo *Spatial Autocorrelation Model* (SAC). As variáveis desmatamento, densidade populacional, emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) e crédito rural impactaram positivamente, enquanto, razão capital-trabalho e precipitação afetaram de maneira negativa as internações por doenças respiratórias. Por fim, o terceiro ensaio propõe identificar os preditores das internações por doenças respiratórias para a região da Amazônia Legal, em nível municipal, no período 2000-2019, utilizando o modelo Regressão Ponderadas Geograficamente em Painel (RPGP) tratando a dependência espacial. Os resultados da estimação do modelo RPGP resultou em parâmetros calculados para cada município, sendo possível representar em mapa as diferentes relações encontradas, concentradas nas porções central e nordeste da Amazônia, o que revelou a heterogeneidade na área de estudo. Por fim, acredita-se que os estudos e políticas para a Amazônia brasileira devem considerar, sobretudo estas diferenças intrarregionais existentes.

Palavras-chave: mudanças climáticas; crescimento econômico; modelos espaciais; Amazônia Legal; saúde.

ABSTRACT

This thesis encompasses three related essays in climate changes. The first one assesses the the vulnerability of Latin American economies, measured by GDP per capita, to precipitation and temperature fluctuations, in order to estimate how these countries are affected by climatic conditions. The Differentiated Generalized Moments Method (DIF-GMM) was used to verify the influence of climatic variables, together with economic indicators, on the level of economic activity. The results indicated that precipitation extremes, as measured by the Standardized Precipitation Index (SPI), are the dominant climatic influences on economic growth and that the effects are significant and negative. The Drought dummy was associated with a positive influence on GDP per capita, while the flood dummy Rain was associated with a negative influence for Latin American countries. It was found that temperature has a significantly lower effect than precipitation. In turn, the second essay evaluates the conditioning factors of hospitalizations for respiratory diseases for the Legal Amazon, at the municipal level, in the period 2000-2019, using models addressing spatial dependence. The results of the Exploratory Spatial Data Analysis suggest the existence of “clusters” in a High-High pattern in the Arc of Deforestation region and in the northeastern part of that region. The econometric results indicated the presence of unobserved effects, being more adequate the estimation by the Spatial Autocorrelation Model (SAC). The variables deforestation, population density, Greenhouse Gases (GHG) emissions and rural credit had a positive impact, while the capital-labor ratio and precipitation had a negative impact. Finally, the third essay proposes to identify the predictors of hospitalizations for respiratory diseases for the Legal Amazon, at the municipal level, in the period 2000-2019, using the Geographically Weighted Panel Regression (GWPR) model dealing with spatial dependence. The results of the estimation of the GWPR model resulted in parameters calculated for each municipality, making it possible to represent on a map the different relationships found, concentrated in the central and northeast portions of the Amazon, which revealed the heterogeneity in the study area. Finally, it is believed that studies and policies for the Brazilian Amazon should consider, above all, these existing intra-regional differences.

Keywords: climate changes; economic growth; spatial models; Legal Amazon; Health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	– Amazônia Legal brasileira e amostra de referência.....	55
Figura 3.2	– Mapas de significância LISA e mapas de <i>clusters</i> para as interações de doenças respiratórias anual dos municípios da Amazônia Legal, 2000-2019.....	70
Figura 4.1	– R^2 local da estimação por RPGP, Amazônia Legal, 2000-2019.....	95
Figura 4.2	– Teste F local da estimação por RPGP, Amazônia Legal, 2000-2019.....	97
Figura 4.3	– Tese LM local da estimação por RPGP, Amazônia Legal, 2000-2019.....	97
Figura 4.4	– Teste de Hausman da estimação por RPGP, Amazônia Legal, 2000-2019.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	– Estatística descritiva das variáveis, América Latina, 1990-2019.....	32
Tabela 2.2	– Resultados das regressões em painel dinâmico para PIB <i>per capita</i> como variável dependente, utilizando indicadores econômicos e climáticos (temperaturas e índice SPI) como variáveis explicativas para a América Latina de 1990 a 2019.....	34
Tabela 2.3	– Resultados das regressões em painel dinâmico para PIB <i>per capita</i> como variável dependente, utilizando indicadores econômicos e climáticos (temperaturas e <i>dummies</i> Seca e Chuva) como variáveis explicativas para a América Latina de 1990 a 2019.....	38
Tabela 3.1	– Estatísticas das variáveis dependente e explicativas investigadas- Amazônia Legal- 2000-2019.....	68
Tabela 3.2	– Resultados dos modelos estimados para a Amazônia Legal (sem correção para dependência espacial), 2000-2019.....	71
Tabela 3.3	– Resultados dos modelos estimados para a Amazônia Legal (com correção para dependência espacial), 2000-2019.....	73
Tabela 3.4	– Resultados da mensuração dos impactos do modelo SAC estimado para a Amazônia Legal, 2000-2019.....	78
Tabela 4.1	– Resultados da estimação do modelo RPGP, Amazônia Legal, 2000-2019.....	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	– Base de dados: Socioeconômicos e climáticos. E principais referências nos trabalhos empíricos.....	26
Quadro 3.1	– Resumo de trabalhos sobre desmatamento na Amazônia que consideram a CAK, utilizando o método de efeitos espaciais.....	49
Quadro 3.2	– Resumo dos trabalhos empíricos sobre o desmatamento da Amazônia Legal.....	50
Quadro 3.3	– Variáveis da Pesquisa, Amazônia Legal, 2000-2019.....	56
Quadro 3.4	– Testes Wald para seleção do modelo espacial, Amazônia Legal, 2000-2019.....	75
Quadro 4.1	– Resumo dos trabalhos empíricos sobre a associação queimadas florestais e saúde em países selecionados e na Amazônia Legal.....	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEDE	Análise Exploratória de Dados Espaciais
AIC	Critério de Informação de Akaike
CAK	Curva Ambiental de Kuznets
COVNM	Compostos Orgânicos Voláteis não Metânicos
VC	Validação Cruzada
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
<i>FTT</i>	<i>Forest transition theory</i>
GEE	Gases do Efeito Estufa
GEPA	Grupo de Estudos de Poluição do Ar
GWPR	<i>Geographically Weighted Panel Regression</i>
HRW	<i>Human Rights Watch</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IEPS	Instituto de Estudos para Políticas de Saúde
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LBA	Experimento de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia
LISA	<i>Local Indicator of Spatial Association</i>
MCG	Modelos de Circulação Geral
LM	Multiplicador Lagrangiano
LR	<i>Likelihood Ratio</i>
ML	Máxima Verossimilhança
MMG	Método de Momentos Generalizados
MMG-DIF	Método de Momentos Generalizados Diferenciado
MMG-Sistema	Método de Momentos Generalizados Sistema
MP	Material Particulado
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
MQG	Mínimos Quadrados Generalizados

MQP	Minimos Quadrados Ponderados
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ODA	<i>Official Development Assistance</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PAS	Plano Amazônia Sustentável
PFC	Perfluorcarbonetos
PIB	Produto Interno Bruto
Programa ABC	Programa Agricultura de Baixo Carbono
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
RPGP	Regressão Geograficamente Ponderada em Painel
SAC	<i>Spatial Autocorrelation Model</i>
SAR	<i>Spatial autoregressive model</i>
SDM	<i>Spatial Durbin model</i>
SEM	<i>Spatial error model</i>
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SPI	<i>Standardized Precipitation Index</i>
SUS	Sistema Único de Saúde
TGBU	Temperatura de Globo de Bulbo Úmido
TTF	Teoria da Transição Florestal
CV	<i>Cross-Validation</i>
WASP	<i>Weighted Anomaly Standardized Precipitation</i>
WLS	<i>Weighted Least Square</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	O IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O NÍVEL DE RENDA NA AMÉRICA LATINA.....	19
2.1	Introdução.....	19
2.2	Revisão de Literatura	22
2.3	Metodologia	25
2.3.1	<i>Base de dados</i>	25
2.3.2	<i>Abordagem empírica.....</i>	28
2.4	Resultados e Discussão	31
2.5	Considerações Finais	41
3	CONDICIONANTES DAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EVIDÊNCIAS ESPACIAIS A PARTIR DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL.....	43
3.1	Introdução.....	43
3.2	Revisão de Literatura	46
3.2.1	<i>Primeiras teorias relacionadas ao desmatamento.....</i>	46
3.2.2	<i>A relação entre queimadas e doenças respiratórias</i>	51
3.3	Metodologia	54
3.3.1	<i>Área de estudo</i>	54
3.3.2	<i>Base de dados</i>	55
3.3.3	<i>Métodos analíticos</i>	61
3.3.3.1	<i>Modelo de econometria espacial.....</i>	61
3.3.3.2	<i>Estratégia empírica com efeitos espaciais</i>	64
3.4	Condicionantes das internações de doenças respiratórias na Amazônia Legal ..	67
3.5	Considerações Finais	81

4	DESMATAMENTO E SAÚDE HUMANA: PREDITORES ESPACIAIS PARA AS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NA AMAZÔNIA LEGAL.....	83
4.1	Introdução.....	83
4.2	Revisão de Literatura	86
4.3	Metodologia	89
4.3.1	Área de estudo e base de dados.....	89
4.3.2	Métodos analíticos	89
4.3.2.1	<i>Regressão Geograficamente Ponderada em Painel (RPGP) ou Geographically Weighted Panel Regression (GWPR)</i>	89
4.3.2.2	<i>Estratégia empírica com RPGP</i>	92
4.4	Preditores das internações de doenças respiratórias na Amazônia Legal.....	93
4.5	Considerações Finais	100
5	CONCLUSÃO	103
	REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

O termo mudança climática pode ser conceituado como uma variação no clima a nível global devido a causas naturais e, principalmente de acordo com vários estudiosos, à ação humana, em consequência da crescente retenção do calor do sol na atmosfera terrestre, este fato também é conhecido como “efeito estufa” (IPCC, 2014).

Nesse sentido, esse fenômeno se manifesta de diversas maneiras, tais como, aumento da temperatura média global, elevação do nível do mar, redução da criosfera, modificações dos padrões de precipitação (inundações e secas) e de eventos climáticos extremos (como o *EL NIÑO* e *LA NIÑA*). Segundo os relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas IPCC (2014) e do *Stern's Review on the Economics of Climate Change* STERN *et al.* (2006), as atividades humanas têm influência sobre essas transformações do clima, com consequências significativas sobre a economia, o bem-estar social e o meio ambiente.

Segundo a abordagem da economia para a mudança climática, induzida pelas atividades econômicas, esta mudança é denominada "externalidade" e o clima mundial visto como um "bem público". Nessa percepção, as emissões de gases gerados pela ação do homem (uso de eletricidade, produção das fábricas, derrubada de florestas, aquecedores de casas, uso dos automóveis, entre outras) não refletem os custos do efeito estufa que vem sendo resultado da acumulação desses gases na atmosfera (STERN *et al.*, 2006).

Essa temática se tornou um dos grandes desafios do século XXI, devido a suas causas e consequências a nível mundial e ao grande volume de esforços necessários e simultâneos para amortecer (ou melhor adaptar-se) aos seus impactos negativos. Nessa batalha, será indispensável modificar os padrões de produção e consumo de energia, bem como implementar medidas de adaptação. Logo, espera-se uma transformação estrutural do atual estilo de desenvolvimento, uma revolução, no sentido de um desenvolvimento mais sustentável que preserve os ativos econômicos, sociais e ambientais para as gerações futuras.

Os avanços significativos observados para enfrentar esse desafio vêm se desenvolvendo desde a metade do século XX, e recentemente em 2015 foi aprovado pela Assembleia Geral das Nações Unidas (ONU) os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que constituem uma agenda universal de metas relacionadas aos aspectos econômicos, sociais e ambientais até 2030. A meta ODS de número 13 tem como objetivo as mudanças climáticas que inclui metas nacionais específicas de mitigação e adaptação para o período 2020-2030.

Dessa maneira, sob a perspectiva da aplicação de métodos quantitativos em economia, muito embora o Brasil já possua uma produção quantitativa considerável nesta vertente, esta tese desenvolveu três ensaios, estruturados em capítulos, na busca em responder algumas lacunas existentes na temática estudada. Alicerçados em teorias macroeconômicas, com foco no nível de renda e sua relação com a mudança climática e em teorias relacionadas à economia da saúde, a presente pesquisa explora e investiga novas aplicações de métodos e técnicas que buscam melhores inferências em problemas econômicos já existentes.

O primeiro ensaio evidencia a vulnerabilidade das economias latino-americanas, medida pelo PIB *per capita*, à precipitação e flutuações de temperatura, a fim de estimar como esses países são afetados pelas condições climáticas. A principal motivação está na estimação (utilizando a técnica Método de Momentos Generalizados - MMG) para ver até que ponto as mudanças climáticas podem influenciar o progresso econômico das economias latino-americanas. A inclusão de variáveis climáticas (precipitação e temperatura) substituirão a emissão de CO_2 como proxy para a mudança climática. A hipótese a ser testada é a participação da precipitação como variável mais impactante no nível de renda, em termos climáticos. Já que em vários estudos a variável mais importante utilizada é a temperatura, enquanto a precipitação muitas das vezes não é incluída na análise.

Por sua vez, o segundo ensaio consiste em analisar os condicionantes das doenças respiratórias na região da Amazônia Legal. Esse estudo pode ser útil para o gerenciamento da saúde na região Norte, cuja vulnerabilidade social é a maior do país – o que pode amplificar o impacto dos desequilíbrios ambientais sobre a saúde. Assim, a estratégia empírica foi baseada no uso de dados em painel, que permitiram controlar efeitos não observados a nível municipal. Para isto, utilizou-se a abordagem de econometria espacial, usando os 772 municípios da Amazônia Legal, no período de 2000 a 2019. A principal motivação está na estimação espacial, já que metodologias considerando efeitos espaciais, para a análise de doenças respiratórias, não são recorrentes na Amazônia, apenas em estudos centralizados no desmatamento. A hipótese a ser testada é quais são as causas dessas internações por doenças respiratórias? E existe relação entre o desmatamento e essas internações? As respostas às essas indagações se revelam importante, pois eventuais medidas ou políticas que tenham o objetivo de controlar ou combater o desmatamento devem levar em conta tais desigualdades para serem eficientes.

Finalmente, o terceiro e último ensaio objetiva analisar a variabilidade espacial das causas das internações por doenças respiratórias na Amazônia Legal brasileira, nas últimas duas décadas (2000–2019). Com esse propósito, a estratégia empírica foi baseada no

uso de dados em painel a nível municipal. Para isto, utilizou-se o método de Regressão Geograficamente Ponderada em Painel (RPGP) ou *Geographically Weighted Panel Regression* (GWPR), usando os 772 municípios da Amazônia Legal. Como hipótese, tem-se as mesmas levantadas no segundo ensaio, além da possibilidade de visualizar se a porção sul da área de trabalho concentra-se o maior número de internações por doenças respiratórias.

Esta tese é composta por cinco capítulos. Além desta introdução, o Capítulo 2 aborda o primeiro ensaio a respeito da vulnerabilidade das economias latino-americanas, medida pelo PIB *per capita*, à precipitação e flutuações de temperatura. O Capítulo 3, segundo ensaio, apresenta os condicionantes das doenças respiratórias na região da Amazônia Legal. O Capítulo 4, equivalente ao terceiro e último ensaio, busca analisar a variabilidade espacial das causas das internações por doenças respiratórias, também na mesma área de estudo do segundo ensaio. Por fim, as considerações finais são feitas no Capítulo 5.

2 O IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O NÍVEL DE RENDA NA AMÉRICA LATINA

2.1 Introdução

A crescente conscientização sobre os efeitos prejudiciais das mudanças climáticas vem chamando a atenção dos formuladores de políticas públicas sobre os impactos econômicos relacionados ao clima. Economistas e estudiosos do clima fazem uso das projeções baseadas em modelos de mudanças de temperatura e precipitação produzidos por um conjunto de Modelos de Circulação Geral (MCGs) para esse fim.

Nesse sentido, esse fenômeno se manifesta de diversas maneiras, tais como, aumento da temperatura média global, elevação do nível do mar, redução da criosfera, modificações dos padrões de precipitação (inundações e secas) e de eventos climáticos extremos (como o *El Niño* e *La Niña*).

Ademais, impactos negativos significantes, foram observados em determinadas áreas geográficas, e impactos relativamente modestos quando agregados em escala global (NORDHAUS; BOYER, 2000; TOL, 2002; NORDHAUS, 2006).

De acordo com Hallegatte *et al.* (2015), a mudança climática pode ter um grande efeito sobre as condições socioeconômicas da população mundial: até 2030, entre 3 a 16 milhões de pessoas, no cenário de *prosperity* (um cenário mais otimista), estariam na pobreza extrema, e entre 35 a 122 milhões de pessoas considerando o cenário *poverty* (mais pessimista) estariam nessa mesma condição, devido às mudanças climáticas.

Especificamente, nos países latino americanos, observou-se que as alterações no clima têm consequências prejudiciais sobre o desenvolvimento econômico e social. As reduções da renda monetária induzidas pelo clima não são homogêneas. As mudanças climáticas irão beneficiar algumas regiões frias no curto prazo. Em contraste, atingirá outras regiões de forma severa, principalmente as mais pobres. Em 2080, a média dos declínios da renda monetária estimados de todos os modelos climáticos são bastante significativos em torno de 14% para a América Latina (HALLEGATTE *et al.*, 2015).

Como resultado dessa exposição e vulnerabilidade, desastres naturais aumentaram as desigualdades e podem contribuir para a redução do crescimento econômico e no aumento da pobreza. Não é surpreendente que desastres naturais são investigados e apresentam resultados que agravam ou pioram as condições socioeconômicas. Nos municípios mexicanos,

entre 2000 e 2005, inundações e secas aumentaram os níveis de pobreza entre 1,5% até 3,7% (RODRIGUEZ-OREGGIA *et al.*, 2013).

Em termos de longo prazo, para os países latino-americanos, esperam-se a expansão de áreas de sequeiro e mais períodos de seca extrema, principalmente, no México e no Nordeste do Brasil. Ademais, para a população mais pobre, com o aumento do volume de chuvas os impactos negativos seriam no abastecimento de água local, na pecuária e na produção de pequenos agricultores (HALLEGATTE *et al.*, 2015).

As consequências de desastres relacionados ao clima dependem de vários parâmetros, como por exemplo: a intensidade do perigo em si (tempestades, seca, inundações, entre outros) e a vulnerabilidade atual da área atingida (CRICHTON, 1999). Com a mudança climática projetada, descrita como padrões irregulares de precipitação e temperatura em toda América Latina, combinado com estruturas econômicas e vulnerabilidades diferentes, as consequências sobre o nível de renda foram possíveis de prever. Portanto, uma melhor compreensão das consequências de desastres relacionados com o clima nos países latino-americanos é particularmente importante para o planejamento de políticas nas áreas de desenvolvimento, adaptação à mudança no clima em nível nacional, e a alocação de recursos financeiros entre os países.

A maioria dos estudos tem se concentrado principalmente nos efeitos da temperatura nas economias, usando regressões global ou continental, fornecendo compreensão limitada da vulnerabilidade e dinâmica de risco em nível de países. Além disso, a precipitação (incluindo secas e inundações) é amplamente não incluída nas análises por ser considerada uma variável de controle ou ignorada em alguns casos.

Neste ensaio, expandiu-se a análise para avaliar se a mudança climática é um impedimento ao crescimento econômico em países da América Latina em que a exposição a essa variabilidade é alta. Além disso, de um ponto de vista mais específico, os efeitos diretos de uma seca ou de uma inundação são quantificados em termos dos danos que causam. No entanto, esses efeitos se acumulam. Desse modo, permitiu-se a formulação da seguinte hipótese: a mudança climática, e especificamente, condições de secas e inundação, contribuem para uma redução geral do bem-estar e/ou um empecilho para o aumento da renda *per capita*?

Este capítulo tem como objetivo descrever a vulnerabilidade das economias latino-americanas, medida pelo PIB *per capita*, à precipitação e flutuações de temperatura, a fim de estimar como esses países são afetados pelas condições climáticas. E em específico, verificar o impacto dos extremos de precipitação.

A base de dados utilizada, em sua maior parte, foi obtida em (*WORLD BANK*, 2020). A outra parte, corresponde a *Polity IV Project* e *International Energy Agency* (EIA, 2020).

Para realizar a avaliação das sensibilidades dos países latino-americanos às variações climáticas e econômicas, utilizou-se o método de regressões em painel dinâmico, em específico, o Método de Momentos Generalizados diferenciado (MMG-DIF).

O modelo desenvolvido para este capítulo satisfaz dinamicamente as três dimensões de desastre e riscos climáticos, considerando a exposição, vulnerabilidade e perigos (CRICHTON, 1999; IPCC, 2012, 2014). Além disso, a diferença de publicações anteriores que incluíram países da América Latina, tais como Nordhaus (2011), Sánchez e Reys (2015) e Brown *et al.* (2013), reside na análise dos impactos de desastres relacionados ao clima e mudanças climáticas realizadas a nível nacional com inclusão de novas variáveis. Os efeitos da variabilidade e mudança do clima são introduzidos separadamente para cada país entre os anos de 1990 a 2019, esta seleção temporal foi relacionada à disponibilidade de dados. Observações socioeconômicos antes de 1990, incluídas na base de dados do Banco Mundial, permanece limitada.

A novidade deste estudo está na estimação, em painel dinâmico, para ver até que ponto as mudanças climáticas podem influenciar o progresso econômico das economias latino-americanas. Os resultados terão implicações significativas para avaliar os custos das mudanças climáticas e para o diálogo contínuo sobre os melhores meios de adaptação às condições desfavoráveis do clima.

Além disso, os planejadores muitas vezes prosseguem sem uma compreensão dos efeitos climáticos e seus impactos na sociedade. Como resultado, a temperatura é geralmente usada como a única variável preditiva. Por meio desta análise, fornece-se algumas evidências de que condições extremas de precipitação, é um dos fatores que devem ser adicionados ao planejamento de ações para adaptar os países às mudanças climáticas.

O ensaio está organizado da seguinte maneira. A segunda seção descreve a literatura sobre as alterações climáticas na América Latina. A base de dados e métodos econométricos utilizados são descritos na terceira seção, enquanto os principais resultados são apresentados na quarta seção, e por fim, as considerações finais são discutidas na quinta seção.

2.2 Revisão de Literatura

O objetivo desta seção é sintetizar como os principais expoentes da temática exploram os impactos das mudanças climáticas no nível de renda dando ênfase para a América Latina que é o foco deste estudo.

A região tem múltiplos fatores de estresse nos sistemas naturais e humanos derivado em parte por mudanças significativas no uso da terra, voltada para crescente pressão de usos concorrentes, como pecuária, produção de alimentos e bioenergia, e exacerbadas pela variabilidade climática. Na América Central e do Sul, 613 eventos climatológicos extremos ocorridos no período de 2000-2013, resultaram em 13.883 fatalidades, 53,8 milhões de pessoas afetadas, e perdas econômicas de US\$ 52,3 bilhões (IPCC, 2014).

As condições climáticas atualmente experimentadas vêm alertando a impactos socioeconômicos e ambientais sem precedentes. Limitando o aquecimento global abaixo de 1,5° C até o final do século XXI reduziria a ocorrência de problemas extremos relacionados ao clima, como ondas de calor, se comparadas com um cenário em que a temperatura média global atingisse os 2° C em 2100. Diminuindo a ocorrência de tais efeitos extremos poderão existir benefícios socioeconômicos significativos (NANGOMBE *et al.*, 2018).

Um grande problema induzido pelas mudanças climáticas é o aumento nos preços agrícolas. Nesse sentido, as regiões serão afetadas de maneiras muito diferentes, no pior cenário, os preços aumentariam em três por cento até 2030 e 12 por cento até 2080 na América Latina (HALLEGATTE *et al.*, 2015).

A alta vulnerabilidade setorial e sua importância socioeconômica explica a grande quantidade de estudos com foco principal no setor agrícola. Numerosas publicações modelaram e estimaram os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre a agricultura na América Latina. A maioria das publicações traz em seus resultados projeções apontando aumento nos indicadores de pobreza e nos preços agrícolas e diminuição na produção e renda monetária agrícolas (DELL *et al.*, 2012; HALLEGATTE *et al.*, 2015; BURKE *et al.*, 2015; MOORE; DIAZ, 2015).

As mudanças climáticas também podem ter impactos negativos na produtividade do trabalho em todas as regiões latino-americanas. As variações na temperatura, considerando o pior cenário (aumento de 4 a 5° C), e até certo ponto nos níveis de umidade, provavelmente afetarão a produtividade dos trabalhadores, pois muitos já estão trabalhando em locais com temperaturas bastante elevadas. Independentemente da motivação psicológica ou incentivo

econômico, o aumento da Temperatura de Globo de Bulbo Úmido (TGBU) afetará a produtividade dos trabalhadores e provavelmente sua saúde (KJELLSTROM *et al.*, 2009).

A literatura evidência que as mudanças climáticas afetam o nível de renda e levantam a questão de que a adaptação a essas alterações é necessária para o desenvolvimento econômico. No entanto, os efeitos diretos e indiretos dos perigos das alterações do clima podem influenciar o crescimento econômico na escala das economias nacionais? Poucos estudos abordam esta questão diretamente.

Alguns estudos tentaram quantificar o efeito do clima no crescimento econômico concentrando-se quase inteiramente nas mudanças nas condições climáticas médias (NORDHAUS; BOYER, 2000; TOL, 2002; NORDHAUS, 2006).

Segundo Nordhaus (2006, p. 3511–3512) “. . . as teorias atuais e os estudos empíricos do crescimento econômico dão pouca importância ao clima como base para as diferenças na riqueza das nações”.

Outros estudos, embora reconhecendo o impacto potencial do clima e de sua variabilidade, classificaram-o como um subcomponente “geográfico” (SACHS, 2001). Nessa abordagem usando um método de análise *cross-country*, os resultados foram incapazes de especificar efeitos geográficos significativos que poderiam ser distintos de outros fatores institucionais (SACHS; MALANEY, 2002; RODRIK *et al.*, 2004).

Nas últimas décadas (2000-2020) começaram a destacar a importância da variabilidade anual ou mudanças no clima sobre o crescimento econômico. Brown e Lall (2006) usaram estatísticas de precipitação e variabilidade da temperatura em uma análise do nível econômico entre países, descobrindo que os países pobres tenderam a ter níveis mais elevados de variabilidade de precipitação. Apresentaram uma relação de quanto maior a variabilidade da precipitação menor era o PIB *per capita*.

Usando dados econômicos e climáticos em nível nacional em uma avaliação global, Dell *et al.* (2009) avaliaram os efeitos de variações anuais na precipitação nos últimos 50 anos como forma de estimar potenciais impactos econômicos das mudanças climáticas. Seus resultados indicaram que temperaturas mais altas tiveram consequências negativas nos países pobres. Os efeitos nos países pobres não se limitaram à produção agrícola, pois encontraram impactos na produção industrial, investimento, e estabilidade política, ao passo que não houve efeitos econômicos nos países ricos.

O continente africano apresenta investigações dos efeitos da variabilidade climática sobre o crescimento econômico, essas economias podem ser mais vulneráveis

devido aos baixos níveis de infraestrutura e menores mecanismos de adaptação às mudanças extremas no clima.

Utilizando um amplo volume de dados econômicos do continente africano, Christiaensen *et al.* (2002) descobriram que as variações de chuva e problemas de saúde têm efeitos profundos sobre a pobreza, sugerindo a necessidade de mecanismos de proteção social contra tais efeitos extremos.

Já Barrios *et al.* (2008) forneceram uma visão ampla das maneiras em que as chuvas afetaram as atividades econômicas na África. Suas investigações empíricas na produção agrícola e do crescimento do PIB constataram que o declínio das chuvas ocorrido entre os anos 1960 e 1990, em grande parte, foi um dos principais contribuintes para a redução nas taxas de produção e crescimento durante esse período. De acordo com suas estimativas, o declínio da precipitação foi responsável por uma queda (9 a 23%) no PIB *per capita*, em relação, aos níveis sem a presença de tal redução no volume de precipitação.

Uma desvantagem comum em estudos anteriores que tentaram avaliar os impactos do clima empiricamente é a forma dos dados de precipitação que são usados. Como os dados socioeconômicos são mais amplamente disponíveis em nível nacional, os dados climáticos também devem ser agregados às escalas espaciais nacionais para uso em análise. Normalmente usam uma média espacial de precipitação e temperatura de um determinado país. Esta média introduz um viés sistemático no volume de chuvas projetado e na temperatura devido ao efeito de suavização que a média causa (BROWN *et al.*, 2013).

O cálculo médio de um espaço reduz a variabilidade que está presente em um país. Como resultado, ele subestima os desafios climáticos que os países enfrentam, especialmente os maiores. O problema é maior para precipitação do que temperatura, pois a precipitação tende a apresentar maior variabilidade no espaço. A média espacial resultante pode mostrar precipitação normal, em períodos de anormalidades. Talvez não seja surpreendente o motivo pelo qual o volume de chuvas raramente aparece como um fator significativo quando a média espacial é usada (BROWN *et al.*, 2013).

Baarsch *et al.* (2019) buscaram tratar desta questão apresentando um modelo em que o volume de chuvas afeta as atividades econômicas na África, utilizaram o *Standardized Precipitation Index* (SPI). Suas investigações empíricas mostraram a existência de perdas médias entre 10 a 15% do PIB *per capita*, e que a maioria das economias africanas está mal adaptada às suas atuais condições climáticas. A análise levantou questões sobre a capacidade dos países africanos de atingir suas metas de desenvolvimento sustentável, o risco crescente de instabilidade, migração, a diminuição das oportunidades de comércio e cooperação

econômica como consequência das mudanças climáticas exacerbando suas consequências negativas.

Brown *et al.* (2013) forneceram um modelo em que as chuvas afetaram as atividades econômicas a nível mundial, utilizando o *Weighted Anomaly Standardized Precipitation* (WASP). Seus resultados mostraram que extremos de precipitação (ou seja, inundações e secas) são as influências climáticas dominantes no crescimento econômico e que os efeitos são significativos e negativos. Além disso, sugeriram que as estratégias de adaptação devem reconhecer a importância dos riscos das condições extremas de precipitação como a principal influência do clima no crescimento do PIB.

Este ensaio segue o trabalho de Baarsch *et al.* (2019) de duas maneiras. Primeiro, foram incorporados os efeitos dos perigos das condições extremas da precipitação, ao invés das condições médias que foram objeto de estudos que alguns trabalhos utilizaram. Em segundo lugar, utilizou-se o índice (SPI), que descreve instrumentos de variabilidade de precipitação mais eficaz do que a média do país ou média ponderada da população usada em estudos anteriores. Com isso, utilizou-se uma estatística de precipitação que preserva sua característica espacial, calculando a porcentagem da área de um país que fica abaixo ou acima dos limites com base em desvios da média de longo prazo. Ao fazer isso, separou-se e se tratou independentemente os efeitos positivos e negativos das anomalias de precipitação. Isso permite que os efeitos não lineares da variabilidade da precipitação sejam efetivamente investigados.

2.3 Metodologia

Nesta análise, utilizaram-se regressões em painel dinâmico com o produto interno bruto per capita como variável dependente, os indicadores econômicos e climáticos como variáveis independentes para diagnosticar os efeitos econômicos a nível nacional decorrentes dessas interações.

2.3.1 Base de dados

O período de tempo considerado foi de 29 anos de 1990 a 2019 para todos os países latino-americanos¹ com as variáveis utilizadas em series anuais (para os quais existem

¹ Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Equador, El Salvador, Guatemala, Haiti, Honduras, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, Uruguai e Venezuela.

dados socioeconômicos disponíveis). As principais considerações que levaram a esta seleção temporal foram relacionadas à disponibilidade de dados. Observações socioeconômicos antes de 1990, incluídas na base de dados do Banco Mundial, permanecem limitada.

O Quadro 2.1 apresenta a base de dados utilizada na pesquisa e a comparação das variáveis utilizadas nas principais referências empíricas na literatura sobre o tema desenvolvido.

Quadro 2.1 – Base de dados: Socioeconômicos e climáticos. E principais referências nos trabalhos empíricos.

Tipos de dados	Variáveis	Fonte dos dados utilizados	Principais referências		
			Baarsch <i>et al.</i> , (2019) Variáveis	Brown <i>et al.</i> , (2013) Variáveis	Burke <i>et al.</i> , (2015) Variáveis
Climáticos	Precipitação	(WORLD BANK, 2020). (WORLD BANK, 2020).	Precipitação	Precipitação	Precipitação
	Temperatura		Temperatura	Temperatura	Temperatura
Socioeconômicos	PIB <i>per capita</i>	(WORLD BANK, 2020)	PIB <i>per capita</i>	Crescimento PIB	PIB <i>per capita</i>
	Preço do óleo	(EIA, 2020)	Preço do óleo	Valor adicionado agrícola do PIB	Valor adicionado agrícola do PIB
	Índice de Governança	(MARSHALL; JAGGERS; GURR, 2014)	Índice de Governança	Valor adicionado industrial do PIB	Valor adicionado não agrícola do PIB
	Gastos	(WORLD BANK, 2020)	Despesas de consumo final do governo	pobreza	
	Remessas	(WORLD BANK, 2020)	Remessas	taxa de efetivos na linha nacional de pobreza	
	Dívida externa	(WORLD BANK, 2020)	Total da dívida externa		
	Abertura comercial	(WORLD BANK, 2020)	Abertura comercial		
	Assistência recebida	(WORLD BANK, 2020)	Assistência recebida		

Fonte: Elaborada pelo autor (2022); Brown *et al.*, (2013); Burke *et al.*, (2015); Baarsch *et al.*, (2019).

A variável econômica selecionada para mensurar possíveis impactos das mudanças climáticas foi o PIB *per capita* em dólares (US\$). A utilização do PIB *per capita* é mais adequado ao comparar diferenças generalizadas nos padrões de vida entre as nações. Assim, o PIB *per capita* é frequentemente considerado um dos indicadores do padrão de vida de um país (WORLD BANK, 2020).

Os indicadores econômicos utilizados foram:

a) volume total da dívida externa em dólares (Dívida) – representa o somatório dos débitos de um país, resultantes de empréstimos e financiamentos contraídos no exterior pelo próprio governo, por empresas estatais ou privadas;

b) remessas pessoais recebidas em dólares (Remessas) – compreendem transferências pessoais e remuneração dos funcionários sendo realizadas de indivíduos não residentes para os residentes;

c) despesa com consumo do governo em dólares (Gastos) – incluem todas as despesas correntes do governo para compras de bens e serviços;

d) a *Official Development Assistance* (ODA), ou assistência oficial de desenvolvimento líquida *per capita* em dólares (Assistência) – consiste em desembolsos de empréstimos feitos em termos de concessão para promover o desenvolvimento econômico e o bem-estar dos países;

e) abertura comercial, em percentual, é medido como a soma das exportações e importações de um país em relação ao seu PIB. Todas estas variáveis foram obtidas em (WORLD BANK, 2020);

f) democracia (Governança) – índice que mede o nível de democracia de determinado país. Varia de -10 a 10, correspondendo a autocracia até a democracia plena, respectivamente. Essa variável foi obtida em *Polity IV Project* para mais detalhes ver (MARSHALL; JAGGERS; GURR, 2014); e

g) preço do óleo: preço F.O.B à vista em dólares por barril, obtido na *International Energy Agency* (EIA, 2020).

Os indicadores climáticos são temperatura e precipitação, a primeira em °C, e a segunda em milímetros. Ambas, também foram obtidas em (WORLD BANK, 2020). A variável temperatura média em sua forma quadrática foi incluída, para verificar se uma temperatura crescente contribui para reduzir o nível de renda. Nessa perspectiva, deve revelar uma relação negativa com o PIB *per capita*, significando que o aumento nas temperaturas levará a declínios na atividade econômica (menos renda).

O segundo indicador climático é representado pelo índice (SPI), foi utilizado para preservar a variabilidade espacial e temporal da precipitação, baseado em desvios na precipitação mensal em relação a sua média de longo prazo, somadas e ponderadas pela contribuição média de cada mês para o volume total anual de precipitação. O índice é calculado ao longo dos 12 meses e foi calculado seguindo (BAARSCH *et al.*, 2019).

Esse índice permite descrever se um país está experimentando anormalmente com Secas ($SPI \leq -1$) ou excesso de Chuvas ($SPI \geq 1$) durante o período de tempo medido. Ademais, foi recomendado pela *World Meteorological Organization* (WMO), Organização Meteorológica Mundial, para a caracterização de secas meteorológicas (WMO, 2012). Mais detalhes sobre o SPI e seu uso em análises climáticas pode ser encontrado em (SEILER; HAYES; BRESSAN, 2002; VICENTE-SERRANO; LÓPEZ-MORENO, 2005; WU *et. al.*, 2007; BAARSCH *et. al.*, 2019).

O PIB *per capita* e todos os indicadores econômicos foram transformadas em logaritmo, excetos Abertura comercial, Governança e os indicadores climáticos, o que reduz o grau de assimetria de todas as variáveis consideradas, e tende-se a estabilizar sua variância amostral e a curtose da amostra.

2.3.2 Abordagem empírica

É cada vez maior a utilização no meio acadêmico de séries de dados que envolvam informações *cross-section* ao longo do tempo. Essas formas peculiares de base de dados são chamadas de dados em painel ou dados empilhados.

Segundo Fávero (2014), a principal vantagem de utilização de dados em painel refere-se ao controle da heterocedasticidade individual, ou seja, a possibilidade de se medir separadamente os efeitos gerados por conta de diferenças existentes em cada observação em cada *cross-section*, além de ser possível avaliar a evolução, para um dado indivíduo, das variáveis em estudo ao longo do tempo.

Outras vantagens dos dados em painel é que eles proporcionam maior quantidade de informações, maior variabilidade dos dados, menor colinearidade entre as variáveis, maior número de graus de liberdade e maior eficiência na estimação.

Desse modo, essa pesquisa utilizou-se de regressão com dados em painel com os estimadores sendo obtidos por meio do MMG desenvolvido nos trabalhos de Arellano e Bond (1991), Arellano e Bover (1995) e Blundell e Bond (1998).

O modelo supõe que a renda ou produto *per capita* corrente tende a se perpetuar e/ou influenciar o desempenho dela mesma no futuro. Utilizaram-se os 20 países da América latina. Desse modo, a relação entre a renda e seus determinantes socioeconômicos e ambientais foi investigada, especificada no seguinte modelo dinâmico de regressão para dados em painel:

$$\begin{aligned} \Delta \ln Y_{it} = & \alpha_i + \alpha_t + \beta_1 \Delta \ln(Y_{it-1}) + \beta_2 \Delta \ln \text{Dívida}_{it} + \beta_3 \Delta \ln \text{Remessa}_{it} + \\ & \beta_4 \Delta \ln \text{Gastos}_{it} + \beta_5 \Delta \ln \text{Assistência}_{it} + \beta_6 \Delta \text{Abertura}_{it} + \beta_7 \Delta \text{Governança}_{it} + \\ & \beta_8 \Delta \ln \text{Preço do Óleo}_{it} + \beta_9 \Delta T_{it} + \beta_{10} \Delta T^2_{it} + \beta_{11} \Delta \text{SPI}_{it} + \Delta e_{it} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Em que: $\ln(Y_{it})$ corresponde ao logaritmo do PIB *per capita* do país i no tempo t , como a variável dependente; Y_{it-1} a variável dependente defasada; *Dívida* é a dívida externa; *Remessa* representa a remessa recebida; *Gastos* denota os gastos do governo; *Assistência* denota a assistência internacional recebida; *Abertura* é a abertura comercial; *Governança* representa o nível de democracia; *Preço do Óleo* é o preço do barril de petróleo; T é a temperatura média; T^2 é a forma quadrática da temperatura média; *SPI* são as anomalias de precipitação com as quais foram criadas duas variáveis *dummies* para períodos de seca (Seca) e períodos úmidos (Chuva). α_i é o termo de efeito fixo que representa a heterogeneidade não observada invariante no tempo devido as diferenças geográficas e ambientais dos indivíduos, α_t é o efeito fixo de tempo ou período que representa a heterogeneidade não observada gerada por políticas nacionais e/ou internacionais que podem impactar no nível de renda; e_{it} é o termo de erro; o subscrito i se refere ao país e o subscrito t ao período de tempo.

A Equação 2.1 foi baseada nos trabalhos de (BROWN *et al.*, 2013; BAARSCH *et al.*, 2019). A diferença para o trabalho de Brown *et al.* (2013) reside na utilização da temperatura ao quadrado e uso do SPI, e em Baarsch *et al.* (2019) foi a utilização das temperaturas médias. E para ambos foi a estimação em painel dinâmico, diferentemente da estimação com efeitos fixos.

Conforme Ahn e Schmidt (1995), esse modelo possui as seguintes hipóteses: $E[\alpha_t] = E[e_{it}] = E[\alpha_t e_{it}] = 0$ e $E[e_{it} e_{is}] = 0$ para $i = 1, 2, \dots, N$ e $\forall t \neq s$. Como também a hipótese padrão das condições iniciais: $E[Y_{it-1} e_{it}] = 0$ para $i = 1, 2, \dots, N$ e $t = 1, 2, \dots, T$.

Os trabalhos apresentados na literatura, em especial o de Arellano e Bond (1991), destacaram a ocorrência de dois problemas na estimação dos modelos especificados com regressão em dados em painel, a saber: *i*) devido à presença dos efeitos não observáveis dos indivíduos, α_t , juntamente com a variável dependente defasada, Y_{it-1} , no lado direito da Equação 2.1. Nesse caso, omitir os efeitos fixos individuais no modelo dinâmico em painel torna os estimadores de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) viesados e inconsistentes. Entretanto, o estimador *WITHIN GROUPS*, que corrige a presença de efeitos fixos, gera uma estimativa de β_1 viesada para baixo em painéis com a dimensão temporal pequena e, *ii*) devido à provável endogeneidade das variáveis explicativas. Nesse caso, a endogeneidade no

lado direito da equação deve ser tratada para evitar um possível viés gerado por problema de simultaneidade.

Uma maneira de eliminar esses problemas seria uma estimação pelo MMG-DIF. Tal método consiste na eliminação dos efeitos fixos através da primeira diferença.

Conforme Arellano e Bover (1995) e Blundell e Bond (1998), os instrumentos são fracos quando as variáveis dependentes e explicativas apresentam forte persistência e/ou a variância relativa dos efeitos fixos aumenta. Isso produz um estimador MMG-DIF não consistente e enviesado para painéis com T pequeno.

Assim sendo, Arellano e Bover (1995) e Blundell e Bond (1998) propuseram um sistema que combina o conjunto de equações em diferença, com o conjunto de equações em nível, para reduzir esse problema de viés. Esse sistema é denominado Método dos Momentos Generalizado-sistema (MMG-sistema). Daí surge o método dos Momentos Generalizado-sistema (MMG-sistema). Para as equações em diferenças, o conjunto de instrumentos é o mesmo descrito acima. Para regressão em nível, os instrumentos apropriados são as diferenças defasadas das respectivas variáveis.

As estimativas do MMG-sistema resultam da estimação com estimador corrigido pelo método de Windmeijer (2005) para evitar que o respectivo estimador das variâncias subestime as verdadeiras variâncias em amostra finita. O estimador utilizado foi proposto por Arellano e Bond (1991) em dois passos. Na primeira etapa, supõe-se que os termos de erro são independentes e homocedásticos nos indivíduos e ao longo do tempo. No segundo estágio, os resíduos obtidos na primeira etapa são utilizados para construir uma estimativa consistente da matriz de variância-covariância, relaxando assim as hipóteses de independência e homocedasticidade.

Portanto, o objetivo da utilização do MMG neste trabalho foi, então, o de encontrar um estimador consistente com um mínimo de restrições sobre os momentos. Assim, o método de estimação desenvolvido por Arellano e Bover (1995) e Blundell e Bond (1998), denominado de MMG-DIF foi escolhido, pois mostrou-se mais adequado para amostras pequenas, especialmente, quando a dimensão temporal é longa (29 anos) e as variáveis independentes são fortemente correlacionadas, o que é aplicável ao caso em estudo.

Ademais, foram testadas duas variações da especificação original (MMG-DIF), uma considerando a defasagem a um período da variável dependente com a variável climática SPI, e outra além dessa defasagem citada (Equação 2.1), à introdução de duas variáveis *dummies* especiais para efeitos das mudanças climáticas, substituindo o índice SPI pelas variáveis *dummies* Seca e Chuva sobre o PIB *per capita* dos países da América Latina. Assim,

o modelo original foi denominado MMG-DIF 1 e o modelo com a segunda especificação de MMG-DIF 2, especificado a seguir na Equação 2.2:

$$\begin{aligned} \Delta \ln Y_{it} = & \alpha_i + \alpha_t + \beta_1 \Delta \ln \ln(Y_{it-1}) + \beta_2 \Delta \ln \text{Dívida}_{it} + \beta_3 \Delta \ln \text{Remessa}_{it} + \\ & \beta_4 \Delta \ln \text{Gastos}_{it} + \beta_5 \Delta \ln \text{Assist\^encia}_{it} + \beta_6 \Delta \text{Abertura}_{it} + \beta_7 \Delta \text{Governan\^ca}_{it} + \\ & \beta_8 \Delta \ln \text{Pre\^codo\^leo}_{it} + \beta_9 \Delta T_{it} + \beta_{10} \Delta T_{it}^2 + \beta_{11} \Delta \text{Seca}_{it} + \beta_{12} \Delta \text{Chuva}_{it} + \Delta \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Em que: Seca (condi\c7\~ao extrema de baixo volume na precipita\c7\~ao) e Chuva (volumes extremos de precipita\c7\~ao) s\~ao vari\~aveis *dummies* para as anomalias de precipita\c7\~ao derivadas do SPI.

Vale observar que a disposi\c7\~ao dos dados na forma de um painel din\~amico, como definido, permitir\~a tamb\~em verificar duas outras hip\~oteses subjacentes \~a evolu\c7\~ao do efeito das mudan\c7\~as clim\~aticas sobre o n\~ivel de renda no tempo, quais sejam, seu efeito defasado (persist\~encia temporal), nesse caso, com base no modelo din\~amico MMG-DIF, e, ainda, a possibilidade de se testar a regularidade emp\~irica dos efeitos: Excesso de precipita\c7\~ao (medido pela *dummy* Chuva) e a condi\c7\~ao de escassez de chuvas (*dummy* Seca).

Por fim, como forma de testar a robustez e consist\~encia do modelo, Arellano e Bond (1991) sugerem dois tipos de testes. O teste de Sargan utilizado com o objetivo de verificar a validade dos instrumentos. A falha em rejeitar a hip\~otese nula indicar\~a que os instrumentos s\~ao robustos. Al\~em disso, como se sup\~oe, inicialmente, que o erro ε_{it} n\~ao seja autocorrelacionado, \~e feito um teste de correla\c7\~ao serial de primeira ordem e outro de segunda ordem sobre os res\~iduos em primeira diferen\c7\~a, $\Delta \varepsilon_{it}$. Espera-se que esses erros sejam correlacionados em primeira ordem e n\~ao autocorrelacionados em segunda ordem. Assim, foram realizados os testes para autocorrela\c7\~ao AR (1) e AR (2) para investigar se o termo de erro exibe evid\~encia de correla\c7\~ao serial e o Sargan.

2.4 Resultados e Discuss\~ao

Essa se\c7\~ao apresenta e discute os resultados da pesquisa. As estat\~isticas descritivas, as estimativas e suas implica\c7\~oes relacionadas \~a literatura emp\~irica foram realizadas para tentar identificar se existem evid\~encias de altera\c7\~oes clim\~aticas afetarem o n\~ivel de atividade econ\~omica das na\c7\~oes latino-americanas.

A Tabela 2.1 fornece os dados para a média, desvio padrão, valores mínimo e máximo ao longo do tempo das variáveis estudadas para os países latinoamericanos. Quanto ao PIB *per capita*, o valor médio registrado foi de US\$ 4.783 mil dólares. Haiti indicou o menor valor em 1994 de US\$ 2.418 mil dólares. Por outro lado, Panamá registrou o maior valor dessa variável (US\$ 18.704 mil dólares) para o ano de 2016.

Tabela 2.1 – Estatística descritiva das variáveis, América Latina, 1990-2019.

Variáveis	Observações	Desvio			
		Média	Padrão	Mínimo	Máximo
PIB <i>per capita</i>	600	4.783,51	3.945,09	2.418,76	18.703,86
Dívida	480	5,96e+10	1,03e+11	7,58e+08	5,69e+11
Remessas	570	2,12e+09	4,62e+09	6.038,03	3,90e+10
Gastos	600	2,61e+10	6,43e+10	1,93e+08	4,88e+11
Assistência	600	26,4111	34,3783	-49,5371	290,456
Abertura	600	62,0466	31,0009	12,6387	175,4736
Governança	600	6,5283	4,0988	-7	10
Preço do óleo	600	47,7837	28,1783	14,42	99,67
T	600	22,4086	4,3253	7,9083	26,6118
T ²	600	520,821	160,4046	62,5406	708,1888
SPI	600	-0,0026	0,9991	-3,7637	2,6353

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 2.3.1 (2022).

No que tange aos dados referentes à dívida externa, tem-se que o valor médio registrado foi de US\$ 59 bilhões de dólares. O menor valor dessa série foi US\$ 758 milhões de dólares no Haiti em 2011, enquanto que o maior valor pertence ao Brasil (US\$ 569 bilhões de dólares) no ano de 2019.

Em relação às remessas, o valor médio observado foi de US\$ 2, 12 bilhões de dólares e Uruguai apresentou o menor valor de US\$ 6 milhões de dólares em 2001. Em sentido oposto, com maior valor foi no México no ano de 2019 com o valor de US\$ 39 bilhões de dólares.

Para os gastos do governo, o valor médio foi de US\$ 26 bilhões de dólares. A República Dominicana indicou o menor valor em 1991 de US\$ 193 milhões de dólares. Por outro lado, o Brasil registrou o maior valor dessa variável (US\$ 488 bilhões de dólares) para o ano de 2011.

No que tange à assistência oficial, tem-se que o valor médio registrado foi de US\$ 26 milhões de dólares. O menor valor dessa série foi o desembolso de US\$ 49 milhões de dólares realizado pelo Panamá em 2014, enquanto que o maior valor pertence ao Haiti de US\$ 290 milhões de dólares recebidos no ano de 2010.

Em relação à abertura comercial, o valor médio observado foi de aproximadamente 62%, quanto maior essa taxa maior é a participação do país no comércio internacional. Em um sentido mais fechado, a Argentina apresentou a menor taxa de aproximadamente 13% em 1991. Em sentido oposto, com maior taxa foi o Panamá no ano de 1995 de 175%.

Para o índice de governança, o valor médio foi de 6,5, isto significa que entre o intervalo de 6 a 9, o país encontra-se em democracia. Cuba indicou o menor valor (-7) durante todo o período de análise, classificando-se em uma autocracia. Por outro lado, Uruguai registrou o maior valor (10) dessa variável (correspondendo a democracia plena) durante todo o período de análise.

No que tange o preço do óleo, tem-se que o valor médio registrado foi de US\$ 47,78 dólares. O menor valor dessa série foi de US\$ 14,42 dólares em 1998, enquanto que o maior valor foi de US\$ 99,67 dólares no ano de 2008.

Em relação às temperaturas, o valor médio observado foi de aproximadamente - 22°C. O Peru indicou o menor valor (7,90) no ano de 1996. Por outro lado, no Paraguai registrou-se o maior valor (26,61) dessa variável no ano de 2014. Já a variável temperatura ao quadrado apresentou média de 520,41, com valores mínimos e máximos iguais a 62,54 e 708,18 respectivamente.

Por fim, o índice SPI apresentou valor médio de aproximadamente -0,0026, isto significa que entre o intervalo de -1 a 1, o país encontra-se em condições normais de precipitação. Em um sentido extremo de secas, Peru apresentou o menor valor de -3,76. Em sentido oposto de excesso de precipitação, com maior valor de 2,63 foi na Colômbia em 2012.

A Tabelas 2.2 mostra os resultados dos modelos (MQO, *WITHIN GROUPS* e MMG-DIF) estimados com base na Equação 2.1, a significância estatística é indicada com asterisco. Ademais, descreve os efeitos do SPI, temperatura média e a mesma, ao quadrado, como indicadores das mudanças climáticas, e variáveis econômicas sobre o PIB *per capita* para os países da América Latina.

Tabela 2.2 – Resultados das regressões em painel dinâmico para PIB *per capita* como variável dependente, utilizando indicadores econômicos e climáticos (temperaturas e índice SPI) como variáveis explicativas para a América Latina de 1990 a 2019.

Variável Dependente: PIB <i>per capita</i> (lnY)			
	MQO (a)	WITHIN GROUPS(b)	MMG-DIF1 (c)
LnY_{it-1}	0,9244*** (0,0139)	0,6432*** (0,0454)	0,7771*** (0,0828)
LnDívida	0,0061 (0,0194)	-0,0202 (0,0291)	0,0657** (0,0308)
LnRemessas	-0,0107** (0,0048)	-0,0021 (0,0144)	0,0517** (0,0244)
LnGastos	0,0069 (0,0192)	0,1789*** (0,0529)	-0,0553 (0,0674)
LnAssistência	-0,0175 (0,0069)	0,0245 (0,0142)	0,0764*** (0,0254)
LnAbertura	0,0003 (0,0002)	-0,0008 (0,0006)	0,0015 (0,0016)
LnGovernança	0,0060** (0,0027)	0,0014 (0,0056)	0,0090*** (0,0034)
LnPreço do óleo	0,0763*** (0,0126)	0,0872*** (0,0193)	0,0562 (0,0351)
T	0,0492 (0,0409)	0,0926 (0,1734)	0,0638 (0,3398)
T²	-0,0011 (0,0009)	-0,0022 (0,0039)	-0,0152** (0,0075)
SPI	-0,0054 (0,0070)	-0,0080*** (0,0039)	-0,0449*** (0,01489)
Constante	-0,2054 (0,4480)	-1,8811 (2,1083)	-6,6058* (3,7675)
	F(11,445)=2014,65 Prob>F=0,0000 R ² =0,9816	F(11,15)=910,52 Prob>F=0,0000 R ² =0,9570	
Observações	457	457	457
Número de grupos		16	16
Instrumentos			47
Teste de Sargan			[0,7114]
Teste de Hansen			[0,9963]
Teste AR (1)			[0,0028]
Teste AR (2)			[0,2163]

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 2.3.1 (2022).

Nota: *** significativo ao nível de 1% ** significativo ao nível de 5% *significante ao nível de 10%. Erro padrão robusto entre parênteses. P-valor entre colchetes. Os países Chile, Cuba, Panamá e Uruguai foram retirados da estimação devido à ausência de informações disponíveis.

Na coluna (a), o modelo foi estimado por MQO, obtido para um total de 457 observações, englobando os países da América Latina. Os coeficientes significantes foram o PIB *per capita* defasado, remessas, governança e preço do óleo. Contudo, esses estimadores são viesados e inconsistentes como já discutido anteriormente. De fato, observou-se que o coeficiente foi maior do que o valor estimado na coluna (b) para a variável defasada por *WITHIN GROUPS*.

A forma de analisar o desempenho dos estimadores MMG-DIF, baseia-se na comparação das estimativas para o coeficiente da variável defasada, Y_{it-1} , obtidas por meio desse método, e aquelas encontradas por métodos alternativos cujas propriedades são conhecidas em modelos de painel dinâmico. Como discutido na metodologia, as estimativas de MQO e *WITHIN GROUPS* são viesadas para cima e para baixo, respectivamente, fornecendo aproximadamente limite superior e inferior para o coeficiente β_1 . O valor encontrado por MMG-DIF1 para essa variável na coluna (c) na Tabela 2.2 indica que essa condição foi atendida. Isso implica que o viés causado pela presença de variáveis endógenas no lado direito da regressão e efeitos fixos não observáveis foram corrigidos.

Na coluna (c), no modelo MMG-DIF1 estimado, tem-se que todos os coeficientes das variáveis explicativas foram estatisticamente significativas, exceto gasto do governo, preço do óleo, abertura comercial e temperatura. De modo geral, com algumas exceções, grande parte dos coeficientes são estatisticamente significantes a 1%.

Um primeiro resultado diz respeito ao coeficiente da variável dependente defasada (PIB *per capita* no ano anterior), que foi significativo e positivo, apresentou-se elevada elasticidade confirmando a importância da renda ou do produto da economia no tempo.

Em relação às variáveis socioeconômicas que influenciam a renda *per capita*, a dívida externa afeta positivamente. Assim, um aumento de 1% na dívida aumenta em aproximadamente 0,78% o PIB *per capita*. Observou-se que no ano em que os países contraem financiamento, elevando assim suas dívidas, aumenta-se o PIB *per capita* pela utilização desses recursos, contudo, é possível que o serviço do pagamento da dívida contribua para que o efeito do volume transferido afete de forma negativa o PIB *per capita*. O efeito da dívida externa é consistente com a literatura econômica (CLEMENTS; BHATTACHARYA; NGUYEN, 2003; PATTILLO; RICCI, 2011; BAARSCH *et al.*, 2019).

Os outros fatores socioeconômicos considerados: remessas, assistência recebida e governança, também, apresentaram efeitos positivos, como potenciais motores de crescimento econômico no modelo de regressão.

Em relação às remessas, uma elevação de 1% eleva o PIB *per capita* em aproximadamente 0,05%. Na literatura os efeitos desta variável não são uniformes. Há casos em que o efeito é positivo e casos em que são negativos. No caso da América Latina, os não residentes em seus países de origem transferem parte de sua renda para seus familiares que residem (CATRINESCU *et al.*, 2009; CLEMENS; MCKENZIE, 2014).

Para o indicador assistência, seus efeitos positivos foram esperados devido a assistência oficial (empréstimos) tomados, ou ajuda internacional, afetarem a atividade econômica. Nesse sentido, com um aumento de 1% na assistência eleva o PIB *per capita* em 0,08%. Na literatura, seu impacto varia dependendo do nível de desenvolvimento de cada país assistido, e diversos trabalhos apontam sua importância no crescimento econômico, principalmente em países em desenvolvimento (CHUNG, 2016; HWANG *et al.*, 2016; KANG; KIM, 2019).

O indicador governança apresentou efeito positivo. Assim, o aumento de uma unidade desta variável eleva a renda *per capita* em 0,009%. Por fim, essa relação positiva também foi vista em (KAUFMANN; KRAAY, 2002; EMARA; JHONSA, 2014).

Para os indicadores climáticos, a variável de temperatura média ao quadrado foi negativamente relacionada ao PIB *per capita*, estando de acordo com a literatura que investigou os efeitos das mudanças de temperaturas nos indicadores macroeconômicos, (BURKE *et al.*, 2015; DU *et al.*, 2017; BAARSCH *et al.*, 2019). Assim, supondo-se um aumento de uma unidade desta variável reduz a renda *per capita* em aproximadamente 0,02%.

Um resultado relevante observado foi o impacto negativo das precipitações no PIB *per capita*, isto é, o índice SPI. Assim, uma elevação de uma unidade no SPI reduz em 0,05% a renda *per capita*. Este resultado destaca as consequências econômicas da destruição do capital e reconstrução como apontado em (HALLEGATTE; PRZYLUSKI, 2010).

Esta análise dos efeitos da mudança do clima na atividade econômica beneficia a discussão do atual conflito na literatura sobre a importância das variáveis climáticas que afetam o crescimento do PIB. Os resultados encontrados corroboram com Brown *et al.* (2013) e Baarsch *et al.* (2019), apoiando-se fortemente na hipótese de que as anomalias na precipitação são os principais efeitos climáticos no crescimento do PIB, sobrepondo-se aos efeitos de temperatura. Isso implica na importância da segurança hídrica, isto é, a proteção contra esses efeitos negativos, torna-se um caminho para gerar crescimento econômico.

Observou-se, também, que as mudanças climáticas futuras podem fazer com que a segurança hídrica seja uma condição necessária para o crescimento da economia. As projeções dos impactos das mudanças climáticas no crescimento do PIB geralmente usam a

temperatura como variável climática mais importante. No entanto, esta análise sugere que às mudanças na precipitação são mais significativas.

Por fim, os resultados dos testes de restrição de sobreidentificação, Teste de Sargan (com $Prob > = 0,7114$) e Teste de Hansen (com $Prob > = 0,9963$), do modelo MMG-DIF 1 asseguram a escolha dessa especificação. Da mesma forma, em relação aos testes de autocorrelação de primeira e segunda ordem de Arellano e Bond (1991), que confirmam a rejeição da autocorrelação de primeira ordem ($Prob > z = 0,0028$), mas não se rejeita a autocorrelação de segunda ordem ($Prob > z = 0,2163$), denota-se que as estimativas são consistentes.

A Tabelas 2.3 mostra os resultados dos modelos (MQO, *WITHIN GROUPS* e MMG-DIF2) estimados com base na Equação 2.2, a significância estatística é indicada com asterisco. Ademais, descrevem-se os efeitos das *dummies* Seca e Chuva, temperatura média e a mesma, ao quadrado, como indicadores das mudanças climáticas, e variáveis econômicas sobre o PIB *per capita* para os países da América Latina.

Os resultados das estimativas dos dois modelos MMG-DIF foram semelhantes quanto aos principais indicadores que afetam a renda *per capita*. Na coluna [a], o modelo foi estimado por MQO. Na coluna [b] apresentou-se a estimação do modelo *WITHIN GROUPS*.

E por fim, na coluna [c], o modelo MMG-DIF2 estimado, tem-se que todos os coeficientes das variáveis explicativas foram estatisticamente significativas, exceto gasto do governo, abertura comercial e temperatura. De modo geral, com algumas exceções, grande parte dos coeficientes são estatisticamente significantes a 1%.

Um primeiro resultado diz respeito aos coeficientes da variável dependente defasada (PIB *per capita* no ano anterior), que foram significantes e positivos nas duas especificações do modelo MMG-DIF.

Os outros fatores socioeconômicos considerados: dívida externa, remessas, assistência recebida, governança e preços do óleo em geral apresentaram efeitos positivos, como potenciais motores de crescimento econômico no modelo de regressão.

Em relação à dívida externa, também foi observado, o impacto positivo no modelo MMG-DIF 2, um aumento de 1% na dívida aumenta em aproximadamente 0,08% o PIB *per capita*. Em relação às remessas, uma elevação de 1% eleva o PIB *per capita* em aproximadamente 0,04%.

Tabela 2.3 – Resultados das regressões em painel dinâmico para PIB *per capita* como variável dependente, utilizando indicadores econômicos e climáticos (temperaturas e *dummies* Seca e Chuva) como variáveis explicativas para a América Latina de 1990 a 2019.

	Variável Dependente: PIB <i>per capita</i> (lnY)		
	MQO[a]	WITHIN GROUPS [b]	MMG-DIF2 [c]
LnY_{it-1}	0,9245*** (0,0137)	0,6411*** (0,0449)	0,7608*** (0,0963)
LnDívida	0,0065 (0,0197)	-0,0183 (0,0304)	0,0777** (0,0371)
LnRemessas	-0,0109** (0,0048)	-0,0023 (0,0146)	0,0360* (0,0189)
LnGastos	0,0063 (0,0193)	0,1799*** (0,0531)	0,0022 (0,0665)
LnAssistência	-0,0176 (0,0069)	0,0240 (0,0146)	0,0597*** (0,0201)
LnAbertura	-0,0003 (0,0002)	-0,0008 (0,0006)	0,0010 (0,0013)
LnGovernança	0,0059** (0,0027)	0,0014 (0,0057)	0,0101** (0,0045)
LnPreço do óleo	0,0762*** (0,0127)	0,0870*** (0,0199)	0,0495* (0,0299)
T	0,0494 (0,0402)	0,0952 (0,1793)	0,0662 (0,2063)
T²	-0,0011 (0,0009)	-0,0023 (0,0041)	-0,0160*** (0,0046)
Seca	0,0083 (0,0179)	0,0158 (0,0169)	0,0989* (0,0541)
Chuva	-0,0004 (0,0181)	-0,0065 (0,0150)	-0,0560** (0,0284)
Constante	-0,2081 (0,4430)	-1,9550 (2,1997)	-7,7699** (2,4807)
	F(12,444)=1880,16 Prob>F=0,0000 R ² =0,9815	F(12,15)=899,12 Prob>F=0,0000 R ² =0,9569	
Observações	457	457	457
Número de grupos		16	16
Instrumentos			64
Teste de Sargan			[0,6560]
Teste de Hansen			[0,9993]
Teste AR (1)			[0,0041]
Teste AR (2)			[0,2684]

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 2.3.1 (2022).

Nota: *** significante ao nível de 1% ** significante ao nível de 5% *significante ao nível de 10%. Erro padrão robusto entre parênteses. P-valor entre colchetes. Os países Chile, Cuba, Panamá e Uruguai foram retirados da estimação devido à ausência de informações disponíveis.

Para o indicador assistência, seus efeitos positivos foram esperados. Nesse sentido, com um aumento de 1% na assistência eleva o PIB *per capita* em aproximadamente 0,06%. O indicador governança apresentou efeito positivo. Assim, o aumento de uma unidade desta variável eleva a renda *per capita* em 0,01%.

O último indicador econômico, o preço do óleo, tem uma relação inversa com o PIB *per capita*, assim se seu preço aumentar acarretará redução na atividade econômica (JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ; SÁNCHEZ, 2004; NYANGARIKA *et al.*, 2018). Nesse sentido, com uma redução de 1% no preço do óleo eleva o PIB *per capita* em aproximadamente 0,05%.

Para os indicadores climáticos, as médias de temperaturas ao quadrado apresentaram efeito negativo. Assim, o aumento de uma unidade desta variável reduz a renda *per capita* em aproximadamente 0,02%.

Um resultado relevante observado foi o impacto negativo das precipitações no PIB *per capita*, isto é, a *dummy* de Chuva. Os coeficientes da variável Chuva, anormalidade no grande volume de precipitação ou inundações, foi significativo apresentando sinal negativo. Já os coeficientes da variável Seca, indicando a condição de seca, pouca precipitação, foi significativo com sinal positivo.

Pode-se inferir que um aumento de uma unidade em Chuva reduz em aproximadamente 0,06% o PIB *per capita*. Já a elevação de uma unidade na variável Seca aumenta o PIB *per capita* em 0,1%. Um resultado importante foi que Chuva apresentou efeitos negativos, prejudicando o capital e sua recuperação ao longo dos anos, resultado similar encontrado em (BROWN *et al.*, 2013; BAARSCH *et al.*, 2019).

A *dummy* Seca, indicativa de escassez de precipitação, apresentou efeitos positivos sobre a renda *per capita* diferentemente de outros trabalhos que estudaram ao nível mundial ou no continente africano. A justificativa para esse resultado pode ser atribuída, por exemplo, na pesquisa agropecuária brasileira que vem desenvolvido tecnologias mais adaptadas a estas situações. Também pode ter efeitos atenuantes por meio de programas de transferências de renda que contemplam prioritariamente as regiões mais vulneráveis diminuindo a participação da renda proveniente da agropecuária desta parcela da população. Assim, observou-se uma melhor adaptação as mudanças climáticas com a adoção de políticas contra as secas, como por exemplo, no Brasil, a adoção de políticas de convivência com o semiárido nordestino. Nesse sentido, esta ocorrência contemporânea de perdas induzidas por desastres climáticos é uma consequência de um "déficit de adaptação" detalhado em (FANKHAUSER; MCDERMOTT, 2014; BHAVE *et al.*, 2016).

Nesse contexto, observou-se que os efeitos negativos da inundação, Chuva, foram impactantes diferentemente das Secas, acredita-se nesse fato, devido à sua capacidade destrutiva. Enquanto uma seca pode reduzir a poupança e o investimento, uma enchente pode destruir a poupança e o capital, danificar infraestruturas, por exemplo estradas, e contribuem para doenças. Assim, impactos da variável Chuva podem ter efeitos de curto e longo prazos mais agravantes nas atividades econômicas do que uma seca (BROWN *et al.*, 2013).

Esta análise com a utilização das *dummies* climáticas, corrobora com (BROWN *et al.*, 2013), mesmo que as estimativas de seca e excesso de chuvas permaneça problemática, ficou claro, a partir dos resultados encontrados, que os níveis históricos de variabilidade da precipitação já impactam o progresso econômico. Nesse sentido, gerenciar esse risco, da variabilidade pluviométrica, implicará que a segurança hídrica pode ajudar o crescimento econômico sob as condições climáticas atuais, como também, espera-se que o faça no futuro.

Em relação à América Latina, caracterizada por nações em desenvolvimento, o investimento em infraestrutura hídrica se torna necessário. O desafio é determinar como utilizar seus recursos para alcançar a segurança hídrica no presente e no futuro. Além disso, existe uma lacuna com os níveis de infraestrutura ao se comparar às nações desenvolvidas. A perspectiva atual das mudanças climáticas levanta preocupações sobre a infraestrutura, as nações mais ricas sentem que o investimento em infraestrutura é arriscado. Porém, o maior risco, no entanto, está em enfrentar essas mudanças climáticas sem investir. Além disso, existem componentes importantes que podem ajudar a segurança hídrica, como por exemplo, instituições fortes que administram bacias com escassez de água, e políticas que facilitam a alocação da água. Existe, também, o monitoramento hidrológico que fornece previsão para antecipar e ajudar a mitigar os extremos climáticos.

A variação do modelo original (MMG-DIF 2) seguiu os mesmos procedimentos metodológicos do primeiro modelo, e os resultados dos testes de especificação (Sargan, Hansen e de autocorrelação) apresentados na Tabela 2.3, atestam, também, a pertinência de sua utilização. Além disso, como se trata de um painel com dimensão temporal mais longa, os dois modelos MMG-DIF foram estimados em um estágio (*one step*), para tornar as estimativas mais consistentes, ao mesmo tempo, utilizou-se erros padrões robustos e procedeu-se à alternativa de colapsar os instrumentos.

2.5 Considerações Finais

As condições climáticas atualmente experimentadas vêm alertando a impactos socioeconômicos e ambientais sem precedentes. As projeções realizadas apontaram para o aumento da pobreza, queda na renda monetária, aumento dos preços agrícolas, aumento das desigualdades sociais, a expansão de áreas de sequeiro e mais períodos de seca extrema, impactos negativos no abastecimento de água, na pecuária e na produção da indústria e agricultura, pressão no uso da terra e dos recursos naturais, entre outros males, isto em nível mundial.

A América Latina insere nesse contexto, ainda mais fragilizada se comparada aos países desenvolvidos frente a essas projeções. Essas evidências mostraram que as mudanças climáticas afetarão não apenas o nível de renda, mas todos os sistemas ambientais e humanos, levantando a questão de que a adaptação às essas alterações é necessária para o desenvolvimento econômico.

A análise realizada teve o objetivo de identificar as influências das mudanças climáticas, fundamentalmente temperatura e precipitação, na renda *per capita* dos países latino-americanos. Com base em pesquisas anteriores e na literatura publicada, temperatura, anomalias de precipitação (secas e inundações) e indicadores econômicos foram consideradas variáveis explicativas. Com dados em painel, utilizou-se o modelo de regressão dinâmica para cada um dos vinte países da América Latina, os modelos buscaram contemplar os efeitos das variáveis de controle e os impactos das variáveis climáticas no PIB *per capita* desses países. Resultados relevantes e inovadores foram obtidos.

O resultado mais importante desta análise foi à identificação do excesso de precipitação (Chuva), seca e da temperatura como os fatores climáticos que apresentaram efeitos significantes na renda *per capita* dos países. A importância destes resultados se dá por várias razões. Em primeiro lugar, eles contradizem os estudos anteriores que identificaram a temperatura como a variável climática mais influente no crescimento da atividade econômica, como por exemplo, o estudo de Dell *et al.* (2009) em que avaliaram os efeitos de variações anuais na precipitação e temperaturas nos últimos 50 anos como forma de estimar potenciais impactos econômicos das mudanças climáticas. Usando dados econômicos e climáticos de países em uma avaliação global, seus resultados indicaram que temperaturas mais altas tiveram consequências negativas nos países pobres, enquanto não houve efeitos climáticos nos países ricos, e por fim, não foram encontrados efeitos significativos causados pelas variações de precipitação.

Nesse sentido, alguns estudos da literatura, como o citado anteriormente, usaram uma medida não apropriada para precipitação que pode obscurecer ou subestimar seus efeitos, no exemplo já mencionado, a utilização da média. Portanto, utilizou-se aqui o índice SPI porque existe a preservação da variabilidade espacial, a não linearidade, assimetria dos efeitos da precipitação e, capta melhor seus impactos sobre a atividade econômica. Os resultados dos efeitos desta variável climática são consistentes com os estudos de (BROWN *et al.*, 2010; BROWN *et al.*, 2013).

Em segundo lugar, a ideia mais comum sobre as mudanças climáticas é a suposição de que a temperatura é a chave do impacto climático nas atividades econômicas. As estimativas dos efeitos da temperatura são normalmente usadas em projeções estáticas dos impactos econômicos das mudanças climáticas. Esta pesquisa contribui ao apontar a fragilidade destas projeções. A variabilidade da precipitação tem influência mais forte no PIB *per capita* relativamente à temperatura. Esse resultado leva a necessidade para contemplar na avaliação das mudanças climáticas um novo olhar enfatizando as projeções de mudanças no volume de chuvas e mais notadamente nas anomalias com excesso de chuvas e não somente na elevação da temperatura.

Finalmente, os resultados encontrados neste trabalho, sugerem a importância da estratégia de adaptação às mudanças climáticas. As evidências indicaram que as economias nacionais são impedidas por períodos de muita precipitação. Assim, as estratégias de adaptação das mudanças climáticas precisam incorporar ações para minimizar os efeitos das elevações do volume de chuvas e não somente da elevação da temperatura.

Assim, os efeitos associados às inundações podem ter impactos na infraestrutura, cuja recuperação dos danos pode levar alguns anos fazendo com que o efeito negativo na renda *per capita* seja estendido para vários anos. No entanto, a adoção de um índice de inundação, é uma sugestão para trabalhos futuros, para explorar este efeito com mais confiança.

No geral, os impactos dos controles deram-se como esperado e consistente com a literatura. Por fim, recomenda-se como pontos importantes para trabalhos futuros a utilização de outras variáveis *proxy* para a precipitação tais como o WASP, ou alternativamente ao modelo de dados em painel dinâmico em diferença utilizado aqui, o emprego do modelo de painel dinâmico sistema.

3 CONDICIONANTES DAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS: EVIDÊNCIAS ESPACIAIS A PARTIR DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL

3.1 Introdução

O Brasil foi o país que mais desmatou durante as décadas de 1990 e 2010, de acordo com o relatório *Global Forest Resources Assessment* (FAO, 2010). Ademais, a América do Sul e África foram líderes em perda líquida de floresta. Em nível regional, entre os anos de 2000 e 2010, foram desmatadas cerca de 4 milhões de hectares por ano na América do Sul, enquanto a África perdeu 3,4 milhões de hectares de áreas de florestas anualmente.

O desmatamento é um processo que se inicia com os recursos florestais intactos e termina com a conversão completa para outros tipos de coberturas². Na primeira etapa são retiradas as madeiras mais nobres, em seguida, as árvores de madeiras leves. Essa etapa pode levar alguns anos, pois geralmente essas explorações são feitas por diferentes empreendimentos, cada um especializado em uma fase. Depois, na segunda etapa, as árvores de menor porte são derrubadas e toda a vegetação rasteira é destruída. Com isto, a cobertura florestal remanescente é queimada, provocando uma segunda limpeza da área (INPE, 2008).

Todos os biomas brasileiros tiveram perdas em sua cobertura florestal, no período de 2000 a 2018, totalizando cerca de 500 mil km². Especificamente o bioma Amazônia, nesse período, foi o que apresentou maior perda, de 269,8 mil km², correspondendo a 8% de sua cobertura florestal, corroborando para que em 2018 sua área florestal representasse 75,7% de sua área original (IBGE, 2018).

Durante o referido período, observou-se a desaceleração das taxas de desmatamento no país. Infelizmente, essa tendência mudou drasticamente nos últimos anos, e o aumento do desmatamento começou gradativamente (DANG *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2020, 2021). A classe de vegetação florestal deu lugar, sobretudo, a áreas de pastagem com manejo (50,2%), que passaram de 248.794 km² em 2000 para 426.424 km² em 2018, um crescimento de 71,4%, e de mosaico de ocupações, que representou 31% das conversões observadas, evidenciando uma fragmentação da paisagem na região. Em relação à área

² Dividida em dois tipos: pastagem com manejo são áreas de gramíneas com aplicação de técnicas específicas. E mosaico de ocupações, sendo uma classe mista, em que não se consegue definir uma cobertura/uso dominante (INPE, 2008).

agrícola, o crescimento foi de 17.073 km², em 2000 para 66.350 km², em 2018, o que representou 288,6% de aumento (IBGE, 2018).

Esta questão vem sendo discutida, chamando a atenção de pesquisadores do mundo inteiro, tornando-se um dos elementos importantes na questão das mudanças climáticas. A literatura evidenciou a influência das atividades humanas sobre essas transformações do clima, que têm consequências significativas sobre a economia, o bem-estar social e o meio ambiente (LAURANCE, 1998); os relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2019); *Stern's Review on the Economics of Climate Change* (STERN *et al.*, 2006).

Além de causar danos à biodiversidade (fragmentação de florestas, extinção de espécies etc.), aos solos e aos recursos hídricos, o desflorestamento também contribui para o efeito estufa, especialmente quando associado às queimadas. A destruição de florestas e outras formas de vegetação nativa são responsáveis por mais de 75% das emissões líquidas de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera do Brasil, colocando o país entre os dez maiores emissores mundiais de Gases do Efeito Estufa (GEE) (IBGE, 2012). Mais precisamente em sétimo lugar (2,9% do total mundial de emissões) em 2018, tendo China (26%), Estados Unidos (17,74%) e Rússia (13,79%), em primeiro, segundo e terceiro maiores emissores respectivamente (SEEG, 2019).

Além disso, outro problema, ligado ao desmatamento, são as emissões de Material Particulado fino – conhecido como MP – de incêndios que pode se concentrar na atmosfera principalmente em períodos secos (PÖSCHL *et al.*, 2010; ARTAXO *et al.*, 2013). Assim, a inalação de MP de incêndios tem impactos adversos na saúde humana, incluindo aumento das internações hospitalares e mortalidade prematura (JOHNSTON *et al.*, 2012; MARLIER *et al.*, 2013; JACOBSON *et al.*, 2014; SMITH *et al.*, 2014; HRW; IEPS; IPAM, 2020). A exposição à fumaça tóxica, de agosto a setembro de 2019, subiu de cerca de três milhões de pessoas, residentes em 90 municípios da região amazônica (correspondendo a aproximadamente 12% dos municípios dessa região), para 4,5 milhões de pessoas expostas em 168 municípios (aproximadamente 22%) a níveis nocivos de gases que ultrapassaram o limite recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para proteger a saúde (HRW; IEPS; IPAM, 2020). Ademais, a nível mundial, a poluição do ar devido à queima de florestas e outras vegetações pode causar até 435.000 mortes prematuras a cada ano (JACOBSON, 2014).

Assim, uma análise sobre a relação entre desmatamento e doenças pode evidenciar custos, que muitas vezes, têm sido negligenciados no esforço de valoração do capital natural. A literatura aponta que diversas doenças podem ter sua incidência aumentada

com o desmatamento, alguns sugerindo até mesmo uma relação de aumento de doenças em geral (SACCARO JUNIOR; MATION; SAKOWSKI, 2015; ELLWANGER *et al.*, 2020).

A Amazônia é o mais extenso dos biomas predominantemente florestais do território brasileiro. Em relação ao planeta Terra, o país possui a maior floresta tropical existente, abrangendo 1/3 das florestas tropicais úmidas do planeta. É habitat natural de grande número de espécies vegetais e animais, muitas delas endêmicas, isto é, espécies que são encontradas somente nessa região. Com um patrimônio mineral ainda em grande parte desconhecido, estima-se que a Floresta Amazônica detenha a mais elevada biodiversidade, o maior banco genético do mundo e 1/5 da disponibilidade mundial de água potável (IBGE, 2012). Segundo Assunção, Gandour e Rocha (2020) essa região é bastante heterogênea, o que torna importante visualizar a natureza espacial do desmatamento em cada área e em relação às demais.

Desse modo, essa região está sujeita a diversos fatores que contribuem para o desmatamento, de tal forma que é possível presumir que tais fatores sejam predominantemente mais intensos em certas áreas do que em outras. A isso, chama-se de processo desigual de desmatamento. Mas em que áreas há mais desmatamento? e conseqüentemente, será que existe mais internações por doenças respiratórias e quais são as causas dessas internações? As respostas as essas indagações se revelam importante, pois eventuais medidas ou políticas que tenham o objetivo de controlar ou combater o desmatamento devem levar em conta tais desigualdades para serem efetivas. Portanto, entender essas tendências em termos de qualidade ambiental é importante para os indivíduos e os projetos de desenvolvimentos. Pode-se, ainda, traduzir em sucesso ou fracasso das políticas ambientais implantadas.

Para este efeito, análises espaciais explícitas são cada vez mais utilizadas para resolver os problemas derivados da autocorrelação espacial. Assim, o objetivo deste ensaio consiste em analisar os condicionantes das doenças respiratórias na região da Amazônia Legal. Esse estudo pode ser útil para o gerenciamento da saúde na região Norte, cuja vulnerabilidade social é a maior do país – o que pode amplificar o impacto dos desequilíbrios ambientais sobre a saúde. Desse modo, a estratégia empírica foi baseada no uso de dados em painel, que permitem controlar efeitos não observados a nível municipal. Para isto, utilizou-se a abordagem de econometria espacial, usando os 772 municípios da Amazônia Legal, no período de 2000 a 2019, esse período amostral foi selecionado devido à disponibilidade de dados.

Observou-se que metodologias considerando efeitos espaciais, para a análise de doenças respiratórias, não são recorrentes na Amazônia, apenas em estudos centralizados no desmatamento (PRATES, 2008; OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2021). Portanto, o método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), pode analisar uma relação entre a variável dependente e variáveis explicativas, mas não consideram a dependência espacial (ANSELIN; REY, 2014). Nesse sentido, as técnicas de regressão espacial, com uso de dados em painel, podem ser usadas para analisar as causas espaciais das internações por doenças respiratórias (WU *et al.*, 2010; YU, 2010; NAIBBI; HEALEY, 2014; BRUNA; YU, 2016).

Além dessa introdução, a segunda seção descreve a literatura relacionada. A área de estudo, base de dados e métodos econométricos utilizados são descritos na terceira seção, enquanto os principais resultados são apresentados na quarta seção, e por fim, as considerações finais são discutidas na quinta seção.

3.2 Revisão de Literatura

Nos parágrafos a seguir são apresentados alguns dos principais trabalhos sobre a análise econométrica dos fatores que culminam nas internações por doenças respiratórias, tanto na Amazônia quanto em outros países, sem ter a pretensão de esgotá-los. Vale ressaltar que esses trabalhos são importantes na medida em que orientam e justificam a escolha das variáveis que compõem o modelo econométrico proposto e estimado no presente capítulo.

3.2.1 Primeiras teorias relacionadas ao desmatamento

As florestas são importantes para manter um ambiente saudável. Florestas tropicais e temperadas melhoram a qualidade do solo, contribuem para a fauna e flora, evitam a erosão e inundações (RUDEL *et al.*, 2005; BENHIN, 2006). A floresta amazônica é crucial para a manutenção da saúde planetária, devido ao seu papel vital na regulação do clima (ELLWANGER *et al.*, 2020).

É importante destacar que se encontra nas florestas valor imensurável, em termos de biodiversidade, em espécies de animais e plantas. Ademais, as florestas contribuem na criação de um ecossistema saudável com a existência de produtos com finalidades farmacêuticos ou para outros usos (MENDELSON; BALICK, 1995).

Além disso, as florestas regulam o ciclo do carbono na atmosfera, absorvendo os GEE, sendo os principais: o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e os Perfluorcarbonetos (PFC's), armazenando, nesse processo, quantidades consideráveis de carbono (RUDEL *et al.*, 2002; LÓPEZ; GALINATO, 2005).

Infelizmente, com a queima de áreas florestais ocorre a liberação de quantidades volumosas de gás carbônico na atmosfera, essa forma de desmatamento, apenas considerando os trópicos foi responsável por aproximadamente 17% das emissões de GEE em todo o planeta (BARKER *et al.* 2007).

Com a perda dessa cobertura florestal, acarretará, o desequilíbrio ambiental ao longo prazo, embora os prejuízos ao desenvolvimento econômico são rapidamente sentidos à medida em que os recursos florestais diminuem (JOSHI; BECK, 2017).

Essas reduções nas áreas de floresta podem ocorrer de causas naturais, como em incêndios. Porém, ficou evidenciado que uma importante quantidade do nível de desmatamento foi originada da atividade humana, diretamente relacionada à geração de riquezas ou a procura em elevar o padrão de vida dos indivíduos (BARBIER, 2004; LÓPEZ; GALINATO, 2005).

De maneira conceitual, o desmatamento acontece devido ao custo de oportunidade envolvendo o uso da floresta ou deixa-la intacta ou explorá-la de forma extrativista. Assim, quando a área florestal apresentar um maior valor com sua utilização, a prática do desmatamento será escolhida ao invés de manter as florestas preservadas (BARBIER, 1997; RUDEL *et al.*, 2002).

É importante ter em mente, que o desmatamento não significa em termos literais, a destruição completa de florestas de forma instantânea, mas sim em uma diminuição na área florestal resultante da remoção de árvores devido a uma variedade de motivos, tais como: habitacional, especulativo, produtivo entre outros (SCRIECIU, 2007).

A maioria dos países permite certos níveis de desmatamento. O uso dos recursos florestais em grande parte para habitação ou transformação em terras agrícolas costuma colocar grande pressão nos países para incrementar o seu crescimento econômico (BARBIER; BURGESS, 2001; BARBIER, 2004).

De maneira mais alarmante, o desmatamento em grande escala acontece como resultado da expansão da agricultura para áreas de fronteira ou da pecuária (DEININGER; MINTEN, 1999; MATHER; NEEDLE, 2000; GEIST; LAMBIN, 2002). Outra questão que surge, na decisão do desmatamento, ocorre nos ganhos referentes às atividades agrícolas em comparação com a pecuária. Em alguns países, criar mais fazendas de gado, produz mais

dinheiro do que as colheitas (PERZ; SKOLE, 2003; CARR *et al.*, 2005). No Brasil, pelo processo de desmatamento, com o corte das madeiras nobres, segue para a exploração de pastagem com manejo para posteriormente a área ser destinada a agricultura, na última fase do desmatamento, quando se realiza a queimada da floresta remanescente (INPE, 2008).

A pecuária, nesse sentido, promove um quadro negativo no ciclo de desmatamento; o recurso florestal é liberado para alimentação do gado que, em seguida, pastoreia a terra e faz com que ela se degrade, forçando, assim, em uma maior expansão das fazendas em detrimento de mais área de floresta (ALLEN; BARNES, 1985).

Existem duas linhas de estudo que surgiram para explicar melhor as causas e implicações do referido desmatamento, bem como para investigar soluções para a perda da área florestal.

A primeira linha na literatura chamada de *Forest transition theory (FTT)*, ou Teoria da Transição Florestal (TTF) tem sido um método de estudo de caso para revelar tendências entre crescimento econômico e cobertura florestal. Com base nos impactos florestais ocorridos durante os séculos XIV e XX em países desenvolvidos (MATHER, 2004).

Esta teoria relata que o desenvolvimento econômico, em sua busca inicial, faz com que as áreas de florestas diminuam, mas futuramente, em um estágio superior de crescimento econômico a perda florestal se estabilizará e, eventualmente, levará ao reflorestamento na criação de florestas secundárias (KLOOSTER, 2003).

Desse comportamento, surgiu a hipótese que a TTF tem um padrão ou uma função com formato de U, em que as florestas crescerão novamente devido a fatores como abandono de terra por agricultores que buscaram melhores oportunidades nas cidades, isto é êxodo rural (RUDEL *et al.*, 2005). Nesse sentido, segundo Mather (2004) e McCarthy e Tacconi (2011), para os indivíduos ou como uma decisão governamental (política pública) de plantar árvores com importante valor de mercado, isso se transformaria em uma fonte de renda futura, corroborando, assim, na redução no nível de desmatamento.

A segunda abordagem para a redução da área florestal parte da Curva Ambiental de Kuznets (CAK). Na literatura CAK adota uma metodologia mais econométrica baseada em dados em painel para examinar as tendências gerais do nível de desmatamento entre vários grupos de países, com a ideia de que identificar padrões pode ajudar a direcionar a política ambiental (JOSHI; BECK, 2017).

Grossman e Krueger (1991) e Grossman (1995) aplicaram pela primeira vez a curva de Kuznets com padrão U invertido, retirada do estudo de desigualdade de renda e o crescimento econômico, para a temática do meio ambiente, sugerindo um padrão semelhante

encontrado na relação entre crescimento econômico e degradação ambiental, fato que eles então denominaram Curva Ambiental de Kuznets.

No entanto, no estudo de Perz e Skole (2003), ficou evidenciado que o padrão U invertido da CAK corresponde ao inverso da curva em forma de U da TTF, indicando que as duas abordagens estão relacionadas.

O Quadro 3.1 apresenta alguns dos trabalhos relacionando desmatamento com análise espacial e CAK.

Quadro 3.1 – Resumo de trabalhos sobre desmatamento na Amazônia que consideram a CAK, utilizando o método de efeitos espaciais.

Autores	Tipo de dados	CAK	Efeitos não Observados e/ ou Heterogeneidade espacial	Dependência Espacial
Igliori (2006)	Diferença (257 áreas comparáveis)	-	X*	X
Aguiar <i>et al.</i> , (2007)	Cross-section (municípios)	-	X	X
Gomes e Braga (2008)	Painel (estados)	X	X	-
Araújo <i>et al.</i> , (2009)	Painel (estados)	X	X	-
Santos <i>et al.</i> , (2008)	Painel (municípios)	X	X	-
Prates (2008)	Painel (municípios)	X	X	-
Diniz <i>et al.</i> , (2018)	Painel (municípios)	-	-	-
Oliveira <i>et al.</i> , (2011)	Painel (municípios)	X	X	X
Santos (2016)	Painel (municípios)	-	X	X

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Nota: *X corresponde aos métodos utilizados pelos referidos autores.

Já o Quadro 3.2 apresenta as principais variáveis e resultados encontrados, das principais referências sobre o tema, sendo as mesmas presentes no Quadro 3.1.

Quadro 3.2 – Resumo dos trabalhos empíricos sobre o desmatamento da Amazônia Legal

Autores	Período	Variável dependente	Variáveis explicativas	Resultados
Igliori (2006)	1970- 2000	Taxa de desmatamento	Produto, população (e forma quadrática), educação, área geográfica, pequenas propriedades, proprietários, preços da terra, salários, área desmatada, defasagem espacial, erro espacial e variáveis espaciais e ambientais.	Observou relação positiva entre atividade econômica e desmatamento, e também, autocorrelação espacial positiva para o desmatamento.
Aguiar <i>et al.</i> , (2007)	1996	Área desmatada	50 variáveis de 5 categorias: acesso a mercados, atratividade econômica, políticas públicas, estrutura agrária, ambiental.	Fatores mais impactantes no desmatamento: acesso a estradas e proximidade de mercados, condições climáticas mais favoráveis, e estrutura agrária.
Gomes e Braga (2008)	1990-2004	Taxa de desmatamento (km ² /ano)	Renda <i>per capita</i> , suas formas quadrática, cúbica e suas defasadas; densidade populacional; <i>dummy</i> anual; <i>dummy</i> para arco do desmatamento.	Apontaram evidências da CAK na forma de “N”, com ponto de inflexão para níveis de renda <i>per capita</i> em cerca de R\$3.000,00 (“U” invertido) e R\$ 6.000,00.
Araújo <i>et al.</i> , (2009)	1988-2000	Taxa anual de desmatamento (km ²)	Renda <i>per capita</i> e sua forma quadrática, estradas, área de floresta, densidade populacional, preço do boi, <i>proxy</i> para insegurança de direitos de propriedade com instrumento gastos com judiciário	Exceto o preço do boi, todas as variáveis foram significativas. A hipótese da CAK foi fracamente confirmada.
Santos <i>et al.</i> , (2008)	2000-2004	Área desmatada (ha)	Renda <i>per capita</i> , suas formas quadrática, cúbica e inversa e <i>dummy</i> referente a tecnologia.	Encontraram evidência (fraca) da hipótese da CAK na forma cúbica.
Prates (2008)	2000-2004	Área desmatada (km ²)	Renda, renda ao quadrado, população, gastos em agricultura e sistemas de transporte, crédito rural, rebanho bovino, índice de preços de agricultura permanente e temporária, preço da soja, extração madeireira	Observou evidência da hipótese da CAK. Não foram significativas as variáveis relativas aos gastos em agricultura e extração madeireira.
Diniz <i>et al.</i> , (2018)	2000-2010	Taxa de desmatamento	Renda <i>per capit</i> , Assentamento, Pobreza, Pecuária, Cultura Permanente, Cultura Temporária, Densidade Demográfica, Distância da Capital, Regulação Ambiental	Apontaram a importância da política regulatória no controle do desmatamento, enquanto a política de assentamentos mostrou-se não significante.
Oliveira <i>et al.</i> , (2011)	2001-2006	Área desmatada	Renda <i>per capita</i> , e suas formas quadrática, cúbica, área de floresta, densidade populacional, efetivo bovino, área plantada soja e cana-de-açúcar, Silvicultura, Extração vegetal e Crédito rural.	Para o modelo global foi verificada a relação da CAK na forma de “N”. Entretanto, encontrou-se diferentes relações entre desmatamento e PIB <i>per capita</i> municipal, e as demais variáveis explicativas.
Santos (2016)	2003-2012	Casos de Malária	Área desmatada, suas formas com uma e duas defasagens e ao quadrado, área de floresta, densidade populacional, gastos públicos em saúde, PIB, efetivo bovino, soja, área plantada de diversos cultivos	Encontrou evidências que o desmatamento possui correlação positiva com a doença, em áreas de até 425km ² . Enquanto, acima desse valor apresentaram correlação negativa.

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

3.2.2 A relação entre queimadas e doenças respiratórias

A fumaça de qualquer origem produz efeitos negativos na saúde humana, principalmente, doenças respiratórias. Estudos experimentais, epidemiológicos e clínicos constituem a base do conhecimento dos efeitos adversos dos poluentes atmosféricos para a saúde humana (SCHIMMEL, 1978; BÖHM *et al.*, 1983; MASSAD *et al.*, 1985; BÖHM *et al.*, 1989; SALDIVA *et al.*, 1994, SALDIVA *et al.*, 1995). Essas pesquisas, com base em diversos ramos do conhecimento, como a toxicologia, a análise de risco, a epidemiologia e a bioestatística, acumularam muitas informações sobre essa temática. Aliado a elas, nas últimas duas décadas (2000-2020) uma abordagem que vem sendo bastante utilizada tem sido os estudos epidemiológicos de séries temporais (DO CARMO; HACO, 2013).

Nesse sentido, a literatura mostra que desequilíbrios ambientais, principalmente relacionados ao desmatamento, aumentam a incidência de doenças. As queimadas no Estado da Califórnia nos Estados Unidos e no sudeste do continente asiático apresentam evidências empíricas desta relação.

O Estado da Califórnia registrou mais da metade dos incêndios florestais nos Estados Unidos ao longo do século XX (FRIED; TORN; MILLS, 2004). Por esse motivo, diversos estudos, têm avaliado os impactos na saúde humana associados às queimadas. Jacobs, Kreutzer e Smith (1997) apontaram que as queimadas de resíduos de plantações de arroz na região de Butte, Califórnia, durante os anos de 1983 a 1992, estavam associadas com as internações de asma. Utilizando regressão em séries temporais, mostraram que o aumento de um acre no total de área queimada aumentaria em 23% as internações de asma. Outro estudo em San Diego, Califórnia, com dados de séries temporais, em período diário, de setembro a outubro de 2003, mostrou que os incêndios florestais aumentaram significativamente os atendimentos de emergência por asma e problemas respiratórios diversos (VISWANATHAN *et al.*, 2006).

A Ásia apresentou diversos episódios de grandes queimadas de longa duração, principalmente na região sudeste. Em sua história recente, os incêndios mais severos ocorreram nos anos de 1997/98 relacionados ao fenômeno climático *El Niño*, que resultaram na destruição de 11,7 milhões de hectares de floresta, propriedades e outros tipos de vegetação (TACCONI; MOORE; KAIMOWITZ, 2007; FIELD; SHEN, 2008). Os impactos na saúde humana associado a este grande evento de queimada foi documentado por diversos autores. Emmanuel (2000) com dados de séries temporais, em um período de quatro meses, de agosto a novembro de 1997, em Singapura, mostrou que o aumento de MP de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para

150 ug/m³ estavam associados a um aumento de 37% nos atendimentos por asma e 26% por rinite. Para Sastry (2002) com dados mensais, de janeiro de 1996 a dezembro de 1997, na Malásia, apontaram que o aumento de MP estava relacionado com o aumento da mortalidade para idosos. Por fim, Mott *et al.* (2005) com dados mensais de séries temporais, de janeiro de 1995 a dezembro de 1998, na Malásia, observaram um aumento nas internações por asma, causas respiratórias e cardiovasculares durante o período de queimadas.

Na literatura nacional, cabe destacar o papel do Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo que, desde 1979, desenvolve estudos sobre poluição atmosférica e saúde (ANDRÉ *et al.*, 2012). E a partir de 1992, são feitos estudos de monitoramento de aerossóis na região Amazônica pelo Experimento de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia (LBA) do Grupo de Estudos de Poluição do Ar (GEPA), pertencente ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IF-USP).

Assim, encontram-se uma série de estudos que aponta os impactos na saúde humana por diferentes tipologias de fontes de emissões, tais como: queima de combustíveis fósseis para geração de energia no transporte (ANDRADE *et al.*, 2017; VORMITTAG *et al.*, 2018; ISS, 2019); processos industriais (SPEKTOR *et al.*, 1991; BRAGA *et al.*, 2007); atividades agrossilvopastoris associadas às queimadas, incêndios florestais e movimentação do solo (CANÇADO *et al.*, 2006; ARBEX *et al.*, 2014), além de queimadas nas regiões Norte e Centro-Oeste (REDDINGTON *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2016; ALVES, 2019), contribuindo para o acúmulo de conhecimentos nessa temática e evidências para embasar ações de controle da poluição e gestão da qualidade do ar.

Especificamente na Amazônia subequatorial, os estudos sobre a poluição do ar, em decorrência, de incêndios foram iniciados em 1998 pelo LBA, mas foi somente em 2007 que as primeiras descobertas sugerindo uma associação entre as doenças respiratórias e do ar circundante foram publicadas em (IGNOTTI *et al.*, 2007, ROSA *et al.*, 2008, MASCARENHAS *et al.*, 2008).

Mascarenhas *et al.* (2008), em um estudo no Estado do Acre, em setembro de 2005, apontaram que as queimadas estavam associadas com o atendimento ambulatorial por doenças respiratórias. Utilizando regressão em séries temporais, mostraram que essa associação foi significativa. Já Do Carmo *et al.* (2010) com dados mensais de séries temporais de janeiro de 2004 a dezembro de 2005, em Alta Floresta, município do Mato Grosso, apontaram que com aumentos de 10 ug/m³ nos níveis de MP estavam associados a aumentos de 2,9% e 2,6% nos atendimentos por doenças respiratórias de crianças com 6º e 7º dias

subsequentes à exposição. Por fim, Ignotti *et al.* (2010) com dados mensais de séries temporais de janeiro a dezembro de 2005, em Alta Floresta e Tangará da Serra, municípios do Estado de Mato Grosso, observaram que aumentos de 10 ug/m^3 nos níveis de MP estavam associados a aumentos de até 6% nas internações por doenças respiratórias de crianças e de 6,8% dos idosos.

Em contexto recente, incêndios e queima de biomassa também são importantes fontes de poluição atmosférica com relevantes efeitos na saúde da população como apontam os estudos de (BARCELLOS *et al.*, 2009; IGNOTTI *et al.*, 2010; DO CARMO *et al.*, 2010, OLIVEIRA *et al.*, 2020), em particular crianças (JACOBSON *et al.*, 2014).

Na Amazônia estudos, realizados pelo grupo da Fiocruz, referentes à exposição de escolares entre 6 e 13 anos à poluição do ar, evidenciam os efeitos das queimadas, caracterizados pela redução da função pulmonar de crianças (ROSA *et al.*, 2008; JACOBSON *et al.*, 2014).

Machin *et al.* (2019), estudaram o custo da poluição do ar para o sistema de saúde e a aplicabilidade de um modelo matemático para estimar a concentração ambiental de poluentes atmosféricos. Com dados ecológicos de série temporal e de internações por doenças respiratórias em pessoas com mais de 60 anos, residentes em Cuiabá, Brasil, no ano de 2012. Como resultados, apontaram para o aumento do risco de hospitalização em 31,8%, quando existe aumento de $3,5 \text{ } \mu\text{g} / \text{m}^3$ nas concentrações de $MP_{2,5}$, com gasto anual total de mais de US\$ 96.000,00 para o sistema público de saúde brasileiro.

No relatório “O Ar é Insuportável”, as conclusões indicaram que as queimadas associadas ao desmatamento na Amazônia tiveram um impacto negativo significativo na saúde pública na região em 2019. Isso incluiu 2.195 internações devido a doenças respiratórias atribuíveis às queimadas. Destas internações, 467 (21%) foram de bebês de zero a doze meses de idade e 1.080 (49%) foram de pessoas idosas, com 60 anos ou mais. O estudo descobriu que os pacientes passaram um total de 6.698 dias no hospital em 2019 em razão da exposição à poluição do ar decorrente das queimadas (HRW; IPAM; IEPS, 2020).

Com resultados similares, Sant’Anna e Rocha (2020), apontaram que a poluição do ar relacionada às queimadas e desmatamentos implicou custo ao Sistema Único de Saúde (SUS) na ordem de US\$ 1,5 milhão em 2019. Por fim, especificamente, trabalhos com a abordagem espacial, a maioria das pesquisas encontradas concentram-se na investigação do desmatamento vistos na seção 3.2.1. Para estudos de doenças respiratórias, a grande parte foi analisada por modelos de séries temporais. Já considerando a poluição do ar, geralmente em zonas urbanas, associados com a produção industrial, tem-se séries temporais

(NASCIMENTO *et al.*, 2017), modelo de diferença em diferença (TU *et al.*, 2019; YANG *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2020) e modelagem espacial (RÉQUIA JÚNIOR, 2015).

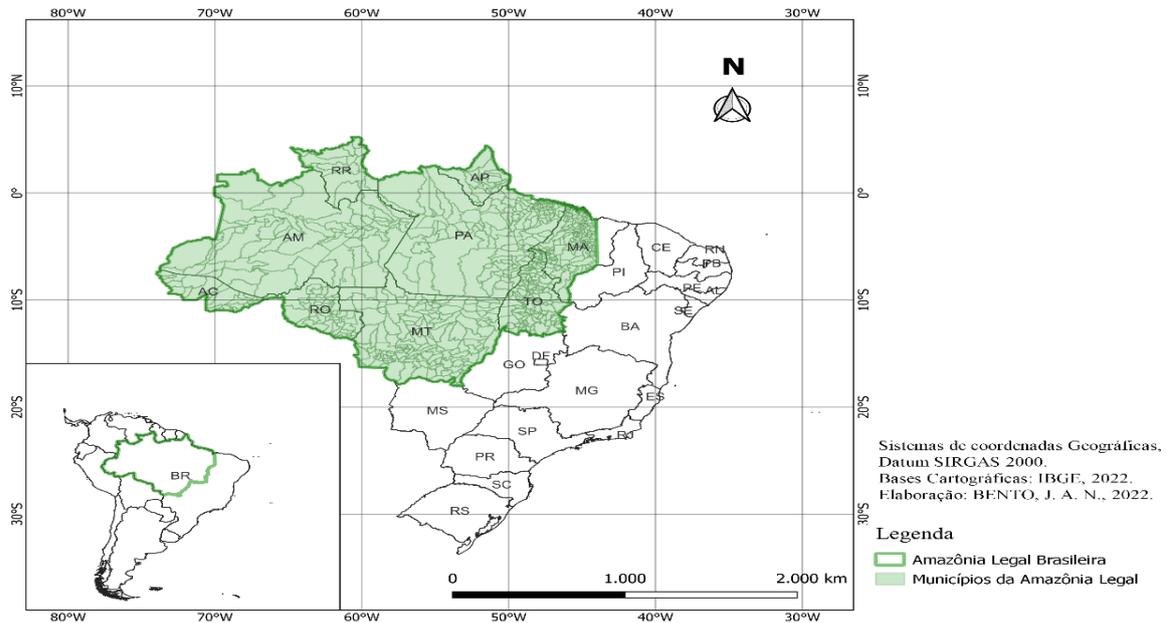
3.3 Metodologia

Foram analisados os 772 municípios brasileiros pertencentes à região da Amazônia Legal, durante os anos de 2000 a 2019, e fazendo uso de variáveis de acordo com a literatura. Nesta análise, utilizaram-se regressões espaciais com o número de internações por doenças respiratórias como variável dependente, os indicadores econômicos e climáticos como variáveis independentes para diagnosticar os efeitos relevantes a nível municipal decorrentes dessas interações.

3.3.1 Área de Estudo

A Amazônia Legal, apresentada na Figura 3.1, é uma área que corresponde a 59% do território brasileiro e engloba a totalidade de oito estados (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins) e parte do Estado do Maranhão (a oeste do meridiano de 44°W), perfazendo 5,0 milhões de km². Nessa área moram cerca 56% da população indígena brasileira. O conceito de Amazônia Legal foi instituído em 1953 e seus limites territoriais decorrem da necessidade de planejar o desenvolvimento econômico da região e, por isso, não se resumem ao ecossistema de selva úmida, que ocupa 49% do território nacional e se estende também pelo território de oito países vizinhos. Os limites da Amazônia Legal foram alterados várias vezes em consequência de mudanças na divisão política do país. O Plano Amazônia Sustentável (PAS), lançado em maio de 2008 pelo governo federal, considera integralmente o Estado do Maranhão como parte da Amazônia Brasileira (IPEA, 2014).

Figura 3.1 – Amazônia Legal brasileira e amostra de referência



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

3.3.2 Base de dados

Foram analisados os 772 municípios brasileiros pertencentes à região da Amazônia Legal, durante os anos de 2000 a 2019, e fazendo uso de variáveis de acordo com a literatura. O Quadro 3.3 apresenta as variáveis utilizadas na pesquisa, seu possível impacto esperado e fonte, sendo descritas a seguir:

A variável dependente, DOENÇA, considera as internações relacionadas com todas as doenças respiratórias (códigos J00-J99), obtidas do Departamento de Tecnologia da Informação do SUS em sua plataforma que disponibiliza dados de sistemas públicos de saúde via internet (DATASUS, 2022). As causas de hospitalização são registradas de acordo com a Classificação Internacional de Doenças, considerando sua 10ª revisão (CID-10). As internações podem estar associadas às emissões de gases por incêndio florestal que podem ter implicações agudas ou de longo prazo para a saúde das populações expostas, principalmente no caso das doenças respiratórias. Entre os principais componentes dessa fumaça tóxica que afetam a qualidade do ar, destacam-se as partículas finas $MP_{2,5}$ e MP_{10} , cujo efeitos aumentam, ainda mais, quando suas concentrações estão acima dos padrões recomendados (YOUSSEUF *et al.*, 2014).

Quadro 3.3 – Variáveis da Pesquisa, Amazônia Legal, 2000-2019

	Variável	Descrição	Unidade	Sinal esperado do coeficiente	Fonte
Variável dependente	DOENÇA	Internações anuais por doenças respiratórias.	Número de internações	-	DATASUS (2022)
Variáveis explicativas	PIB	PIB <i>per capita</i>	R\$ de 2019	Positivo ou negativo	IBGE (2022)
	FOR	Área de floresta	Km ²	Negativo	PRODES/INPE (2022)
	DESM	Desmatamento em Km ²	Km ²	Positivo	PRODES/INPE (2022)
	DPOP	Densidade populacional	número de habitantes/km ²	Positivo ou negativo	IBGE (2022)
	URBAN	População urbana	(% do total)	Positivo	IBGE (2022)
	CR	Crédito rural	R\$ de 2019	Positivo	IPEADATA (2022)
	GASTOTRANS	Gasto público em transporte	R\$ de 2019	Positivo ou negativo	IPEADATA (2022)
	IND	Estrutura Industrial (valor adicional bruto do PIB)	R\$ de 2019	Negativo	IBGE (2022)
	K/L	Razão capital-trabalho	R\$ de 2019	Negativo	IPEA (2022) e RAIS (2022)
	EMISSÃO	Queima de combustível industrial, residencial e transporte	Toneladas	Positivo	SEEG (2022)
	TEMP	Temperatura média	° C	Positivo	NASA (2022)
	PRECIPITAÇÃO	Precipitação anual	Mm	Negativo	NASA (2022)

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

A Amazônia registra significativos focos de incêndios detectados pelos satélites, entretanto, ela não deveria queimar por motivos naturais, pois é composta por uma floresta úmida chuvosa, não adaptada ao fogo (SHLISKY *et al.*, 2009; MORGAN *et al.*, 2019). No entanto, incêndios naturais nas florestas da Amazônia é um fenômeno raro (ALENCAR *et al.*, 2015).

O desmatamento como variável independente, DESM, torna-se muito útil para a avaliação do avanço das atividades agrossilvipastoris, da ocupação do homem e seu poder de artificialização do meio ambiente em geral, nas áreas recobertas por florestas no norte do Brasil, o desmatamento considerado aqui, é o incremento anual do desmatamento em Km² obtido na plataforma (TERRA BRASILIS/INPE, 2022).

Entre as variáveis independentes incluem, ainda, o PIB *per capita*, área de floresta, densidade populacional, população urbana, crédito rural, gasto público em transporte,

participação industrial, razão capital/trabalho, emissão de gases poluentes da indústria, dos serviços e residencial, temperatura e precipitação.

A variável PIB *per capita* foi incluída, para verificar a presença ou falta da CAK. Estudos anteriores sugeriram que uma renda crescente ajuda a reduzir o desmatamento (BARBIER; BURGESS, 2001; MATHER, 2004). Nessa perspectiva o desenvolvimento econômico pode levar a criação de empregos com melhor remuneração em setores não agrícolas, o que pode contribuir para menos desmatamento com trabalhadores e agricultores abandonando a agricultura em favor de salários mais estáveis, isto é, uma maneira de êxodo rural (KOOP; TOLE 2001; KLOOSTER, 2003). Mas, por outro lado, esse crescimento, também, pode encorajar a redução florestais devido a expansão da atividade econômica como por exemplo: agricultura e pecuária (LÓPEZ; GALINATO, 2005).

A cobertura florestal, FOR, medida em hectares, representa a área total coberta por floresta. O declínio na cobertura florestal anual, portanto, indica a presença de desmatamento. No entanto, tais declínios não sugere a eliminação completa das florestas. Portanto, indica a presença de desmatamento e possivelmente uma piora na qualidade do ar (DE SIMONI *et al.*, 2021).

A população é um indicador bastante presente como variável explicativa do desmatamento, e conseqüentemente, no número de internações e caso de doenças relacionados ao mesmo (CROPPER; GRIFFITHS, 1994; ANDERSEN; REIS, 1997; TANAKA; NISHII, 1997; CULLAS; DUTTA, 2002; PERZ; ARAMBURÚ; BREMNER, 2005; PRATES, 2008). Ademais, uma população crescente impacta negativamente na área florestal. Numerosos estudos têm mostrado que uma população crescente exige mais recursos e terras, geralmente retirados das florestas (CROPPER; GRIFFITHS, 1994; MATHER; NEEDLE, 2000).

Em relação à densidade populacional, DPOP, em áreas com elevada densidade demográfica observaria mais preservação ambiental, e até mesmo a ampliação de áreas de florestas, pois regiões altamente industrializadas e urbanizadas estariam em busca de qualidade ambiental. Por outro lado, áreas com reduzida densidade populacional seriam responsáveis por aumentar o nível de desmatamento. Nesse sentido, Rupasingha *et al.* (2004) apontaram que o incremento da densidade demográfica estaria relacionado a menores níveis de degradação ambiental. Já para Laurance e Laurance (2009), a densidade da população humana é um fator de aumento do desmatamento, pois podem aumentar a acessibilidade física às florestas, pela necessidade de bens de consumo florestal.

A porcentagem da população urbana, URBAN, mede os impactos de uma crescente urbanização na cobertura florestal. Alguns estudos sugeriram ao aumentar a urbanização pode reduzir a CAK (CARR *et al.*, 2005). Assim, migração de agricultores e trabalhadores para as cidades podem reduzir a pressão florestal por parte da agricultura de subsistência (PERZ; SKOLE, 2003; RUDEL *et al.*, 2005). Além disso, as áreas urbanas tendem a experimentar mais substituição de produtos de madeira, tanto em termos de energia (bens substitutos para lenha e carvão) quanto de materiais de construção (EHRHARDT-MARTINEZ *et al.*, 2002). Mas, por outro lado, o crescimento da urbanização pode resultar em uma maior demanda por produtos florestais isso ocasionaria mais desmatamento (CARR *et al.*, 2005).

Devido às informações dessa porcentagem ser encontrada apenas nos censos de 2000 e 2010, foi construída uma proxy para os demais anos calculados como um acréscimo da média entre os anos 2000 e 2010. Para o período de 2010 a 2019 foi considerado a mesma média (2000 a 2010) porém dividida por 2 porque considerou que a porcentagem da população urbana cresce em taxa menores. Portanto, em relação às variáveis de população, existe a unanimidade dos trabalhos empíricos de que quanto maior a população, ou a sua taxa de crescimento, maior será a pressão para a ocorrência do desmatamento em uma dada região.

O crédito rural, CR, é um recurso financeiro para os produtores expandirem suas atividades. Nesse ensaio, considerou o montante total de crédito rural obtido pelo município, sem levar em consideração suas diversas modalidades. Nesse contexto, também se mostrou como um importante fator no avanço do desmatamento na região, pois ele representa os meios necessários para o avanço das diversas atividades agropecuárias, e, como desdobramento, a retirada da cobertura florestal. Convém ressaltar, que ele é uma decisão de natureza política, pois o crédito rural em sua ampla maioria é um repasse oficial, a cargo das instituições financeiras públicas. E esta decisão pode estar atrelada a um programa maior de desenvolvimento regional, favorecendo a ampliação do desmatamento (PRATES, 2008).

Da mesma forma, os gastos do governo em transporte criam condições para a expansão da atividade agropecuária. Embora, acredita-se que um aumento no volume desses gastos do governo gera crescimento do desmatamento, nem sempre essa pressuposição se verifica. Pois, de fato, muitos dos gastos estão indiretamente associados à atividade agropecuária, o que pode ser explicado pela diversidade de segmentos que estão atrelados à agricultura (GASQUES, 2001). Além disso, tem que levar em consideração o tempo do investimento em transporte, por exemplo, uma construção de estradas, pode no período inicial acelerar o desmatamento, porém com o passar do tempo esse efeito é diluído. Essa variável

também se mostrou bastante presente nos trabalhos empíricos sobre o desmatamento (CROPPER; GRIFFITHS, 1994; PFAFF, 1999; WEINHOLD; REIS, 1999, 2003; ARIMA *et al.*, 2007; PRATES, 2008; PINHEIRO *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Segundo Oliveira *et al.* (2020) a distância das rodovias dos centros urbanos foram os que mais contribuíram para uma grande área de desmatamento, uma vez que, para criar essas estradas e cidades, era necessário derrubar árvores e/ou mudar a paisagem florestal.

Portanto, os gastos do governo no sistema de transporte geram melhores condições de logística. Com efeito, dois desdobramentos estão diretamente relacionados: o primeiro é dar condições de acesso a lugares remotos que antes estavam inacessíveis; e o segundo é contribuir para a queda em geral com o custo do transporte, tornando economicamente viável expandir a produção de certos bens para outras áreas mais distantes do mercado ou do ponto de escoamento da produção. O acesso a novos lugares, somado com a expansão de atividades econômicas, gera a ocupação de novas áreas, traduzindo no aumento do desmatamento (PRATES, 2008).

Em relação à infraestrutura industrial, medida pelo valor adicionado bruto industrial, IND, em R\$, segundo Qin e Yu (2016) apontaram que o nível de poluição ambiental de uma região está intimamente relacionado ao seu nível de infraestrutura industrial. Nesse sentido, a estrutura industrial foi considerada a relação entre o valor adicionado industrial e o PIB, que se reflete no impacto industrial na poluição ambiental, e consequentemente, no aumento de doenças respiratórias.

Já a razão capital-trabalho, K/L, busca descrever o modo como a indústria de uma região afeta os níveis de poluição ambiental. Pela relação capital-trabalho, a estrutura industrial pode ser dividida em tipos intensivos em capital e intensivos em trabalho. Assim, Yuan, Guo e Sun (2012) descobriram que as indústrias de alta tecnologia (maior fator capital) apresenta maior eficiência energética e menores emissões de poluentes. Qin e Yu (2016) usaram a razão capital-trabalho como uma variável proxy para indústrias intensivas em capital, obtendo como resultado que as regiões com altas razões capital-trabalho têm um nível de poluição ambiental relativamente menor. Portanto, foi utilizada nesta pesquisa o logaritmo natural da razão de capital - descrito como despesa de capital ou investimento ao nível municipal em reais, engloba as dotações para o planejamento e a execução de obras, inclusive as destinadas à aquisição de imóveis considerados necessários à realização destas últimas, bem como para os programas especiais de trabalho, aquisição de instalações, equipamentos e material permanente, e constituição ou aumento do capital de empresas que não sejam de caráter comercial ou financeiro, obtido no (IPEADATA, 2022). Enquadram-se nessa conta as

despesas com equipamentos e instalações, dentre outras, em suma, pode ser chamado de investimento em ativos fixos municipais - pelo número de empregos formais para avaliar a relação capital-trabalho. O fator trabalho foi obtido na base de dados da (RAIS, 2022).

Para o consumo de energia, medido pela variável EMISSÃO, observou-se que a poluição ambiental é causada pelo consumo de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo, gás natural, etc. Nesse sentido, Jalil e Mahmud (2009) analisaram empiricamente a poluição ambiental e o consumo de energia com a teoria CAK, apontando à existência de uma relação positiva e significativa entre o consumo de energia e os níveis de poluição, com as emissões relacionadas ao tipo de combustível fóssil usado. Considerando o impacto do consumo de energia no desenvolvimento econômico e na disponibilidade de dados do consumo urbano de energia, este capítulo utilizou a quantidade em toneladas de GEE pela queima de combustíveis fósseis industriais, residências e de transportes, os gases considerados foram C_2F_6 , CF_4 , CH_4 , CO, CO_2 , Compostos Orgânicos Voláteis não Metânicos (COVNM), N_2O e NO_x , sendo obtidas em (SEEG, 2022). Cabe ressaltar, que veículos têm obedecido limites mais restritivos de emissões de poluentes, mas ainda são as principais fontes em áreas urbanas, embora emissões por processos industriais também sejam relevantes em inúmeras áreas urbanas (IAP, 2020). Conforme as estimativas da *European Commission* (2019) as principais fontes de emissão de poluentes no Brasil são o setor de transporte, os processos industriais e a queima de biomassa.

Foram incluídos controles para temperatura e pluviosidade. Além de aumentar a precisão das estimativas, estes controles podem ser importantes devido à influência do clima tanto na incidência das doenças como no ritmo do desmatamento. Os dados climáticos utilizados foram: a temperatura média, TEMP, em graus ° C, e a PRECIPITAÇÃO total anual em mm. Ambas foram obtidas em (NASA, 2022). Nesse sentido, segundo Smith *et al.* (2014) as condições de seca na Amazônia estão associadas ao aumento da incidência de incêndios, aumentando as emissões de aerossóis com degradação da qualidade do ar. De acordo com os autores, foi encontrado um aumento significativo entre (1,2% e 267%) nas hospitalizações por doenças respiratórias em menores de cinco anos em municípios altamente expostos à seca naquela região. Além disso, os resultados apontaram que eventos de seca deteriorou a saúde respiratória das crianças, especialmente durante 2005, quando a seca foi mais concentrada.

Por fim, todas as variáveis foram transformadas em logaritmo, excetos DPOP, URBAN, em formas percentuais, TEMP, em índice, e DESM, este último sendo normalizado, pois apresenta valores negativos, isto é, reflorestamento, impedindo sua linearização. Desse modo, a forma logaritma reduz o grau de assimetria de todas as variáveis consideradas, e

tende-se a estabilizar sua variância amostral e a curtose da amostra. Todos os valores monetários, incluindo os gastos do governo com transporte, PIB *per capita*, IND e crédito rural foram deflacionados pelo IGP-DI ano base 2000, obtido em (BCB, 2022).

3.3.3 Métodos analíticos

Nesta seção, para serem estimadas as regressões espaciais, considerou-se modelos que tratam da dependência espacial. Para isso, recorreu-se à Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) e a econometria espacial.

3.3.3.1 Modelo de econometria espacial

A Análise Exploratória de Dados Espaciais auxilia no estudo de modelos econométrico-espaciais porque permite a identificação dos efeitos espaciais (dependência espacial e heterogeneidade espacial) nas variáveis de interesse (ALMEIDA, 2012).

Dessa maneira, as ferramentas da AEDE foram utilizadas para descrever a distribuição e a associação espacial da variável internações por doenças respiratórias entre os municípios avaliadas no espaço e ainda perceber padrões e formas de instabilidade espacial e identificar possíveis outliers (ALMEIDA, 2012). Portanto, constitui-se em uma etapa importante antes de realizar a modelagem econométrica espacial.

Em primeiro lugar, é preciso verificar se os dados espaciais apresentam ou não aleatoriedade espacial, isto é, se os valores de um atributo em uma região são independentes ou dependentes dos valores desse atributo nas regiões vizinhas. As estatísticas de autocorrelação espacial servem a este propósito. Nesse sentido, a estatística *I* de Moran é uma das mais difundidas e utilizadas, tratando-se de mensurar a autocorrelação espacial a partir do produto dos desvios em relação à média. Em síntese, é uma medida global de autocorreção espacial e indica o grau de associação espacial presente em um determinado conjunto de dados. A estatística *I* de Moran pode ser assim representada:

$$I = \left(\frac{n}{S_0} \right) \left(\frac{z'Wz}{z'z} \right) \quad (3.1)$$

Em que n representa o número de observações, z denota os valores da variável de interesse padronizada, S_0 é a soma dos ponderadores da matriz, Wz representa os valores

médios da variável de interesse padronizada nos vizinhos, definidos segundo uma matriz de ponderação espacial W (ALMEIDA, 2012).

Para valores do I de Moran acima do valor esperado indicam autocorrelação espacial positiva, isto é, altos valores de um atributo tendem a ser vizinhos de indivíduos também com altos valores. Nesse caso, há similaridade entre os valores do atributo estudado e da localização espacial deste, indicando um padrão de concentração ou similaridade. Ao contrário, se há uma autocorrelação espacial negativa, altos valores do atributo estudado tendem estar vizinhos a baixos valores e vice-versa, indicando um padrão de dispersão.

Em casos no quais os padrões de associação espacial estejam concentrados em poucas regiões (*clusters* espaciais), uma estatística global pode não captar essa realidade. As associações espaciais locais podem ser identificadas por meio de estatísticas locais de autocorrelação espacial, nesses casos, com a utilização do indicador LISA (*Local Indicator of Spatial Association*).

Nesse contexto, o I de Moran local é um indicador LISA. Assim, para cada observação i é calculado um I_i , que corresponde a uma decomposição do indicador global de autocorrelação nas formas de associação espacial alto-alto (AA), baixo-baixo (BB), alto-baixo (AB) e baixo-alto (BA). A visualização dos padrões de associação espacial é útil e pode ser conseguida por meio do mapa de dispersão de Moran, o mapa de significância LISA e do mapa de *clusters*.

Feita essa introdução à análise espacial, a área da Econometria denominada de Econometria Espacial estuda a importância da questão espacial inerente à ciência regional, em particular, à economia regional. Além disso, trabalha com dados distribuídos no espaço que podem apresentar dependência ou heterogeneidade em sua estrutura (ANSELIN, 1988).

Nesse sentido, segundo o mesmo autor, na presença de efeitos espaciais, a estimação pelo MQO se torna inadequada. Em decorrência, as estimativas encontradas, por esse método, serão inconsistentes e/ou ineficientes.

Segundo Elhorst (2003), os modelos de dados em painel tradicionais podem ser expandidos ao ser acrescentado os efeitos espaciais: dependência espacial e heterogeneidade espacial.

A heterogeneidade espacial em um modelo econométrico refere-se à instabilidade estrutural, proveniente de características espacialmente diferenciadas, ou de variâncias não constantes dos termos de erro (heterocedasticidade) no espaço (ANSELIN, 1988).

A dependência espacial, por sua vez, significa que o valor de uma variável em um determinado lugar depende do valor dessa mesma variável em outros pontos no espaço, isto é,

“a existência de uma relação funcional entre o que acontece num certo ponto no espaço e o que acontece em outro lugar” (ANSELIN, 1988, p. 11).

A dependência espacial pode ser incorporada à especificação do modelo por meio de um processo autorregressivo no termo de erro (modelo de erro espacial), ou por intermédio da variável dependente defasada espacialmente (modelo de defasagem espacial), em que o valor da variável dependente é influenciado pelo valor dessa variável nos indivíduos vizinhos. Já a heterogeneidade espacial nos modelos de dados em painel com coeficientes globais é incluída pela variação do intercepto, representando os efeitos individuais não-observados (ELHORST, 2003).

Com a inclusão da dependência espacial, o modelo geral de dados em painel pode ser representado por:

$$y_t = \rho W_1 y_t + X_t \beta + W_1 X_t \gamma + \mu + u_t \quad \text{para } i = 1, \dots, N \text{ e } t = 1, \dots, T \quad (3.2)$$

$$u_t = \lambda W_2 u_t + \varepsilon_t \quad \text{sendo } \varepsilon \sim (0, \sigma^2 I) \quad (3.3)$$

Em que: $y_t = (y_{1t}, \dots, y_{Nt})'$ é um vetor de observações da variável dependente; $X_t = (X_{kt}, \dots, X_{Nt})'$ é uma matriz $n \times k$ de observações das variáveis explicativas; $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_k)'$ é o vetor de coeficientes a serem estimados; $W_1 y_t = (W_1 y_{1t}, \dots, W_1 y_{Nt})'$ é o vetor da variável dependente defasada espacialmente; $W_1 X_t = (W_1 X'_{kt}, \dots, W_1 X'_{Nt})'$ é a matriz que representa a defasagem espacial das variáveis explicativas (alguns elementos de $W_1 X_t$ podem ser nulos, pois nem todas as variáveis explicativas apresentam transbordamentos espaciais); $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_N)'$ é o vetor do intercepto que captura os efeitos fixos de cada unidade espacial; $u_t = (u_{1t}, \dots, u_{Nt})'$ é o vetor do termo de erro autocorrelacionado; $\varepsilon_t = (\varepsilon_{1t}, \dots, \varepsilon_{Nt})'$ é o vetor do termo de erro *i.i.d.* com média zero e variância σ^2 ; W_1 e W_2 são matrizes de ponderação espacial; ρ é chamado parâmetro de defasagem autorregressiva ($-1 < \rho < 1$); λ é chamado parâmetro autorregressivo espacial ($-1 < \lambda < 1$); $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_N)'$ é um vetor de coeficientes das externalidades da regressão.

Pela adição de restrições ao modelo geral, representado na Equação 3.2, é possível obter outros modelos espaciais.

Se $\rho = 0$, $\lambda \neq 0$ e $\gamma = 0$, tem-se o modelo de erro autorregressivo espacial ou *Spatial Error Model* (SEM):

$$y_t = X_t \beta + \mu + u_t \quad (3.4)$$

Se $\rho \neq 0$, $\lambda = 0$ e $\gamma = 0$, tem-se o modelo de defasagem espacial ou *Spatial Autoregressive Model* (SAR):

$$y_t = \rho W_1 y_t + X_t \beta + \mu + u_t \quad (3.5)$$

Se $\rho \neq 0$, $\lambda = 0$, e $\gamma \neq 0$, tem-se o modelo Durbin espacial ou *Spatial Durbin Model* (SDM), com defasagem espacial das variáveis dependente e explicativas:

$$y_t = \rho W_1 y_t + X_t \beta + W_1 X_t \gamma + \mu + \varepsilon_t \quad (3.6)$$

Se $\rho = 0$, $\lambda \neq 0$ e $\gamma \neq 0$, tem-se o modelo de transbordamentos com erro espacial, com defasagem espacial da variável dependente e o termo de erro seguindo um processo espacial auto-regressivo ou *Spatial Autocorrelation Model* (SAC):

$$y_t = X_t \beta + W_1 X_t \gamma + \mu + u_t \quad \text{para } i = 1, \dots, N \text{ e } t = 1, \dots, T \quad (3.7)$$

Pela existência de vários modelos espaciais, o teste do Multiplicador Lagrangiano (LM) é bastante utilizado no processo de seleção do modelo mais adequado, inicialmente desenvolvido por Anselin (1988), é um instrumento para testar a dependência espacial da variável explicada defasada, conforme o modelo SAR ou o modelo SDM.

No entanto, na evolução de seus estudos de construção de testes para modelos de painel espacial, Anselin (2013), destacou que os testes baseados na estimação de Máxima Verossimilhança (ML), o teste de razão de probabilidade ou *Likelihood Ratio* (LR) e o LM robusto, são os mais apropriados para testar se há autocorrelação espacial nos erros. Esses testes foram, também, adaptados para testar os modelos defasados espacialmente. Em suma, eles são utilizados para testar, comparativamente, os modelos de autocorrelação espacial dos erros, tendo, na hipótese nula, o modelo SEM ou o modelo SAR ou SDM. Ademais, segundo Belotti *et al.* (2016), os testes de Wald e LR são assintoticamente quase equivalentes e basicamente chegam à mesma conclusão.

3.3.3.2 Estratégia empírica com efeitos espaciais

Para identificar a presença de autocorrelação espacial nas variáveis da pesquisa, foi utilizada a estatística I de Moran, para a variável interações de doenças respiratórias.

Além disso, as medidas de autocorrelação espacial local ou LISA univariado também foram adotadas.

Primeiramente, foi estimado o modelo econométrico para as interações por doenças respiratórias na Amazônia Legal, sem considerar os efeitos espaciais, com a seguinte especificação, na forma empilhada (modelo básico):

$$\begin{aligned} \ln DOENCA_t = & \alpha_1 + \alpha_2 ZDESM_t + \beta_1 \ln PIB_t + \beta_2 \ln FOR_t + \beta_3 DPOP_t + \\ & \beta_4 URBAN_t + \beta_5 \ln CR_t + \beta_6 \ln GASTOTRANS_t + \beta_7 \ln IND_t + \beta_8 \ln K/L_t + \\ & + \beta_9 \ln EMISSÃO_t + \beta_{10} TEMP_t + \beta_{11} \ln PRECIPITAÇÃO_t + \tau D_t + \mu + u_t \end{aligned} \quad (3.8)$$

Em que: t é o subscrito para o painel de dados corresponde ao ano observado $t=1, 2, \dots, T$, para cada um dos i municípios da região da Amazônia Legal, sendo $i = 1, 2, 3, \dots, 772$; e $t=2000, 2001, \dots, 2019$. Adicionalmente, μ são os efeitos individuais (relacionadas a características do município, praticamente invariantes no tempo, tais como topografia, áreas protegidas, distância a mercados, e outras), D_t é uma variável *dummy* anual para captar os efeitos temporais, u_t é o termo de erro aleatório, α_1 e α_2 e $\beta_1, \dots, \beta_{11}$ são parâmetros a serem estimados.

O modelo sem correção para efeitos espaciais especificado acima (modelo básico – Equação 3.8) será estimado pelo método de efeitos fixos e efeitos aleatórios, e por MQO com dados combinados (*pooled*). Os critérios de avaliação serão os testes de Breusch-Pagan, F e Hausman.

Para verificar a presença de efeitos de dependência espacial, bem como descrever estes efeitos no modelo econométrico, seguindo Anselin (1988), é necessário definir, previamente, uma matriz de pesos espaciais, conhecida como W . Isto é, W é uma matriz simétrica em que cada elemento W_{ij} é igual a 1 se i e j são vizinhos e iguais à zero no caso contrário. Por convenção, os elementos diagonais são iguais à zero, ou seja, $W_{ij} = 0$.

A literatura lista diversos modos de se construir a matriz de pesos espaciais, porém os tipos Rainha (*Queen*) e Torre (*Rook*) são as mais utilizadas. De acordo com Haddad e Pimentel (2004), a matriz rainha é mais robusta, pois considera vizinhas duas regiões que apresentam fronteiras comuns, além de nós (vértices) mais habituais, ou seja, compartilham o mesmo lado ou o mesmo vértice com a região de interesse. Já a matriz torre por definição é mais simples, considerando regiões vizinhas tão somente às regiões que possuem uma fronteira em comum.

Desse modo, a matriz de pesos espaciais W será escolhida com base na avaliação da autocorrelação espacial dos resíduos do modelo básico, seguindo o procedimento de Almeida (2012), que sugere que a escolha da matriz espacial seja sobre aquela capaz de captar maiores efeitos espaciais nos resíduos. Assim, a comparação é feita pela estatística I de Moran obtidas com o uso das matrizes de ponderação espacial baseadas na distância, distância inversa, distância inversa ao quadrado, matrizes de contigüidade (torre e rainha), além das matrizes de k -vizinhos.

Os modelos de dados em painel com dependência espacial serão testados nas seguintes especificações, com base nas Equações (3.4) a (3.7):

a) Modelo (1) de defasagem espacial (SAR), na forma reduzida:

$$\ln DOEN\dot{C}A_t = \rho W_1 DOEN\dot{C}A_t + \alpha_1 + \alpha_2 z DESM_t + z_t \beta_k + \tau D_t + \mu + u_t \quad (3.9)$$

Em que: $W_1 DOEN\dot{C}A_t$ é variável dependente defasada espacialmente pela matriz de pesos espaciais W_1 e z_t corresponde ao vetor com k variáveis regressoras adicionais a variável desmatamento.

Tendo em vista a endogeneidade da variável defasada espacialmente, $W_1 DOEN\dot{C}A_t$, esta especificação de modelo será estimada pelo estimador *within*, utilizando como variáveis instrumentais as variáveis explicativas defasadas espacialmente pela matriz W_1 .

b) Modelo (2) de erro espacial (SEM):

$$\ln DOEN\dot{C}A_t = \rho W_1 DOEN\dot{C}A_t + \alpha_1 + \alpha_2 z DESM_t + z_t \beta_k + \tau D_t + \mu + u_t \quad (3.10)$$

$$u_t = \lambda W_2 u_t + \varepsilon_t$$

Em que $W_2 u_t$ é o termo de erro defasado espacialmente.

c) Modelo (3) de Durbin espacial (SDM):

$$\ln DOEN\dot{C}A_t = \rho W_1 DOEN\dot{C}A_t + \alpha_1 + \alpha_2 z DESM_t + z_t \beta_k + W_1 z_t \gamma_k + \tau D_t + \mu + u_t \quad (3.11)$$

d) Modelo (4) com defasagem espacial do erro e transbordamentos espaciais (SAC):

$$\ln DOENÇA_t = \rho W_1 DOENÇA_t + \alpha_1 + \alpha_2 Z DESM_t + Z_t \beta_k + W_1 Z_t \gamma_k + \tau D_t + \mu + u_t \quad (3.12)$$

$$u_t = \lambda W_2 u_t + \varepsilon_t$$

A técnica de estimação adotada foi o método de ML³, pois esta é uma metodologia bem conhecida com a utilização de uma função de verossimilhança bem comportada para a relação entre variáveis dependentes e explicativas. Além disso, o método ML aplicado quando os números de ambos os períodos de tempo e unidades espaciais são grandes, fornece estimativas consistentes para os coeficientes, o que é válido nessa pesquisa (YU *et al.*, 2008).

Por fim, a escolha do modelo foi obtida com a aplicação de uma série de testes Wald, seguindo a estratégia de LeSage e Pace (2009) e Elhorst (2010) para examinar se o modelo SDM foi a especificação preferida entre o conjunto de modelos de painéis já mencionados.

3.4 Condicionantes das internações de doenças respiratórias na Amazônia Legal

Partiu-se pelas estatísticas descritivas das variáveis de estudo, posteriormente, realizaram as regressões dos modelos econométricos que consideram a heterogeneidade espacial dos parâmetros, por meio de regimes espaciais distintos (seção 3.3.1 e subseções). Por fim, são verificados os testes de robustez.

A Tabela 3.1 sintetiza as estatísticas de média, desvio padrão, valores mínimos e máximos de cada variável da pesquisa. Assim, destaca-se DOENÇA que compreende a variável de resultado a ser avaliada. Em seguida, estende a análise para as variáveis explicativas que foram utilizadas. Desse modo, essas últimas representam uma ampla gama de variáveis econômicas, sociais e ambientais que suprem adequadamente às necessidades de variáveis independentes para o modelo testado.

Quanto a DOENÇA, o valor médio registrado foi de 258 internações com valores mínimos e máximos iguais a 0 e 14.420 respectivamente. No que tange aos dados referentes ao desmatamento, tem-se que o valor médio registrado foi de 17,8 km² o incremento anual de

³ Este método tem sido amplamente aplicado na estimação de modelos espaciais para painel (ver ORD, 1975; LEE, 2004; BAO; ULLAH, 2007; ELHORST; FRÉRET, 2009; KOROGLU; SUN, 2016; LEE; YU, 2016;).

áreas desmatadas, com valores mínimos e máximos iguais a -442,9 km² (isto é, reflorestamento) e 1.561 km², respectivamente. Em relação à área de florestas, o valor médio observado foi de 4.979 Km², com valores mínimos e máximos iguais a 6,98 km² e 154.382 km², respectivamente.

Tabela 3.1 – Estatísticas das variáveis dependente e explicativas investigadas-Amazonia Legal- 2000-2019

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
DOENCA	258	667,4	0	14.420
DESM	17,80	57,12	-442,9	1.561
FLO	4.979	12.705	6,98	154.382
DPOP	26,76	140,7	0,01	2.933
IND	140.499,3	1.180.810	148,75	3,51e+07
PIB <i>per capita</i>	16.555	19.224	1.595	312.968
URBAN	56,60	19,90	1,56	99,76
K/L	9.815	60.067	0,007	1,894e+06
TEMP	26,52	1,07	22,01	29,88
PRECIP	1.701	531,6	433,6	6.098
EMISSION	26.481	187.566	0,14	6,796e+06
CR	2,14e+07	5,21e+07	1.447,28	8,69e+08
GASTOTRAN	2.136.435	8.002.591	83,65	3,66e+08
N	15440			
I	772			
T	20			

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 3.3.2 (2022).

Para densidade populacional, o valor médio foi de 26,76, isto é, quanto maior essa taxa, maior o número de habitantes por km², com valores mínimos e máximos iguais a 0,01 e 2.933, respectivamente. Em relação ao percentual da população urbana, o valor médio observado foi de 56,6% do total de residentes, com valores mínimos e máximos iguais a aproximadamente 2% e 99,76%, respectivamente.

Para o valor bruto adicionado industrial do PIB, o valor médio foi de R\$ 140.499,00 com valores mínimos e máximos iguais a R\$ 148,75 e R\$ 3,5 milhões, respectivamente. No que tange o PIB *per capita*, tem-se que o valor médio registrado foi de R\$ 16.555,08, com valores mínimos e máximos iguais a R\$ 1.594,6 e R\$ 312.968,4, respectivamente.

Para a relação K/L, o valor médio registrado foi de R\$ 9.814,78, com valores mínimos e máximos iguais a R\$ 0,00 e R\$ 1.893.794,00, respectivamente. Já o crédito rural apresentou média de R\$ 2,14 milhões, com valores mínimos e máximos iguais a R\$ 1.447,28 mil e R\$ 86,9 milhões, respectivamente. Para os gastos com transporte apresentaram média de

R\$ 2,14 milhões, com valores mínimos e máximos iguais a R\$ 83,00 e R\$ 36,6 milhões, respectivamente.

Em relação à emissão GEE, a média foi de 26.481,3 mil toneladas, com valores mínimos e máximos iguais a 0,14 e 6.795.914,00 toneladas, respectivamente. No que tange à temperatura, para o valor médio observado foi de 26,52 ° C, com valores mínimos e máximos iguais a 22, 01°C e 29,88 ° C, respectivamente. Já a precipitação registrou o valor médio de 1.701,27 mm, com valores mínimos e máximos iguais a 433,63 e 6.098,46 mm, respectivamente.

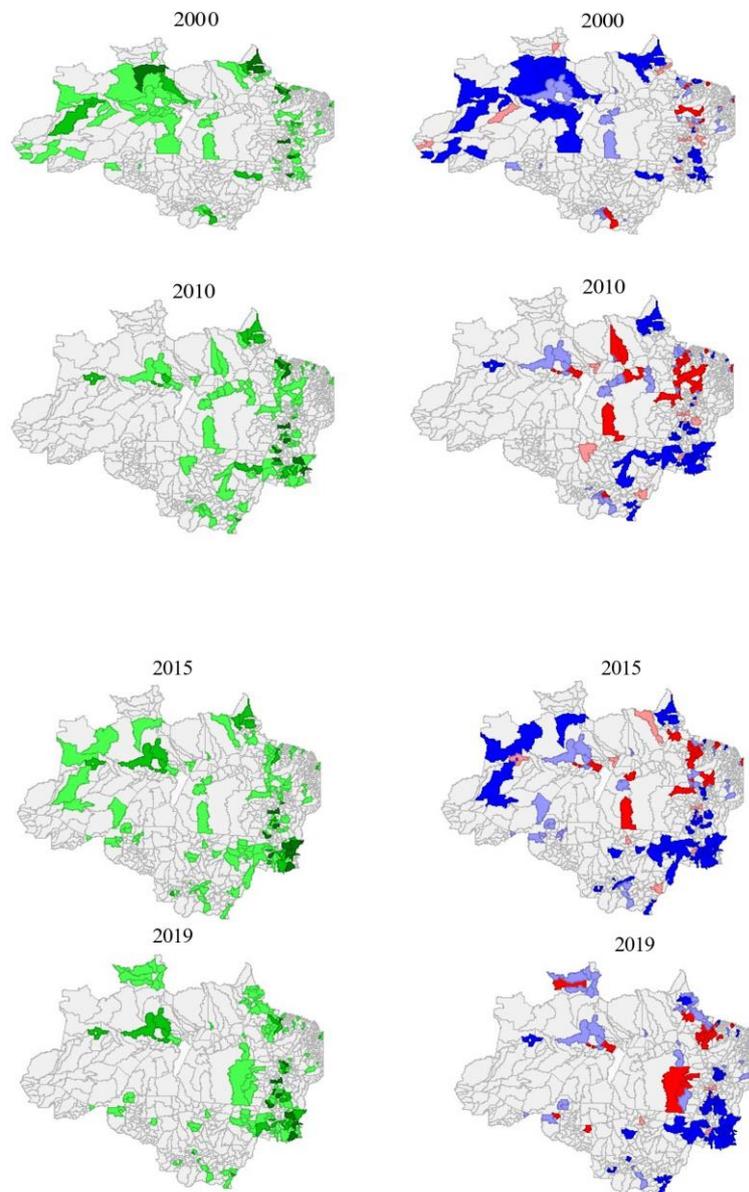
Com base na seção 3.3.3.2, a escolha da matriz de pesos espaciais seguiu o procedimento Almeida (2012) adaptado para comparar o *I* de Moran obtidos com o uso das matrizes de ponderação espacial baseadas na distância, distância inversa, distância inversa ao quadrado, matrizes de contigüidade (torre e rainha), além das matrizes de *k*-vizinhos. Contudo, a matriz de pesos espaciais do tipo rainha foi a que apresentou resultados mais significativos com a regressão, sendo a matriz utilizada nas estimações dessa pesquisa.

Para verificar se existem padrões de associação espacial localizados (*clusters*) para as internações de doenças respiratórias anual dos municípios da Amazônia Legal, foi calculado o *I* de Moran local (LISA), apresentado nos mapas de significância e mapas de *clusters* na Figura 3.2.

Na Figura 3.2, observou-se uma grande semelhança entre os mapas de *clusters* ao longo dos períodos. Dois padrões de associação local para as internações de doenças respiratórias foram mais evidentes, para todos os períodos analisados, encontram-se principalmente na região denominada “Arco do Povoamento Adensado” (faixa que se estende de sudoeste a nordeste, abrangendo parte dos estados de Rondônia, Mato Grosso, Maranhão e parte do Pará) e Amazônia Central. O primeiro padrão de associação local é do tipo Alto-Alto (indicado pela cor vermelha), ou seja, municípios com elevados valores nas internações de doenças respiratórias estão circundados por municípios que também apresentam alta número de internações.

O outro padrão de associação local do tipo Baixo-Baixo (indicado pela cor azul escuro), ou seja, são municípios com baixos valores no número de internações de doenças respiratórias rodeados por municípios com poucas internações, alguns desses municípios estão localizados relativamente próximos ao *cluster* Alto-Alto, na porção sudoeste da Amazônia Legal.

Figura 3.2 – Mapas de significância LISA e mapas de *clusters* para as internações de doenças respiratórias anual dos municípios da Amazônia Legal, 2000-2019*



Legenda:

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 3.3.2 (2022).

Nota:*A seleção de 5 anos foi adotada para resumir o período de tempo analisado de 2000 a 2019.

Após a identificação da presença de autocorrelação espacial, por intermédio dos resultados obtidos pelo Índice de Moran local, é preciso agora selecionar o modelo

econométrico mais adequado. A estratégia sugerida por Anselin (2005) depende dos indicadores que resultam da aplicação do MQO. Dessa forma, a matriz de ponderação espacial utilizada para confecção do modelo econométrico espacial selecionada, dentre várias testadas, é a do tipo Rainha ou *Queen*.

Os modelos estimados são os relacionados na seção 3.3.3.2, a saber: (0) modelo sem correção para dependência espacial, (1) modelo de defasagem espacial (SAR), (2) modelo de erro espacial (SEM), (3) modelo de Durbin espacial (SDM), e (4) modelo de erro espacial e transbordamentos espaciais (SAC).

O modelo (0) sem correção para dependência espacial, considerado o modelo-base, foi estimado por: 1) MQO com os dados combinados (*pooled OLS*); 2) considerando efeitos aleatórios em dados em painel por meio do Mínimos Quadrados Generalizados (MQG); e 3) considerando efeitos fixos por meio do estimador *within*. A Tabela 3.2 apresenta os resultados obtidos para estas estimações, bem como os resultados para os testes *F* e Hausman.

Tabela 3.2 – Resultados dos modelos estimados para a Amazônia Legal (sem correção para dependência espacial), 2000-2019

Variável dependente:	Modelo MQO	Modelo de efeitos aleatórios	Modelo de efeitos fixos
lnDOENÇA			
zDESM	0,0652***	0,0527***	0,0254***
lnFLO	0,145***	0,203***	0,423***
DPOP	0,276***	0,254***	0,0963***
IND	0,443***	0,181***	0,0478***
lnPIB <i>per capita</i>	-0,753***	-0,271***	-0,148***
URBAN	-0,0007	0,0042***	0,0026**
lnK/L	-0,0995***	-0,0560***	-0,0461***
TEMP	-0,0512***	-0,0881***	-0,116***
lnPRECIP	0,0415	-0,0668	-0,182***
lnEMISSAO	0,0798***	0,0170***	0,0035
lnCR	0,141***	0,0380***	0,0166***
lnGASTOTRAN	0,0364***	0,0113***	-0,0005
Const	4,441***	5,584***	6,598***
Prob>F	0,0000	0,0000	0,0000
I Moran Global da regressão	5,1842***	3,2179***	3,0309***
Breusch-Pagan	9.216,1***	5.982,2***	5.704,4***
Jarque-Bera	518,42***	4.951,8***	6.885,3***
R ²	0,5813		
R ² ajustado	0,581		
AIC	43.393,74	31.984,81	31.704,12
Teste de Hausman			1.589,2***

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 3.3.2 (2022).

Nota: * *p*-valor <0,10; ** *p*-valor <0,05; *** *p*-valor <0,01.

De acordo com a Tabela 3.2, o modelo que considera efeitos não-observados mostrou-se mais adequado do que o estimado por MQO, isto é, ao não considerar os efeitos não-observados, as estimativas por MQO são inconsistentes e enviesadas. Ademais, o modelo de efeitos aleatórios foi comparado ao modelo estimado por efeitos fixos por meio do teste de Hausman. A hipótese nula do teste de que não há diferença sistemática nos coeficientes estimados pelos dois métodos (e, portanto, as estimativas por efeitos aleatórios seriam consistentes), é rejeitada com 1% de significância. Assim, o modelo estimado por efeitos fixos mostrou-se mais adequado do que o modelo de efeitos aleatórios. Além disso, quando comparado com o modelo estimado por MQO, o modelo estimado por efeitos fixos apresenta um menor valor para o critério de informação de Akaike (43.393,74 contra 31.704,12 respectivamente), indicando um melhor ajuste deste último modelo.

Em relação aos testes de Breusch-Pagan e Jarque-Bera, importantes para a escolha do modelo, diagnosticou-se que não se aceita a hipótese nula de homocedasticidade e a de que os resíduos não seguem uma distribuição normal, respectivamente. Além disso, para detecção da autocorrelação espacial na regressão, testaram-se os resíduos para autocorreção espacial por meio do I Moran Global da Regressão. Observou-se que ele é significativo a 1%, indicando que há presença de efeitos espaciais nas variáveis de interesse. Desse modo, o uso de modelos espaciais para estudo do fenômeno foi mais adequado.

Portanto, mostrou-se relevante a estimação de modelos com correção para a dependência espacial. Esses modelos serão estimados por ML, considerando os efeitos fixos e espaciais. Além disso, todos os modelos são estimados com a matriz de variância e covariância robustas de White consistentes com heterocedasticidade e autocorrelação.

No entanto, mesmo os modelos MQO e de efeitos apresentarem na grande maioria dos coeficientes das variáveis explicativas significantes, a escolha ideal parte para a estimação dos parâmetros do modelo econométrico espacial pelo método de defasagem espacial ou erro espacial.

A Tabela 3.3 apresenta os resultados das estimações de (1) modelo de defasagem espacial (SAR), (2) modelo de erro espacial (SEM), (3) modelo de Durbin espacial (SDM) e (4) modelo de erro espacial e transbordamentos espaciais (SAC).

Primeiramente, pelos testes de Hausman presentes na Tabela 3.3, rejeitaram-se a hipótese nula, ou seja, sendo modelos de efeitos fixos mais adequados que os modelos de efeitos aleatórios. Desse modo, não são apresentados esses últimos.

Tabela 3.3 – Resultados dos modelos estimados para a Amazônia Legal (com correção para dependência espacial), 2000-2019

Variável dependente:	Modelo (1)	Modelo (2)	Modelo (3)	Modelo (4)
lnDOENÇA	SAR	SEM	SDM	SAC
zDESM	0,0182	0,00846	-0,00612	0,0171*
lnFLO	0,148	0,0184	-0,426*	0,136
DPOP	0,107***	0,0993***	0,101***	0,0892***
IND	0,0338	0,0398*	0,0353	0,0248
lnPIB <i>per capita</i>	-0,0728	-0,0802	-0,0612	-0,0538
URBAN	0,0024	0,0020	0,0017	0,0022
lnK/L	-0,0384***	-0,0348***	-0,0337***	-0,0349***
TEMP	-0,0206	-0,0259	-0,0236	-0,0122
lnPRECIP	-0,101*	-0,119	-0,0599	-0,0705*
lnEMISSAO	0,0180	0,0123	0,0111	0,0177*
lnCR	0,0220**	0,0285***	0,0352***	0,0167*
lnGASTOTRAN	-0,0033	-0,0034	-0,0040	-0,0026
WzDESM			0,0536***	
WlnFLO			1,141***	
WDPOP			0,0453	
WIND			-0,0200	
WlnPIB <i>per capita</i>			-0,0206	
WURBAN			0,00548	
WlnK/L			-0,0230	
WTEMP			0,00500	
WlnPRECIP			-0,0797	
WlnEMISSAO			0,0580**	
WlnCR			-0,0474***	
WlnGASTOTRAN			0,000569	
ρ	0,394***		0,377***	0,694***
λ		0,397***		-0,502***
Observações	15.440	15.440	15.440	15.440
AIC	28.662,17	28.692,98	28.532,07	28.470,53
Teste de Hausman	458,67***	592,22***	261,17***	539,84***

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 3.3.2 (2022).

Nota: * p -valor <0,10; ** p -valor <0,05; *** p -valor <0,01.

O modelo (1) de defasagem espacial apresenta como significativas os coeficientes das variáveis densidade populacional, relação K/L, precipitação e crédito rural. O ajuste do modelo apresenta melhora em relação ao modelo-base, pois apresenta um menor valor para o critério de informação de Akaike ($28.662,17 < 31.704,12$). Ademais, o coeficiente de defasagem espacial ρ se apresentou significativo. Assim, indicou a ausência de autocorrelação espacial, mostrando que a inclusão da variável defasada espacialmente foi suficiente para a correção da dependência espacial.

O modelo (2), de erro espacial, apresenta coeficientes das variáveis significativas: densidade populacional, IND, relação K/L, e crédito rural. Além disso, o parâmetro (λ) relativo ao erro espacial, com sinal positivo e significativo. O valor do AIC para este modelo é inferior ao encontrado para o modelo-base ($28.692,98$ e $31.704,12$, respectivamente), indicando um melhor ajustamento dos dados proporcionado pelo modelo de erro espacial.

O modelo (3), modelo de Durbin espacial, apresenta coeficientes significativos: área de floresta, densidade populacional, relação K/L, e crédito rural. Além disso, são significativos os coeficientes das variáveis defasadas espacialmente: desmatamento, área de floresta, emissão e crédito rural, indicando a presença de transbordamentos espaciais. O coeficiente de defasagem espacial, ρ , é significativo. O valor de AIC encontrado ($28.532,07$) foi mais baixo que o modelo base de efeitos fixos.

Por fim, o modelo (4), modelo de erro espacial e transbordamentos espaciais, apresenta coeficientes significativos: desmatamento, densidade populacional, relação K/L, precipitação, emissão e crédito rural. Além disso, o parâmetro λ do termo de erro espacial e o coeficiente de defasagem espacial, ρ , são significativos sendo negativo e positivo respectivamente. O valor do AIC é o menor entre todos os modelos para os quais este critério de informação foi calculado ($28.470,53$).

O desafio agora é a seleção do modelo mais adequado. Para isso, seguiu-se a estratégia descrita em LeSage e Pace (2009) e Elhorst (2010), a investigação deve-se iniciar como o modelo SDM e testá-lo com modelos alternativos. Ou seja, estima-se o modelo SDM, e testa-o para saber se ele é ou não o melhor modelo para ser utilizado.

De início, testaram-se as especificações entre os modelos SDM com os modelos SAR e SEM. Isto porque o modelo SDM pode ser facilmente derivado a partir de um SEM, isto é, se $\lambda = 0$ e $\rho \neq 0$ o modelo é um SAR, enquanto se $\lambda = -\beta\rho$ o modelo é um SEM. Após a estimativa do SDM, podem ser realizados testes Wald explorando o vetor de coeficientes estimados. Os resultados desses testes são apresentados no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Testes Wald para seleção do modelo espacial, Amazônia Legal, 2000-2019

Comparações	χ^2	P-valor	AIC
SDM x SAR	30,78	0,0021	-
SDM x SEM	34,97	0,0005	-
SDM x SAC	-	-	(28.532,07 > 28.470,53)

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 3.3.2 (2022).

Na comparação, entre os modelos SDM x SAR, com p-valor (Prob > $\chi^2 = 0,0021$), rejeitou-se a hipótese nula, isto é, o modelo SDM é mais adequado. Do mesmo modo, ao se comparar os modelos SDM X SEM, o p-valor (Prob > $\chi^2 = 0,0005$) rejeitou-se a hipótese nula, isto é, o modelo SDM, também foi o mais adequado.

Por fim, ainda no Quadro 3.4, ao se comparar com o modelo SAC deve-se observar os resultados dos testes de Critério de Informação de Akaike (AIC). Como resultado, o modelo SAC apresentou AIC igual a 28.470,53, sendo inferior ao AIC do modelo SDM (28.532,07). Portanto, o modelo mais adequado identificado foi o SAC.

Com a seleção do modelo 4 (SAC) mais adequado, na Tabela 3.3, identificou a existência de fortes interações espaciais nas internações por doenças respiratórias. Ou seja, o fenômeno modelado neste estudo requer que a dependência espacial seja manifestada tanto na forma de defasagem da variável dependente, quanto na forma de erros autocorrelacionados espacialmente. O parâmetro de defasagem espacial (ρ) é significativo e positivo, indicando que as internações por doenças respiratórias, em determinado município, são influenciadas diretamente pelas internações nos municípios vizinhos. Por outro lado, o termo do erro auto-regressivo espacial (λ), negativo e significativo, indica que efeitos não modelados apresentam uma autocorrelação espacial negativa, isto é, efeitos desconhecidos reduzem as internações por doenças respiratórias em determinado município, influenciadas pelos municípios vizinhos.

Em relação à DESM, como indicador que influencia as internações por doenças respiratórias, observou-se que seu efeito foi positivo. Isto é, seu incremento aumenta o número de internações (DOENÇA). Desse modo, o desmatamento torna-se muito útil para a avaliação do avanço das atividades agrossilvipastoris, da ocupação do homem e seu poder de artificialização do meio ambiente em geral. Somam-se, ainda, os significativos focos de incêndios na região.

Assim, além dos efeitos para o bioma amazônico, o desmatamento e as queimadas têm impactos diretos e indiretos sobre a saúde humana, afetando de forma especialmente severa a saúde das populações da Amazônia (HACON *et al.* 2021).

Em relação às variáveis demográficas que influenciam as internações por doenças respiratórias, a densidade populacional, DPOP, apresentou efeito positivo. Nesse sentido, supondo aumento na densidade populacional haverá incremento nas internações de doenças respiratórias. Ao contrário de Rupasingha *et al.* (2004) o incremento da densidade demográfica estaria relacionado a menores níveis de degradação ambiental. Isto talvez se deve ao nível de densidade demográfica, pois a amazônia apresenta valores populacional menores ao se comparar com área de estudo dele nos Estados Unidos. Nesse caso, o incremento populacional exigiria mais recursos florestais, assim, esse efeito também foi observado em (PERZ; SKOLE, 2003; RUDEL *et al.*, 2005; EHRHARDT-MARTINEZ *et al.*, 2002).

Em relação às variáveis econômicas que influenciam as internações por doenças respiratórias, a razão capital por trabalho, K/L, apresentou efeito negativo. Isto é, aumentando-se a razão capital-trabalho reduzirá as internações. Nessa perspectiva o incremento do capital pode levar a criação de empregos com melhor remuneração em setores não agrícolas, o que pode contribuir para menos desmatamento com trabalhadores e agricultores abandonando a agricultura em favor de salários mais estáveis em outros setores como serviço ou indústria. O efeito do capital e da produção é consistente com a literatura econômica (BARBIER; BURGESS, 2001; KOOP; TOLE, 2001; KLOOSTER, 2003; MATHER, 2004).

As emissões de GEE residenciais, industriais e de transportes apresentaram efeitos positivos, isto é, supondo um aumento na emissão de gases eleva as internações por doenças respiratórias. Nesse sentido, a poluição ambiental é causada pelo consumo de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo, gás natural, etc. Assim, observou-se a existência de uma relação positiva e significativa entre o consumo de energia e os níveis de poluição, e conseqüentemente, no número de internações. Essa relação na literatura registrou resultados positivos ou negativos (JALIL; MAHMUD, 2009; YUAN; GUO; SUN, 2012; QIN; YU, 2016; IAP, 2020).

Já a variável precipitação apresentou efeitos negativos, isto é, supondo um aumento no volume de chuvas reduz as internações por doenças respiratórias. Esse fato é coerente com o ciclo das queimadas na Amazônia que é observado no período de seca (de julho a outubro, com pico em setembro), com graves impactos sociais, ambientais, e principalmente na saúde humana (HACON *et al.* 2021).

De acordo com os mesmos autores, em períodos de seca, observa-se um aumento significativo da demanda pelos serviços de atenção básica e internações por doenças respiratórias e cardiovasculares, com agravamento do quadro clínico, principalmente nos

grupos mais vulneráveis, como gestantes, crianças, idosos, brigadistas, bombeiros, populações tradicionais e pessoas que apresentam doenças respiratórias e cardiovasculares crônicas.

Em relação ao crédito rural, observou-se efeito positivo, isto é, supondo um aumento na concessão de crédito rural eleva as internações por doenças respiratórias. De acordo com Assunção, Gandour e Rocha (2020) encontraram evidências dos efeitos do crédito rural sobre o desmatamento da Amazônia brasileira. Os autores identificaram que a mudança na política (retrição ao crédito rural) promoveu uma redução substancial do desmatamento, principalmente em municípios que têm a pecuária como principal atividade.

Nesse sentido, as atividades no campo mais favorecidas pelo crédito agrícola são agricultura e pecuária. Os resultados revelaram que essa variável tem influência no desmatamento, e conseqüentemente, nas internações por doenças respiratórias. Portanto, observou-se que o crédito contribui indiretamente nas internações. Segundo Assunção, Gandour e Rocha. (2020) em 2008 o governo brasileiro condicionou a concessão de crédito rural na Amazônia sob exigências mais rígidas com objetivo de conter o desmatamento. Por exemplo, o Programa Agricultura de Baixo Carbono – (Programa ABC) e apoio de programas de conservação. No entanto, os mesmos autores mostraram a relação entre crédito e desmatamento, identificaram que foi de maneira diferente entre os municípios e que a produção agrícola no Brasil tem sido menos dependente do crédito, isto é, por diversas melhorias tecnológicas, permitindo à produção crescer intensivamente.

Os modelos de regressão espacial exploram a complicada estrutura de dependência entre unidades, o efeito da mudança de uma variável explicativa para uma unidade específica afetará a unidade em si e, potencialmente, em todas as outras unidades indiretamente. Isso revela a existência de efeitos marginais diretos, indiretos e totais.

O efeito marginal das internações por doenças respiratórias pode diferir entre os municípios como resultado de interações espaciais. A principal diferença entre os impactos diretos e totais é que o primeiro mede o impacto da variação de uma unidade na variável X_k no município i . Em contraste, o impacto total mede o impacto da mesma mudança unitária na variável X_k em todos os municípios. A Tabela 3.4 apresenta os efeitos marginais de longo prazo direto, indiretos e totais. Desse modo, essas interações produzidas por *spillovers* globais levam a um cenário onde mudanças em uma região acionam uma sequência de ajustes em todas as demais regiões da amostra, em que um novo estado estacionário de longo prazo é definido.

Tabela 3.4 – Resultados da mensuração dos impactos do modelo SAC estimado para a Amazônia Legal, 2000-2019

Variável dependente: lnDOENÇA	Coefficientes	Erros Padrões Robustos	Z	P > z
Efeitos diretos Longo Prazo				
zDESM	0,0200*	0,0106	1,890	0,0590
lnFLO	0,150	0,145	1,030	0,302
DPOP	0,104***	0,0349	2,990	0,0030
IND	0,0286	0,0194	1,470	0,140
lnPIB <i>per capita</i>	-0,0597	0,0398	-1,500	0,133
URBAN	0,0025	0,0024	1,040	0,300
lnK/L	-0,0402***	0,0088	-4,550	0,0000
TEMP	-0,0124	0,0178	-0,690	0,489
lnPRECIP	-0,0764*	0,0438	-1,740	0,0810
lnEMISSAO	0,0198*	0,0118	1,670	0,0950
lnCR	0,0197*	0,0105	1,870	0,0620
lnGASTOTRAN	-0,0033	0,0058	-0,570	0,568
Efeitos indiretos Longo Prazo				
zDESM	0,0377*	0,0208	1,810	0,0700
lnFLO	0,285	0,280	1,020	0,309
DPOP	0,194***	0,0664	2,930	0,0030
IND	0,0530	0,0361	1,470	0,142
lnPIB <i>per capita</i>	-0,111	0,0746	-1,480	0,138
URBAN	0,0048	0,0047	1,020	0,306
lnK/L	-0,0749***	0,0168	-4,450	0,0000
TEMP	-0,0229	0,0331	-0,690	0,490
lnPRECIP	-0,142*	0,0817	-1,730	0,0830
lnEMISSAO	0,0392*	0,0229	1,650	0,099
lnCR	0,0365*	0,0194	1,880	0,0600
lnGASTOTRAN	-0,0063	0,0110	-0,570	0,568
Efeitos totais Longo Prazo				
zDESM	0,0577*	0,0313	1,850	0,0650
lnFLO	0,435	0,424	1,020	0,306
DPOP	0,299***	0,100	2,980	0,0030
IND	0,0816	0,0553	1,480	0,140
lnPIB <i>per capita</i>	-0,171	0,114	-1,500	0,135
URBAN	0,0073	0,0071	1,030	0,303
lnK/L	-0,115***	0,0251	-4,590	0,0000
TEMP	-0,0352	0,0509	-0,690	0,489
lnPRECIP	-0,218*	0,125	-1,740	0,0810
lnEMISSAO	0,0569*	0,0346	1,650	0,0950
lnCR	0,0561*	0,0298	1,880	0,0600
lnGASTOTRAN	-0,0096	0,0168	-0,570	0,568

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 3.3.2 (2022).

Nota: * p -valor <0,10; ** p -valor <0,05; *** p -valor <0,01.

Na Tabela 3.4, observou-se que a variável desmatamento, apresentou um efeito positivo na variável internações por doenças respiratórias, com impacto maior nos efeitos indiretos (0,04), enquanto o efeito realimentador direto impacta nos seus municípios vizinhos (0,02). Os resultados apontados, destacaram à relação positiva dos efeitos das variáveis densidade populacional, emissão e crédito rural. Isto é, essas variáveis geram efeitos no próprio município e nos vizinhos ampliando o número de internações por doenças respiratórias, sendo, nesse caso, o efeito indireto maior que o efeito direto. Em relação às variáveis relação capital-trabalho e precipitação, apresentaram efeitos negativos, isto é, reduzem as internações tanto no mesmo município quanto em municípios vizinhos, também se verificaram que os efeitos indiretos são maiores que os diretos.

Esta pode ser considerada a primeira análise que apresenta a correlação das internações por doenças respiratória com o maior número de variáveis possíveis, para todos os municípios na área da Amazônia Legal, no Brasil. Geralmente, a maioria das pesquisas concentra-se na análise de recortes espaciais ‘isolados’, por exemplo, estados, municípios, terras indígenas ou Unidades de Conservação (SPEKTOR *et al.*, 1991; CANÇADO *et al.*, 2006; BRAGA *et al.*, 2007; IGNOTTI *et al.*, 2007, ROSA *et al.*, 2008, MASCARENHAS *et al.* 2008; ARBEX *et al.*, 2014; REDDINGTON *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2016; ANDRADE *et al.*, 2017; VORMITTAG *et al.*, 2018; ISS, 2019; ALVES, 2019; HACON *et al.*, 2021).

Classificadas como socioeconômicas, ecológicas e climáticas, 12 variáveis, foram utilizadas. Essas variáveis foram definidas de acordo com a literatura, observou-se que a maioria respondeu para a ocorrência das internações por doenças respiratórias positiva ou negativamente.

Conforme descrito anteriormente, foram encontradas evidências robustas de que as internações por doenças respiratórias respondem às mudanças, principalmente, negativas relacionadas às variáveis razão capital-trabalho e precipitação, e positivas com desmatamento, densidade populacional, emissão GEE e crédito rural.

Os resultados obtidos por meio do Mapa LISA indicaram o agrupamento de áreas desmatadas na região sul da Amazônia Legal. Esta área coincide com os estados que ocupam o topo da lista daqueles com as áreas mais desmatadas da Amazônia, Pará (34,46%), Mato Grosso (32,34%) e Rondônia (13,76%) (INPE/TERRABRASILIS, 2021). Além disso, essa região está compreendida na área comumente chamada de “arco do desmatamento” (FEARNSIDE, 2017; GARCIA *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2019). Ademais, segundo Fearnside (2017) aproximadamente 80% da perda de floresta na Amazônia brasileira ocorreu

no “arco do desmatamento”, que é uma faixa em forma de meia-lua ao longo das bordas sudoeste da floresta.

Na Amazônia vários estudos analisaram os custos da poluição para o sistema de saúde e os impactos da mesma na saúde humana, principalmente em crianças e idosos (ROSA *et al.*, 2008; JACOBSON *et al.*, 2014; MACHIN *et al.*, 2019; HRW; IPAM; IEPS, 2020). Em outras palavras, os resultados aqui encontrados reforçam que é necessária uma política voltada para a contenção do desmatamento, principalmente na área denominada arco do desmatamento, com isso, melhoraria as condições ambientais e conseqüentemente a saúde humana.

Testaram-se os resultados para o modelo MQO. No entanto, a suposição de que os resíduos eram independentes não foi satisfeita. Além disso, identificou a presença de efeitos espaciais, e para preencher esta lacuna, os modelos espaciais foram usados.

Desse modo, o modelo espacial utilizado (SAC) apontou que os efeitos de transbordamento espacial podem afetar as internações por doenças respiratórias devido às variações nas variáveis explicativas. A estimativa empírica fornece evidências significativas de interdependência espaço-temporal nas internações. As variáveis desmatamento, densidade populacional, razão capital-trabalho, precipitação, emissão e crédito rural determinam significativamente o número de internações. No entanto, o “espaço” desempenha um papel moderador para a promoção do real efeito dessas variáveis. Assim, um importante resultado encontrado reside ao fato que desconsiderar efeitos de transbordamento espacial leva a uma superestimação dos efeitos reais das variáveis explicativas. Como resultado, na ausência do componente ‘espaço’, leva a uma estimativa inconsistente das internações por doenças respiratórias ao longo do tempo analisado. Além disso, as evidências dos efeitos espaciais significativos encontrados aqui, tanto direto, indiretos e totais estão a favor das descobertas atuais das internações por doenças respiratórias. E por fim, identificaram-se fatores desconhecidos que vem contribuindo para a redução das internações. Essa pesquisa pode ser vista como um primeiro passo para a identificação de condicionantes do número de internações por doenças respiratórias.

Os resultados deste estudo evidenciam o impacto à saúde e a perda da qualidade de vida e bem estar das populações amazônicas, sem levar em consideração o elevado impacto econômico das doenças respiratórias para o SUS, que de acordo com Hacon *et al.* (2021) é próximo a um bilhão de reais gastos na última década (2010-2020) nessa região. Além disso, a exposição a partículas em suspensão no ar é um importante fator de risco para o adoecimento e morte por doenças respiratórias, com aumento da mortalidade geral de

indivíduos com comorbidades, mortes prematuras, e baixo peso ao nascer (ORTEGA-GARCIA *et al.*, 2018), câncer de pulmão, doença cardíaca, infarto do miocárdio e acidente vascular cerebral (UZOIGWE *et al.*, 2013; DONG *et al.* 2018), mais recentemente, diabetes tipo 2 (ANGHORBANI *et al.* 2014; SUN e ZHU, 2019), e perda da função cognitiva. Nenhum desses agravantes não respiratórios foram analisados nesse estudo. Dessa maneira, o elevado custo financeiro do estado com hospitalizações de baixa e alta complexidade por doenças do aparelho respiratório representa uma pequena parcela dos impactos à saúde, sociais e econômicos decorrentes da poluição do ar na Amazônia brasileira.

3.5 Considerações Finais

Este trabalho investigou os condicionantes das internações por doenças respiratórias para a região da Amazônia Legal, isto é, se o conjunto de variáveis explicativas selecionados tem algum tipo de relação com a variável dependente. Por hipótese, o indicador incremental relevante, neste caso, foi considerado o desmatamento, principalmente seu efeito indireto, expresso pelo incremento anual da área desmatada (em km²), monitorado pelo Sistema Prodes (INPE), para os municípios da região. O estudo abrange o período de 2000 a 2019.

A literatura apontou a importância das diferenças intrarregionais para a compreensão do processo de desenvolvimento da região amazônica, isto é, a importância de sua heterogeneidade, e reforçam a idéia de que as internações por doenças respiratórias não se processam de maneira igual no espaço, além disso, impacta no complexo comportamento das variáveis socioeconômicas, ambientais etc. Este capítulo contribuiu com uma análise econométrico-espacial utilizando um painel de dados mais extenso que os de estudos anteriores, além de tratar a heterogeneidade espacial dos parâmetros por meio de modelos espaciais.

A Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) mostrou a presença de autocorrelação espacial global para as internações por doenças respiratórias na região, em um padrão de concentração. A AEDE indicou a existência de *clusters* do tipo Alto-Alto em parte do Arco do Desmatamento e parte da Amazônia Central. Outros pequenos *clusters* com diferentes padrões de associação foram observados.

Desse modo, a autocorrelação espacial das internações por doenças respiratórias detectada pela AEDE indica a presença de efeitos espaciais na forma de dependência espacial. Os diversos padrões de associação local indicados pela AEDE são levados em consideração

na análise econométrica com dados em painel, com correção para a dependência espacial. Para a análise econométrica, além do número de internações por doenças respiratórias e do incremento do desmatamento anual, outras variáveis explicativas, relatadas em literatura como condicionantes da primeira, foram incluídas no modelo: área de floresta, densidade populacional, IND, PIB *per capita*, percentual da população urbana, razão capital-trabalho, temperatura média, precipitação, emissão de GEE, crédito rural e gastos com transporte.

A análise econométrica parte de um modelo global para as internações por doenças respiratórias, iniciou-se ignorando os efeitos espaciais, assim a estimação por efeitos fixos mostrou-se a mais apropriada. Posteriormente, considerando os efeitos espaciais, vários modelos espaciais foram estimados alternativamente, e o que melhor se ajustou aos dados (com base no menor valor de AIC) foi o modelo SAC, após seguir todos os procedimentos padrões da literatura.

Neste último, verificou-se que as internações por doenças respiratórias foram explicadas pelas variáveis independentes desmatamento, densidade populacional, emissão de GEE e crédito rural com coeficientes positivos, enquanto, razão capital-trabalho e precipitação foram negativos. Por um lado, supondo um aumento nas primeiras variáveis, ocorrerá aumento no número de internações por doenças respiratórias. Por outro lado, supondo um aumento no segundo grupo de variáveis levará a redução no número de internações. Além disso, observou-se que outros fatores desconhecidos impactam negativamente as internações. Por fim, apresentou esses efeitos de maneira direta e indireta, e constatou-se que a presença dos municípios vizinhos se mostrou significativa.

Concluindo, este ensaio contribui para a compreensão das internações por doenças respiratórias na Amazônia Legal como um processo heterogêneo no espaço. As relações encontradas são desigualmente distribuídas na região com base nos coeficientes locais estimados. As causas dela também apresentam variabilidade espacial. A metodologia adotada mostrou-se especialmente adequada para captar os aspectos espaciais envolvidos nessa relação. Por fim, acredita-se que os estudos e políticas para a Amazônia brasileira devam considerar sobretudo estas diferenças intrarregionais existentes. Como sugestão para abordagem do espaço amazônico em estudos futuros, pode-se pensar a região dividida da seguinte maneira: a Amazônia Ocidental pode ser considerada como um todo; o Arco do desmatamento pode ser dividido em nível de estados; e a Amazônia Central, pela variabilidade espacial que apresenta em seu interior, poderia ser tratada em um nível mais detalhado (mesorregiões ou microrregiões).

4 DESMATAMENTO E SAÚDE HUMANA: PREDITORES ESPACIAIS PARA AS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NA AMAZÔNIA LEGAL

4.1 Introdução

Com destaque mundial em desmatamento tropical, o Brasil viu a degradação da Amazônia aumentar entre os anos de 2019 e 2020 (SILVA *et al.*, 2020, 2021; DANG *et al.*, 2019). Todos os biomas brasileiros tiveram perdas em sua cobertura florestal, no período de 2000 a 2018, totalizando cerca de 500 mil km², o equivalente ao território da Espanha, ou duas vezes o território do Estado de São Paulo (ou aproximadamente o tamanho do Estado da Bahia). Em destaque, o bioma Amazônia, ao longo desse mesmo período, foi o que apresentou maior perda, de 269,8 mil km², correspondendo a 8% de sua cobertura florestal, corroborando para que em 2018 sua área florestal representasse 75,7% de sua área original (IBGE, 2018).

A dinâmica do desmatamento na Amazônia é bastante complexa e tem sido investigada por muitos pesquisadores das ciências sociais e naturais. Alguns autores associam esse processo à atividade econômica, tais como variações nos preços das *commodities* agrícolas, bem como às políticas governamentais que incentivam ou combatem esse problema. Os preços das *commodities* agrícolas são apontados como causas do desmatamento tanto por análises teóricas, Angelsen e Kaimowitz (1999); Angelsen (1999); Geist e Lambin (2002) quanto por trabalhos empíricos para a Amazônia Legal (ARIMA *et al.*, 2007, 2011; PFAFF, 1999; SILVA, 2009). Por outro lado, outros autores apontaram que políticas implementadas, na década de 2000-2010, contribuíram para a redução do desmatamento na Amazônia Legal (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA, 2015, 2020; BARRETO; SILVA, 2010; DE SOUZA; MIZIARA; DE MARCO JUNIOR, 2013; DEFRIES *et al.*, 2013; NEPSTAD *et al.*, 2014). Em suma, tais políticas consistiram no aumento da fiscalização, na restrição de crédito rural e de acesso a mercados aqueles que não estivessem em conformidade com a legislação ambiental. Tais políticas levaram a uma queda acentuada no desmatamento na Amazônia Legal no referido período.

Como última etapa do processo de desmatamento, as queimadas fazem parte dessa dinâmica. Neste processo, as áreas desmatadas são posteriormente queimadas para transição

entre as diferentes mudanças de usos da terra⁴, sendo o incremento da atividade agropecuária apontada como principal responsável (INPE, 2020). Além disso, as queimadas prejudicam a saúde de populações, emitem Gases de Efeito Estufa (GEE) e comprometem o desenvolvimento econômico. Por fim, o desmatamento da Amazônia é a principal fonte de emissão de GEE no Brasil (HRW; IEPS; IPAM, 2020).

Nesse sentido, o ciclo das queimadas na Amazônia é observado no período de seca (de julho a outubro, com pico em setembro), com graves impactos sociais, ambientais, e principalmente na saúde humana. Com um aumento significativo da demanda pelos serviços de atenção básica e internações por doenças respiratórias e cardiovasculares, com agravamento do quadro clínico, principalmente nos grupos mais vulneráveis. Assim, além dos efeitos para o meio ambiente, o desmatamento e as queimadas têm impactos diretos e indiretos sobre a saúde humana, afetando de forma especialmente severa a saúde das populações mais carentes da Amazônia.

No período entre janeiro de 2010 e outubro de 2020, foram registradas mais de 1,2 milhões de internações hospitalares por doenças do aparelho respiratório para todos os Estados da Amazônia Legal. Os mesmos estados apresentaram tendência decrescente da taxa de morbidade hospitalar por doenças respiratórias ao longo do referido período. Entre os que apresentaram a maior taxa de morbidade hospitalar se destacam os valores encontrados no ano de 2010, tendo em primeiro lugar o Amazonas (1.051 internações hospitalares por 100.000 habitantes), seguido dos estados do Pará (898), Acre (852), Mato Grosso (568) e Rondônia (523) (HACON *et al.*, 2021).

Além disso, outro problema, ligado ao desmatamento, são as emissões de MP, os valores de concentração diária de $MP_{2,5}$ para os estados da Amazônia Legal, entre janeiro de 2010 e outubro de 2020, foram encontradas médias diárias muito superiores ao valor aceitável de $MP_{2,5}$ em 24h ($25\mu\text{g}/\text{m}^3$), preconizado pela OMS. As médias diárias de concentração estimada de $MP_{2,5}$ ultrapassaram os valores de $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ (quatro vezes maiores), exceto o estado do Acre com valor médio de concentração de $85\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nesse contexto, no estado do Amazonas 87% das internações hospitalares por doenças respiratórias foram atribuíveis a elevadas concentrações de $MP_{2,5}$. No estado do Pará, Mato Grosso e Rondônia, representam 68%, 70% e 71%, respectivamente. Esses percentuais refletem as elevadas concentrações

4 Dividida em dois tipos: pastagem com manejo são áreas de gramíneas com aplicação de técnicas específicas. E mosaico de ocupações, sendo uma classe mista, em que não se consegue definir uma cobertura/uso dominante (INPE, 2008).

médias estimadas de $MP_{2,5}$, sendo um importante e preocupante risco a saúde humana nessas regiões (HACON *et al.*, 2021).

A Amazônia foi escolhida por ser o mais extenso dos biomas predominantemente florestais do território brasileiro. A Floresta Amazônica detém cerca de 10% de toda biodiversidade mundial. Em relação ao planeta Terra, o país possui a maior floresta tropical úmida existente no planeta, abrangendo 1/3 delas. Com um patrimônio mineral ainda em grande parte desconhecido, encontra-se também a maior bacia hidrográfica e o maior rio do mundo em volume de água: o rio Amazonas, que tem 6.937 km de extensão (IBGE, 2012). Além disso, encontram-se 53 grandes ecossistemas e mais de 600 tipos diferentes de habitat terrestre e de água doce, o que resulta numa rica biodiversidade, com cerca de 45 mil espécies de plantas e animais vertebrados, muitas delas endêmicas, isto é, espécies que são encontradas somente nessa região (SAYRE *et al.*, 2008).

A região Amazônica está sujeita a diversos fatores que contribuem para as interações por doenças respiratórias, de tal forma que é possível presumir que tais fatores sejam predominantemente mais intensos em certas áreas do que em outras. Assim, em que áreas há mais interações? Será que existe relação entre desmatamento e interações por doenças respiratórias e, por fim, quais são os condicionantes dessas interações?

As respostas a essas indagações se revelam importante, pois eventuais medidas ou políticas que tenham o objetivo de controlar ou combater o desmatamento devem levar em conta tais desigualdades para serem efetivas. Portanto, entender essas tendências em termos de qualidade ambiental é importante para os indivíduos e os projetos de desenvolvimentos. Pode-se, ainda, traduzir em sucesso ou fracasso das políticas ambientais implantadas.

Assim, o objetivo deste ensaio foi analisar a variabilidade espacial das causas das interações por doenças respiratórias na Amazônia Legal brasileira, nas últimas duas décadas (2000–2019). Com esse propósito, a estratégia empírica foi baseada no uso de dados em painel, que permitem controlar efeitos não observados a nível municipal. Para isto, utilizou-se a abordagem de Regressão Geograficamente Ponderada em Painel (RPGP) ou *Geographically Weighted Panel Regression* (GWPR), usando os 772 municípios da Amazônia Legal, o referido período amostral foi selecionado devido à disponibilidade de dados.

Além dessa introdução, a segunda seção descreve a literatura relacionada. A área de estudo, base de dados e métodos econométricos utilizados são descritos na terceira seção, enquanto os principais resultados são apresentados na quarta seção, e por fim, as considerações finais são discutidas na quinta seção.

4.2 Revisão de Literatura

As queimadas têm chamado atenção mundial desde o início da década de 1980 (TACCONI; MOORE; KAIMOWITZ, 2007; GONÇALVES; CASTRO; HACON, 2012). Esta preocupação tem sido particularmente evidente nas florestas tropicais da Ásia, por serem regiões que concentram a maior parte dos incêndios florestais no planeta (DO CARMO; HACON, 2013). Destacam-se, também, os incêndios florestais de grandes proporções em regiões da Austrália, Europa e oeste dos Estados Unidos. No Brasil, tem sido particularmente evidente na Amazônia.

A fumaça tóxica derivada das queimadas produz vários efeitos negativos: riscos para a saúde humana, destruição de recursos florestais e de biodiversidade, acidentes de transporte e em diversos setores da economia (COCHRANE; SCHULZE, 1999; EMMANUEL, 2000; VARMA, 2003; PERES, 2009).

Os impactos das queimadas na saúde humana ainda são pouco estudados, embora seus níveis diários de poluição ultrapassem muitas vezes as medições de grandes centros urbanos (ARTAXO *et al.*, 1994; NAHER *et al.*, 2007). No entanto, as pesquisas existentes indicam que seus efeitos vão além do aumento no número de internações hospitalares para atendimentos por causas respiratórias, com o incremento de outras doenças tais como câncer de pulmão, doença cardíaca, infarto do miocárdio e acidente vascular cerebral (UZOIGWE *et al.*, 2013; DONG *et al.* 2018), mais recentemente, diabetes tipo 2 (ANGHORBANI *et al.* 2014; SUN; ZHU, 2019), e perda da função cognitiva, podendo perdurar por diversos dias (DOMINICI; SHEPPARD; CLYDE, 2003; NAHER *et al.*, 2007; MORGAN *et al.*, 2010).

Os estudos sobre efeitos da poluição atmosférica na saúde humana passam por diversos ramos do conhecimento, que incluem a toxicologia, a análise de risco, a epidemiologia, a bioestatística (DOMINICI *et al.*, 2002; BELL; SAMET; DOMINICI, 2004; NAHER *et al.*, 2007). No entanto, a abordagem mais utilizada nas últimas duas décadas (2000-2020) tem sido o estudo epidemiológico de séries temporais (REN; TONG, 2008).

Nessas análises de séries temporais, os modelos de regressão são utilizados para estimar o aumento na variável dependente, risco relativo para a saúde, como mortalidade ou morbidade por doenças respiratórias, associados a um aumento unitário nos níveis de determinado poluente (BELL; SAMET; DOMINICI, 2004; STIEB; JUDEK; BURNETT, 2004). Assim, a importância de se remover efeitos de longa duração como tendência e sazonalidade, condições meteorológicas e autocorrelação serial em tais estudos é amplamente conhecida para garantir que as estimativas de efeitos dos poluentes atmosféricos não estejam

confundidas por nenhuma outra variável (SCHWARTZ; MARCUS, 1990; SCHWARTZ *et al.*, 1996).

Nos parágrafos a seguir são apresentados alguns dos principais trabalhos sobre a análise econométrica dos fatores que culminam nas internações por doenças respiratórias, tanto na Amazônia quanto em outros países, sem ter a pretensão de esgotá-los. Vale ressaltar que esses trabalhos são importantes na medida em que orientam e justificam a escolha das variáveis que compõem o modelo econométrico proposto e estimado no presente capítulo, também, recorreu-se a revisão de literatura presente na seção 3.2. As principais referências são apresentadas no Quadro 4.1.

O Estado da Califórnia registrou mais da metade dos incêndios florestais nos Estados Unidos ao longo do século XX (FRIED; TORN; MILLS, 2004). Observou-se uma sequência de incêndios florestais de grandes proporções nas décadas de 1980, 1990 e 2000. Em 2007, ocorreu o pior episódio de queimadas de sua história recente, com prejuízos estimados em 1 bilhão de dólares, destruição de 1.500 residências, afetando uma população de 1 milhão de pessoas (WU; WINER; DELFINO, 2006; KEIM, 2008).

A Ásia apresentou diversos episódios de grandes queimadas de longa duração, principalmente na região sudeste. Em sua história, destacaram-se os incêndios severos que ocorreram nos anos de 1997/98 relacionados ao fenômeno climático *El Niño*, que resultaram na destruição de 11,7 milhões de hectares de floresta, propriedades e outros tipos de vegetação (TACCONI; MOORE; KAIMOWITZ, 2007; FIELD; SHEN, 2008). Os impactos na saúde humana associado a este grande evento de queimada foi documentado por diversos autores (Quadro 4.1).

Já na Austrália, em fevereiro de 2009, relatou-se um episódio de incêndio considerado o segundo maior da história do país, denominado “sábado negro” com 173 óbitos, 2.000 domicílios destruídos e uma área devastada de mais 350.000 hectares (CAMERON *et al.*, 2009).

Em relação ao Brasil, os incêndios florestais têm ocorrido, predominantemente, nas porções leste e sul da bacia Amazônica (FEARNSIDE, 2017; LAURANCE; LAURANCE, 2009). O primeiro levantamento nacional sobre o assunto foi feito em 1983, com 227 incêndios florestais registrados, queimando uma área de 22.269 hectares (SOARES, 1988).

Especificamente, referências relacionadas à abordagem RPGP são escassas. No trabalho pioneiro, Yu (2010) desenvolveu e aplicou técnicas de dados em painel para subconjuntos de dados ponderados localmente, com base na dimensão espacial.

Quadro 4.1 – Resumo dos trabalhos empíricos sobre a associação queimadas florestais e saúde em países selecionados e na Amazônia Legal

Califórnia-Estados Unidos					
Autores	Período	Variável dependente	Variáveis explicativas	Metodologia Analítica	Resultados
Jacobs <i>et al.</i> , (1997)	1983- 1992	Internações hospitalares por asma em todas as faixas etárias	MP_{10} , O_3 , CO, COH e Total de área queimada	Regressão de Poisson (GLM)	Aumentos de 1 acre no total de área queimada associados a aumentos de 23% nas internações por asma.
Viswanathan <i>et al.</i> , (2006)	2003	Atendimento ambulatorial por doenças respiratórias em todas as faixas etárias	MP_{10} , $MP_{2,5}$, CO, O_3 , NO_2 e SO_2	Análise descritiva de séries temporais, análise de correlação	Associação significativa entre MP e os atendimentos ambulatoriais, mas sem dados sobre riscos relativos
Ásia					
Sastry (2002)	1996-1997	Internações por asma, causas respiratórias, cardiovasculares	Mortalidade por todas as causas e por doenças respiratórias, cardiovasculares	Regressão de Poisson (GLM)	Aumento de MP associado com aumento de mortalidade por todas as causas para idosos, mas sem evidências para mortalidade por causas respiratórias.
Mott <i>et al.</i> , (2005)	1995-1998	Internações por asma, causas respiratórias, cardiovasculares	<i>Air Pollution Index</i> (API)	Modelos Holt-Winters	Aumento das internações por asma e COPD durante as queimadas; maior probabilidade de hospitalização de idosos durante as queimadas.
Amazônia					
Mascarenhas <i>et al.</i> , (2008)	Setembro de 2005	Atendimento ambulatorial por doenças respiratórias em todas as faixas etárias	$MP_{2,5}$	Análise de regressão simples das 2 séries temporais	Associação significativa, mas sem dados sobre riscos relativos.
Do Carmo <i>et al.</i> , (2010)	2004-2005	Atendimento ambulatorial por doenças respiratórias de crianças e de idosos	$MP_{2,5}$	Regressão de Poisson (GAM)	Aumentos de 10ug/m ³ nos níveis de $MP_{2,5}$, associados a aumentos de 2,9 e 2,6% nos atendimentos por doenças respiratórias de crianças no 6º e 7º dias subsequentes à exposição
Ignotti <i>et al.</i> , (2010)	2005	Internações por doenças respiratórias de crianças e de idosos	$MP_{2,5}$	Regressão de Poisson (GAM)	Aumentos de 10ug/m ³ nos níveis do $MP_{2,5}$, associados a aumentos de até 6% nas internações de crianças e de 6,8% dos idosos. Nenhuma associação foi encontrada em Tangará da Serra
Machin <i>et al.</i> , (2019)	2012	internações por doenças respiratórias em pessoas com mais de 60 anos	$MP_{2,5}$	Modelo matemático	aumento do risco de hospitalização em 31,8%, quando existe aumento de 3,5 µg / m ³ nas concentrações de $MP_{2,5}$, com gasto anual total de mais de US\$ 96.000,00 para o sistema público de saúde brasileiro.

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

No estudo de Lin (2011) derivou-se estimadores de máxima verossimilhança. Em Tabak *et al.* (2013), com uma abordagem semelhante à de Yu (2010), mas no contexto de uma análise de fronteira estocástica. Recentemente, Bruna e Yu (2016) analisaram as funções de produção locais com efeitos fixos individuais, para as regiões europeias. E Lavorato (2020) estudou as respostas da produtividade de culturas ao grau de aridez no semiárido brasileiro. Em relação às abordagens de econometria espacial, a maioria dos trabalhos encontrados concentram-se na investigação do desmatamento vistos na seção 3.2.

4.3 Metodologia

Nesta análise, utilizaram-se regressões que tratam os efeitos espaciais considerando o número de internações por doenças respiratórias como variável dependente, os indicadores econômicos e climáticos como variáveis independentes para diagnosticar os efeitos relevantes a nível municipal decorrentes dessas interações.

4.3.1 Área de estudo e base de dados

Foram analisados os 772 municípios brasileiros pertencentes à região da Amazônia Legal, durante os anos de 2000 a 2019, especificados na Figura 3.1 e utilizaram-se variáveis de acordo com a literatura, no Quadro 3.3 e na seção 3.3.2, ambas já apresentadas no capítulo anterior.

4.3.2 Métodos analíticos

Nesta seção, para serem estimadas as regressões espaciais, considerou-se modelos que tratam da dependência espacial. Para este efeito, recorreu-se ao modelo Geograficamente Ponderado em Painel (RPGP), sendo cada vez mais utilizado para resolver problemas derivados da autocorrelação espacial.

4.3.2.1 Regressão Geograficamente Ponderada em Painel (RPGP) ou Geographically Weighted Panel Regression (GWPR)

Por hipótese, acredita-se que as internações por doenças respiratórias estão relacionadas com o desmatamento na Amazônia Legal, este último estando fortemente ligado a pecuária e culturas agrícolas na porção sul desta região (SANTOS *et al.*, 2021). Portanto, é importante visualizar a natureza espacial do desmatamento em áreas de florestas tropicais e

em cada área em relação às demais. Nesse estudo também foi adotado, o índice de Moran, já apresentado na seção 3.3.3.1, sendo o teste estatístico mais comum para detectar autocorrelação espacial. Além disso, incluíram-se os testes para visualizar o agrupamento por meio de mapas significativos e de agrupamento usando estatísticas locais, como os Indicadores Locais de Autocorrelação Espacial – LISA, descritos, também, na referida seção (ANSELIN; REY, 2014).

Segundo Anselin (1988) na presença de efeitos espaciais, a estimação pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) se torna inadequada. Em decorrência, as estimativas encontradas, por esse método, serão inconsistentes e/ou ineficientes. Portanto, o modelo RPGP reconhece que as variações espaciais nas relações podem existir e fornecer uma maneira de mensura-las.

No modelo RPGP, uma observação é avaliada de acordo com sua proximidade ao local i , de forma que a ponderação de uma observação não é mais constante, isto é, ela pode variar com i . Assim, os dados observacionais mais próximos de i têm mais influência em relação aos dados observacionais mais distantes.

De forma conceitual, este modelo foi desenvolvido por Yu (2010) e aborda a heterogeneidade espacial em modelos de dados em painel. De maneira geral, esse método pode ser representado como uma extensão do modelo de Regressão Ponderada Geograficamente (RPG), iniciado no trabalho de Casetti (1972), mais tarde por Brunson, Fotheringham e Charlton (1996) e McMillen (1996), por fim, tornou-se muito popular em estudos empíricos transversais, particularmente após a publicação de (FOTHERINGHAM *et al.*, 2002).

Portanto, a única diferença prática entre eles, (RPGP e RPG), diz respeito à consideração da dimensão temporal pelo primeiro. Dessa maneira, esse modelo resolve principalmente o problema dos resíduos das regressões espacialmente agrupadas em painel. Por fim, o modelo RPGP é um tipo de regressão ponderada, diferenciando unicamente do modelo de Mínimos Quadrados Ponderados (MQP) ou *Weighted Least Square* (WLS) pela origem dos pesos utilizados nas estimações.

Para representar o modelo RPGP, em última análise, deve-se primeiro considerar o modelo RPG, partindo do modelo de regressão linear comum (MQO) (FOTHERINGHAM *et al.*, 2002):

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (4.1)$$

Em que Y denota o vetor da variável dependente ou de resposta; X denota a matriz de variáveis independentes ou explicativas; β corresponde ao vetor de parâmetros a serem estimados; e ε denota o vetor de erros.

As estimativas de β , que é constante entre as observações, são dadas por:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y \quad (4.2)$$

O modelo RPG é obtido quando os parâmetros locais são adicionados na Equação 4.2:

$$Y_i = X_i\beta_i + \varepsilon_i \quad (4.3)$$

Em que i denota um determinado local dentro da amostra estudada.

Agora, supõe que as observações variam, o vetor de coeficientes de regressão estimados ($\hat{\beta}$), é:

$$\hat{\beta}_i = (X'W_iX)^{-1} X'W_iY \quad (4.4)$$

Em que W_i denota uma matriz de ponderação espacial $n \times n$ cujos elementos diagonais indicam o peso atribuído a cada uma das observações n para o ponto de regressão i .

O modelo de regressão apresentado na Equação 4.3 é calibrado pelos MQP, assumindo que quanto mais próxima uma observação estiver do ponto de regressão i , maior sua influência na estimativa de β_i . As matrizes de ponderação espacial, por sua vez, são calculadas por uma função kernel e sua respectiva largura (*bandwidth*), que fornece pesos que estão inversamente relacionadas com a distância. Portanto, o processo de ponderação assume a suposição que existe autocorrelação espacial, possivelmente resultando em padrões não estacionários em coeficientes estimados (WHEELER; PÁEZ, 2010).

Finalmente, ao ser adicionado o componente temporal, o modelo RPGP pode ser representado:

$$Y_{it} = X_{it}\beta_i + \varepsilon_{it} \quad (4.5)$$

Onde as estimativas de β variam no espaço, mas não no tempo. Isso ocorre porque a relação espacial entre os locais não muda ao longo do tempo e, portanto, tanto a largura (*bandwidth*) quanto a função kernel são invariáveis no tempo (YU, 2010).

Como exercício de verificação de robustez, três modelos econométricos alternativos também foram estimados. Seguindo Cai *et al.* (2014) e Kusuma *et al.* (2018), os resultados do RPGP são comparados aos modelos de painel não espacial e espacial. A

alternativa não espacial refere-se a um modelo MQO. As alternativas espaciais, por sua vez, são o Modelo de Erro Espacial (SEM), em que os termos de erro são correlacionados entre os locais, e o Modelo de Defasagem Espacial (SAR), em que a variável depende de um determinado local é influenciada pelas outras localidades.

Em adicional, além de verificar a robustez do modelo, três testes locais estatísticos ajudam a selecionar o modelo mais adequado, são o teste F, teste de Hausman e LM teste. O primeiro teste, considera a hipótese nula de que todos os coeficientes locais estimados pelo RPGP são estatisticamente iguais, testando se a não estacionaridade espacial de fato vale para a amostra analisada. O segundo teste, considera a hipótese nula de efeitos aleatórios contra a alternativa de utilizar efeitos fixos. Por fim, o teste LM considera a hipótese nula de não ter efeitos sendo o modelo preferível o MQO, a hipótese alternativa aponta a existência de efeitos. Esses testes são demonstrados e explicados em profundidade em (LI; MANAGI, 2021).

4.3.2.2 Estratégia empírica com RPGP

O diferencial do modelo RPGP reside no cálculo da matriz de pesos locais (W_i). Como descrito na seção anterior, W_i é calculado por uma função kernel espacial, que utiliza a distância entre locais (d_{ij}) e um parâmetro da largura (*bandwidth*) (b) para determinar os pesos (ALMEIDA, 2012). No modelo RPGP, adota-se uma função kernel espacial adaptativa, pois o montante de observações varia consideravelmente no espaço. Em tal função kernel espacial, o parâmetro b é ajustado à densidade dos dados, de modo que um número fixo de observações é considerado em cada subamostra (FOTHERINGHAM *et al.*, 2002).

A função kernel bi-quadrada vizinho mais próximo, representada pela equação 4.6, é utilizada no processo de ponderação:

$$\begin{aligned} w_{ij} &= [1 - (d_{ij}/d_{ik})^2]^2 \text{ if } j \in Z_i(k) \\ &= 0 \text{ caso contrário.} \end{aligned} \quad (4.6)$$

Em que w_{ij} corresponde o peso atribuído a j ao calibrar o modelo para i ; e $Z_i(k)$ denota o conjunto de k -ésimo vizinhos mais próximos de i .

A consistência e eficiência das estimativas do RPGP dependem diretamente da seleção do parâmetro b e do critério de Validação Cruzada (VC) ou *Cross-Validation* (CV), obtido no processo de otimização da largura (*bandwidth*) (LAVORATO, 2020). Especificamente, a seguinte pontuação 'drop-1' é minimizada:

$$CV = \sum_{i=1}^n [Y_i - \widehat{y}_{\neq i}(b)]^2 \quad (4.7)$$

Em que o termo $\widehat{y}_{\neq i}(b)$ é o valor estimado de y_i quando a localização i é descartada.

Por fim, estima-se o seguinte modelo, similar à Equação 3.8:

$$\begin{aligned} \ln DOENCA_{it} = & \alpha_1 + \alpha_2 ZDESM_{it} + \beta_1 \ln PIB_{it} + \beta_2 \ln FOR_{it} + \beta_3 DPOP_{it} + \\ & \beta_4 URBAN_{it} + \beta_5 \ln CR_{it} + \beta_6 \ln GASTOTRANS_{it} + \beta_7 \ln IND_{it} + \beta_8 \ln K/L_{it} + \\ & + \beta_9 \ln EMISSÃO_{it} + \beta_{10} TEMP_{it} + \beta_{11} \ln PRECIPITAÇÃO_{it} + \tau D_{it} + u_{it} \end{aligned} \quad (4.8)$$

A análise econométrica⁵ foi realizada com o software R (R Core Team, 2019). O modelo RPGP foi estimado usando o pacote ‘GWPR.light’ (LI; MANAGI, 2021), com efeitos fixos por meio da transformação *within* e com efeito tempo. Como apresentados anteriormente, modelos adicionais foram estimados para verificação de robustez, seção 3.4.1. Os modelos MQO e com efeitos fixos foram estimados usando o pacote ‘plm’ (CROISSANT; MILLO, 2008), enquanto ambos SEM e SAR foram estimados usando o pacote ‘splm’ (MILLO; PIRAS, 2018).

4.4 Preditores das internações de doenças respiratórias na Amazônia Legal

As estatísticas de média, desvio padrão, valores mínimos e máximos de cada variável da pesquisa, encontram-se na Tabela 3.1, apresentada na seção 3.4.1. Assim, destaca-se DOENÇA que compreende a variável de resultado a ser avaliada. Em seguida, compreendem-se as variáveis explicativas que foram utilizadas. Desse modo, essas últimas representam uma ampla gama de variáveis econômicas, sociais e ambientais que suprem adequadamente às necessidades de variáveis independentes para o modelo testado.

Para verificar se existem padrões de associação espacial localizados (*clusters*) para as internações de doenças respiratórias anual dos municípios da Amazônia Legal, foi calculado o *I* de Moran local (LISA), já apresentado nos mapas de significância e mapas de *clusters* na Figura 3.2.

Após a identificação da presença de autocorrelação espacial, por intermédio dos resultados obtidos pelo Índice de Moran local, mostrou-se relevante a estimação do modelo com correção para a dependência espacial.

⁵ O autor agradece a Chao Li e Shunsuke Managi por fornecer o script R necessário para a estimativa do modelo RPGP.

Antes de apresentar o modelo RPGP, observaram-se os resultados dos modelos MQO, SEM e SAR que foram analisados nas Tabelas 3.2 e 3.3, respectivamente, apresentadas na seção 3.4.1. Esses modelos forneceram evidências robustas de que as interações por doenças respiratórias responderam às variações, principalmente, na densidade populacional, razão capital-trabalho e crédito rural com todas as estimativas estatisticamente significantes ao nível de 1%, exceto para a última variável. Como esperado, os coeficientes foram positivos para densidade populacional e crédito rural, e negativo para razão capital-trabalho, indicando que ao aumentar as primeiras levam ao incremento nas interações por doenças respiratórias, e o contrario é observado em relação à razão capital-trabalho. Além disso, os parâmetros espaciais (ρ e λ) foram estatisticamente significantes, confirmando a dependência espacial e heterogeneidade. Ademais, também, calculou-se o teste de Moran para o modelo MQO ($t=5,18$ e p -valor 0,000), rejeitando-se a hipótese nula, portanto, os resíduos são agrupados espacialmente. Observada à relação espacial entre os resíduos, o uso do modelo RPGP é adequado.

A Tabela 4.1 mostra os resultados obtidos pelo modelo RPGP. Observe que os coeficientes são estimados para cada uma das localidades analisadas, assim, as estimativas são apresentadas por quantil.

Tabela 4.1 – Resultados da estimação do modelo RPGP, Amazônia Legal, 2000-2019

Variável dependente: lnDOENÇA	RPGP				
	Mín	Q1	Mediana	Q3	Máx
zDESM	-3,1623	-0,0347	0,0492	0,1159	0,8945
lnFLO	-8,9662	0,1183	0,2455	0,4621	2,592
DPOP	-2,4159	0,1121	0,2874	0,4386	3,1399
IND	-1,3503	0,243	0,3492	0,451	4,1981
lnPIB <i>per capita</i>	-3,6367	-0,8352	-0,536	-0,3018	2,9625
URBAN	-0,0388	0,0033	0,0074	0,0136	0,2968
lnK/L	-0,7159	-0,1105	-0,0402	-0,0097	0,3859
TEMP	-1,5842	-0,1584	0,0467	0,1594	3,9881
lnPRECIP	-3,8843	-0,4023	-0,0336	0,5765	4,0621
lnEMISSAO	-0,3834	0,0279	0,0786	0,1498	0,6596
lnCR	-0,3158	0,0886	0,1341	0,1894	0,6687
lnGASTOTRAN	-0,2737	-0,0186	0,0129	0,0496	0,2668
Local R ²	0,0226	0,5276	0,6173	0,6875	0,9855

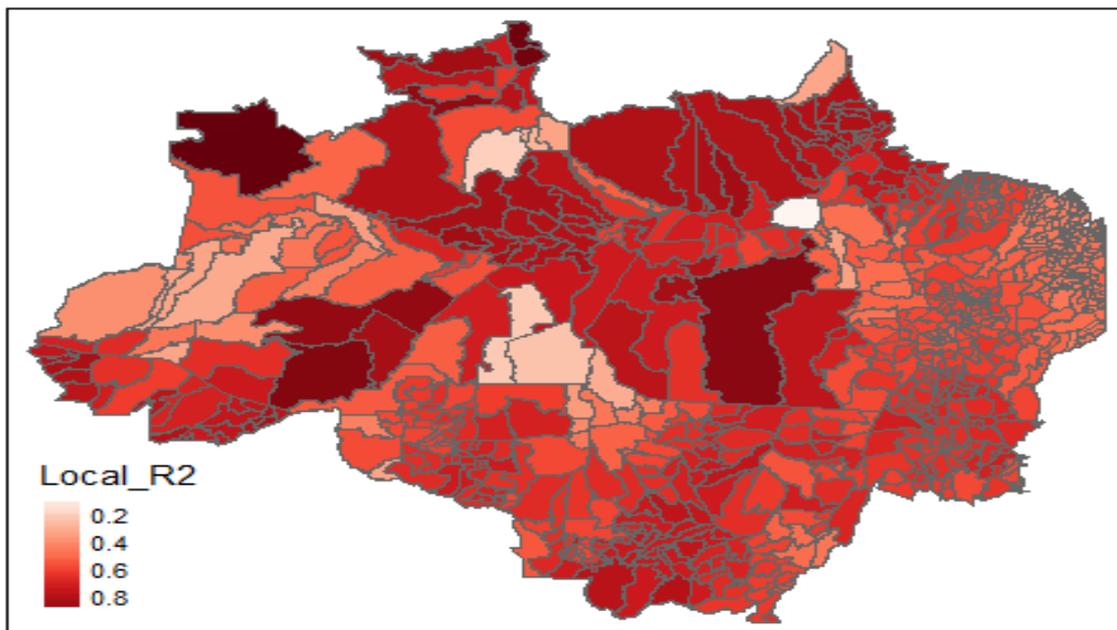
Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 3.3.2 (2022).

Como resultado encontrado, os coeficientes variam consideravelmente em toda a região. Na verdade, o intervalo interquartil de estimativas é consideravelmente maior para o RPGP que para os modelos alternativos apresentados anteriormente. Esta é uma indicação de

que as respostas das interações por doenças respiratórias são caracteristicamente não estacionárias no espaço⁶, corroborando na validade de estimar coeficientes localmente.

O valor da mediana dos coeficientes das variáveis explicativas estimados pelo modelo RPGP é relativamente semelhante aos obtidos por modelos espaciais e não espaciais, ou seja, há fortes evidências a favor da robustez do modelo RPGP na estimativa das interações por doenças respiratórias. A grande maioria dos coeficientes locais foi positiva (mediana). De fato, algumas localidades apresentaram coeficientes negativos. Apesar de representar uma pequena proporção da amostra, a presença dessas estimativas é intrigante. Supõe-se que nesses locais, o desmatamento é, de alguma forma ótimo, traduzido em áreas de reflorestamento. Outro exemplo, é o coeficiente positivo da precipitação, apontando no aumento nas interações por doenças respiratórias, isto sugere que esse efeito pode estar relacionado com o clima e áreas urbanizadas. Em relação ao R^2 local, a mediana encontra-se em aproximadamente 62%, especificamente, o mesmo é apresentado na Figura 4.1. Por fim, o R^2 da regressão foi igual a 76%, superior ao modelo MQO ($R^2=58\%$).

Figura 4.1 – R^2 local da estimação por RPGP, Amazônia Legal, 2000-2019



Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 3.3.2 (2022).

⁶ De acordo com Fotheringham *et al.* (2002), a não estacionaridade espacial refere-se ao caso em que o processo estudado não é constante no espaço. Em outras palavras, a estimativa da relação de interesse depende do local em que a medição é realizada.

A Figura 4.1 indica como o R^2 dessas localidades estão distribuídas espacialmente pela Amazônia Legal. Os municípios para os quais as estimativas não foram pseudo-significativas estão localizados na parte Norte do território. Como já foi salientado, no entanto, a maior parte das estimativas foi positiva e os maiores aglomerados estão localizados, principalmente, nos estados do Pará, Amazonas (região sul), Mato Grosso (região norte), Acre e Rondônia.

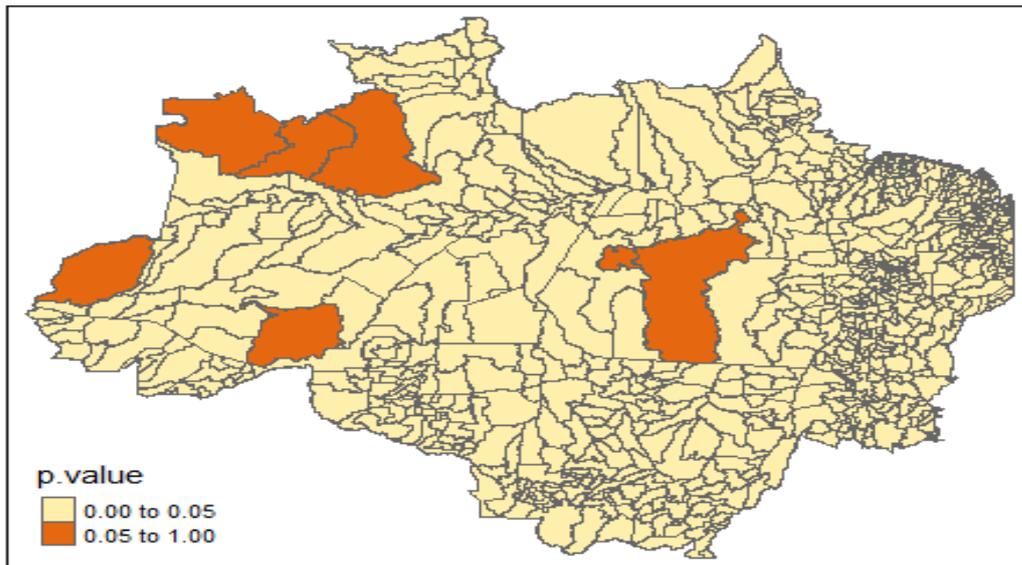
Cabe destacar que o modelo foi capaz de fornecer uma representação das internações por doenças respiratórias na região, já que a maior parte dos municípios que apresentaram alta correlação estão inseridos no eixo identificado como o “arco do desmatamento”. Este eixo compreende as regiões sul de AM, norte de RO, norte de MT e sul e leste de PA, e é reconhecido por este nome devido ao estado atual de epicentro do desmatamento na Amazônia (ver OLIVEIRA, 2009; COSTA; PIRES, 2010; SILVA *et al.*, 2019; ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA, 2020; SANTOS *et al.*, 2021).

Segundo Hacon *et al.* (2021) nos estados do Pará, Mato Grosso, Rondônia e Amazonas, 70% das internações hospitalares registradas têm relação com doenças respiratórias associadas às altas concentrações de partículas de poluentes emitidas pelas queimadas. Além disso, quase um bilhão de reais foram gastos, entre 2010 a 2020, com hospitalizações de baixa e alta gravidade por doenças do aparelho respiratório atribuíveis à exposição à fumaça (partículas inaláveis finas) decorrente dos incêndios florestais e queimadas no bioma Amazônico.

Parte-se agora, na robustez do modelo, os testes realizados a seguir ajudam em sua adoção, assim como, confirmam sua seleção. Os testes são os mesmos baseado na seleção de modelo de dados em painel, a diferença, reside que eles são testes locais. Foram aplicados três testes: o teste F local, o teste ML de Breusch-Pagan local, e o teste de Hausman local.

A Figura 4.2 apresenta o primeiro teste, o mesmo considera a hipótese nula de que todos os coeficientes locais estimados pelo RPGP são estatisticamente iguais, testando se a não estacionaridade espacial de fato vale para a amostra analisada. Com grande parte dos municípios apresentando $p\text{-valor} < 0,05$, isto é, rejeitando a hipótese nula, conclui-se que existem efeitos observados, os coeficientes estimados não são estatisticamente iguais.

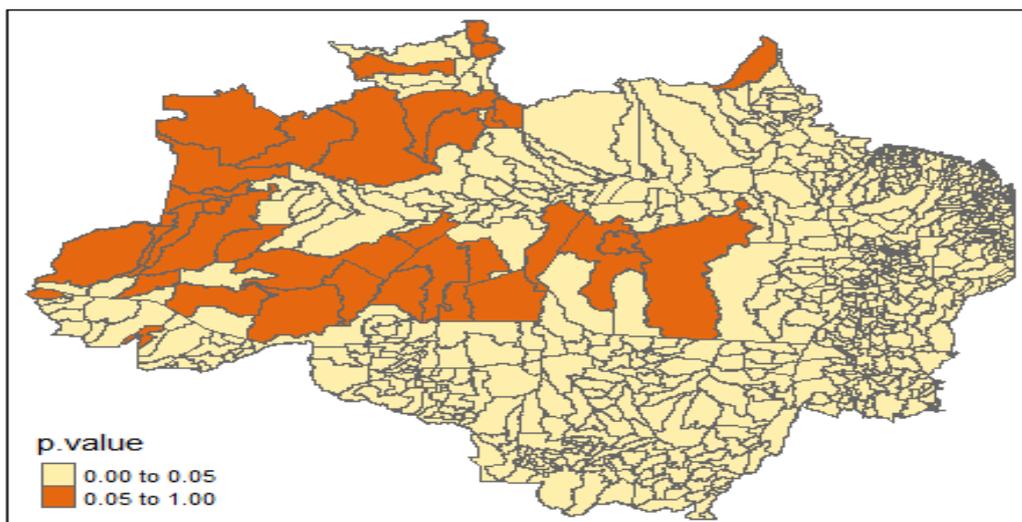
Figura 4.2 – Teste F local da estimação por RPGP, Amazônia Legal, 2000-2019



Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 3.3.2 (2022).

O segundo teste, LM local test, apresentado na Figura 4.3, considera a hipótese nula de não ter efeitos sendo o modelo preferível o MQO, a hipótese alternativa aponta a existência de efeitos. Com grande parte dos municípios apresentando p-valor $< 0,05$, isto é, rejeitando a hipótese nula, conclui-se que existem efeitos observados, sendo o modelo com efeitos mais adequado que o modelo de MQO.

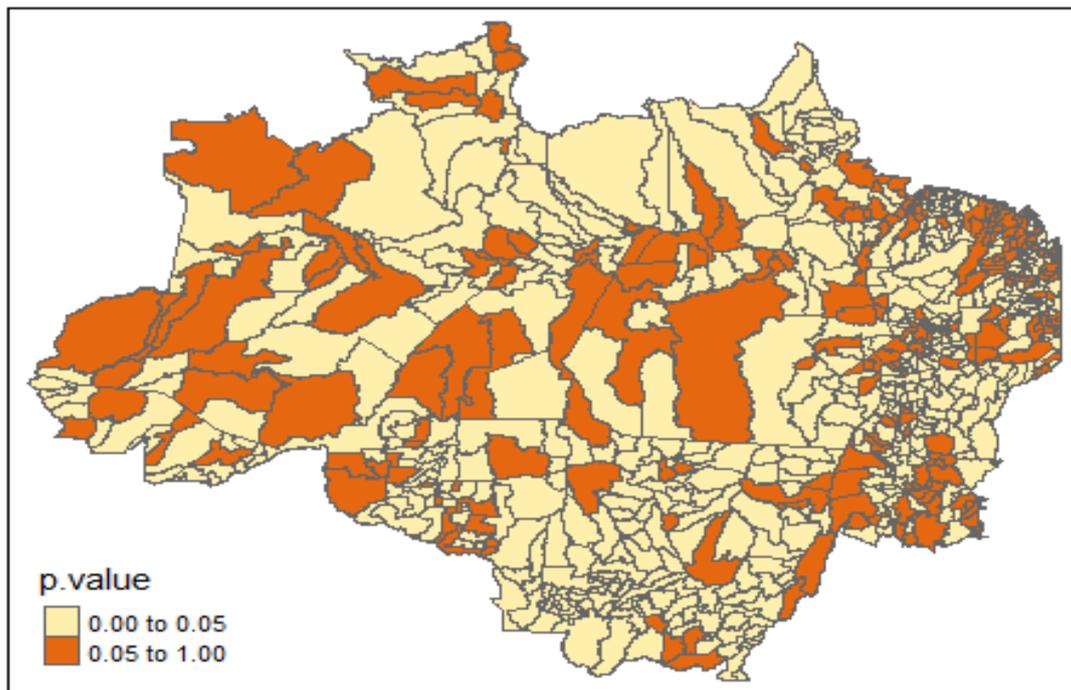
Figura 4.3 – Tese LM local da estimação por RPGP, Amazônia Legal, 2000-2019



Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 3.3.2 (2022).

Por fim, o teste Hausman local, apresentado na Figura 4.4, considera a hipótese nula de efeitos aleatórios contra a alternativa de utilizar efeitos fixos. Observou-se a predominância de municípios com $p\text{-valor} < 0,05$, isto é, rejeitando a hipótese nula, assim, para os mesmos o modelo de efeitos fixos foi o mais apropriado.

Figura 4.4 – Teste de Hausman da estimação por RPGP, Amazônia Legal, 2000-2019



Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados citados na seção 3.3.2 (2022).

Os resultados obtidos para os três testes validam a priori o modelo RPGP, como pode ser observado nas Figuras 4.2, 4.3 e 4.4. As estatísticas calculadas permitem rejeitar as três hipóteses nulas investigadas ao nível de significância de 5%. Portanto, é possível afirmar que, no contexto do presente ensaio, o modelo RPGP é mais adequado ao ser comparado com o modelo MQO. Logo, os coeficientes estimados para as internações por doenças respiratórias não são estatisticamente iguais, ou seja, diferentes de fato, os locais apresentam respostas distintas ao número de internações.

Esta pode ser considerada a primeira análise local que apresenta a correlação das internações por doenças respiratória com o maior número de variáveis possíveis, para todos os municípios na área da Amazônia Legal, no Brasil. Geralmente, a maioria das pesquisas concentra-se na análise de recortes espaciais ‘isolados’, por exemplo, estados, municípios,

terras indígenas ou Unidades de Conservação (SPEKTOR *et al.*, 1991; CANÇADO *et al.*, 2006; BRAGA *et al.*, 2007; IGNOTTI *et al.*, 2007; ROSA *et al.*, 2008; MASCARENHAS *et al.*; 2008; ARBEX *et al.*, 2014; REDDINGTON *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2016; ANDRADE *et al.*, 2017; VORMITTAG *et al.*, 2018; ISS, 2019; ALVES, 2019; HACON *et al.*, 2021).

As variáveis foram definidas de acordo com a literatura, observou-se, pela mediana, que DESM, FLO, DPOP, IND, URBAN, TEMP, EMISSAO, CR, e GASTOTRAN responderam para a ocorrência das internações por doenças respiratórias positivamente, enquanto PIB *per capita*, K/L e PRECIP negativamente.

Os resultados obtidos por meio do Mapa LISA indicaram o agrupamento de áreas desmatadas na região sul da Amazônia Legal. Esta área coincide com os estados que ocupam o topo da lista daqueles com as áreas mais desmatadas da Amazônia, Pará (34,46%), Mato Grosso (32,34%) e Rondônia (13,76%) (INPE/TERRABRASILIS, 2021). Além disso, essa região está compreendida na área comumente chamada de “arco do desmatamento” (FEARNSIDE, 2017; GARCIA *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Além do impacto à saúde humana, as queimadas produzem efeitos danosos da poluição do ar ao meio ambiente a ação do ozônio na redução da produtividade agrícola, a ocorrência de chuva ácida e a acidificação de lagos e rios pela deposição de sulfato e nitrato, entre outros inúmeros impactos (BRASIL, 2020).

A fumaça tóxica das queimadas impacta diretamente o ciclo hidrológico, gerando um ciclo vicioso entre queimadas e secas (NEPSTAD *et al.*, 2001; ARTAXO *et al.*, 2013; LIXIA *et al.*, 2020). Como também, afetam as correntes de ar que atuam na Amazônia, as mesmas que ajudam a umidade nas regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste, conhecidas como rios voadores. Sendo assim, impactando indiretamente no clima e na qualidade do ar em outras regiões do país (HRW; IEPS; IPAM, 2020).

Em outras palavras, os resultados aqui encontrados reforçam que é necessária uma política voltada para a contenção do desmatamento, principalmente na área denominada arco do desmatamento, com isso, melhoraria as condições ambientais e conseqüentemente a saúde humana.

Inicialmente foram testados os resultados para o modelo MQO. No entanto, a suposição de que os resíduos eram independentes não foi satisfeita. Além disso, identificou a presença de efeitos espaciais, e para preencher esta lacuna, o modelo espacial foi usado.

Nesse sentido, o modelo RPGP apresentou R^2 de 0,76, isto é, significa que este modelo explicou 76% das variações das internações por doenças respiratórias. Além disso, a mediana do R^2 local foi de aproximadamente 0,62. Portanto, houve um ganho significativo ao

usar o modelo RPGP. Além disso, segundo Trigueiro *et al.* (2020), o modelo RPG auxilia nas análises que consideram a variabilidade espacial para avaliar fatores associados ao desmatamento nos contextos municipal ou regional. Por fim, na análise da variabilidade espacial, os maiores valores para R^2 local foram encontrados, principalmente, nos estados do Pará, Amazonas, Mato Grosso, Acre e Rondônia, todos compreendidos no arco de desmatamento, como mencionado.

Os resultados deste capítulo sugerem que a redução da poluição do ar pode trazer benefícios econômicos, ambientais e na saúde significativos. Medidas como a adoção de políticas com limites de emissões de poluentes ou prevenção de queimadas e de combate ao desmatamento trazem benefícios indiretos à economia urbana e direto as áreas rurais. Os benefícios da redução de emissão de GEE são significativos e aumentam a competitividade econômica do país. A demora em executar políticas consistentes já custa vidas e produtividade, além de atrasos nos campos da educação, tecnologia e aprofundamento das desigualdades sociais.

4.5 Considerações Finais

Este ensaio investigou a relação entre as internações por doenças respiratórias na Amazônia Legal, com um conjunto de variáveis explicativas, em especial o desmatamento. A literatura apontou a importância das diferenças intrarregionais para a compreensão do processo de desenvolvimento da região amazônica, isto é, a importância de sua heterogeneidade, e reforçam a ideia de que as internações por doenças respiratórias não se processam de maneira igual no espaço, além disso, impacta no complexo comportamento das variáveis socioeconômicas, ambientais etc. Este capítulo contribuiu com uma análise econométrico-espacial utilizando um painel de dados mais extenso que os de estudos anteriores, além de tratar a heterogeneidade espacial dos parâmetros por meio do modelo de Regressões Ponderadas Geograficamente em Painel (RPGP).

A Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) apontou na presença de autocorrelação espacial global para as internações por doenças respiratórias na região, em um padrão de concentração. Os diversos padrões de associação local indicados pela AEDE são levados em consideração na análise econométrica com dados em painel, com correção para a dependência espacial, além da estimativa dos coeficientes locais por RPGP. Para a análise econométrica, além do número de internações por doenças respiratórias e do incremento do

desmatamento anual, outras variáveis explicativas, relatadas em literatura como condicionantes da primeira, foram incluídas no modelo: área de floresta, densidade populacional, IND, PIB *per capita*, percentual da população urbana, razão capital-trabalho, temperatura média, precipitação, emissão de GEE, crédito rural e gastos com transporte.

A metodologia RPGP proporcionou a possibilidade de estimar coeficientes locais, de modo a captar a heterogeneidade espacial que se manifesta. Os resultados da estimação mostraram que este modelo foi mais adequado que o modelo linear clássico de coeficientes globais. Os testes realizados localmente apontaram que o modelo RPGP foi capaz de resolver os problemas de má-especificação de natureza espacial: dependência espacial e heterogeneidade espacial.

Os resultados do modelo RPGP apresentam coeficientes locais para as interações de doenças respiratórias na região da Amazônia Legal, localizadas principalmente na região central e nordeste, com o R^2 local explicando até 80% da relação estudada. Constatou-se, pela mediana, que os coeficientes estimados para as variáveis desmatamento, área de floresta, densidade populacional, IND, percentual da população urbana, temperatura, emissão de GEE, crédito rural e gastos com transporte foram positivos, isto é, há uma associação positiva com as interações por doenças respiratórias pelo município, enquanto, PIB *per capita*, razão capital-trabalho e precipitação tem relação negativa.

Como recomendações seguem alguns pontos: em primeiro lugar, os sistemas oficiais de vigilância e monitoramento em saúde precisam de evolução e melhorias sistemáticas, especialmente aqueles direcionados às populações indígenas. Nesse contexto, políticas que incentivem a exploração racional e aumentem a produtividade permitindo aumento da produção sem ter que expandir a exploração para novas áreas. Outro exemplo são políticas de compensação de crédito de carbono com finalidade de novas práticas, a fim de transformar os resíduos, que agora são queimados, em bioenergia.

Em segundo lugar, políticas consistentes de redução do desmatamento e queimadas na Amazônia são críticas e imediatas, principalmente, na área denominada arco do desmatamento. O tema tem sido foco de intensos debates políticos globais, muito centrados na importância para redução dos impactos da crise climática. Esse estudo evidencia que o combate ao desmatamento e à degradação do bioma amazônico é fundamental para a garantia de direitos básicos das populações locais, como acesso à saúde e um ambiente equilibrado.

É urgente que sejam desenvolvidos e implementados programas de vigilância epidemiológica e ambiental efetivos. A situação de saúde da população amazônica exposta aos incêndios florestais, principalmente os grupos mais vulneráveis, como gestantes, crianças,

idosos, e aquelas pessoas que apresentam comorbidades precisam de atenção dedicada. Apesar dessas populações não serem tratadas diretamente nesta pesquisa, pela literatura especializada, as mesmas devem ser vistas como população alvo dessas políticas. Os dados gerados por esses programas serão importantes para a elaboração de estratégias e implementação de ações de prevenção e mitigação aos impactos à saúde das populações amazônicas.

Concluindo, este trabalho contribui para a compreensão das interações por doenças respiratórias na Amazônia Legal como um processo heterogêneo no espaço. As relações causais encontradas são desigualmente distribuídas na região com base nos coeficientes locais estimados. As causas dela também apresentam variabilidade espacial. A metodologia adotada mostrou-se especialmente adequada para captar os aspectos espaciais envolvidos nessa relação. Por fim, acredita-se que os estudos e políticas para a Amazônia brasileira devem considerar, sobretudo, estas diferenças intrarregionais existentes. Portanto, mesmo quando se fala da Amazônia os impactos não ocorrem de forma homogênea. Esse é um ponto fundamental na adoção de políticas apontadas pelos resultados. Como sugestão para abordagem do espaço amazônico em estudos futuros, pode-se pensar em uma análise das covariáveis que estão relacionadas à estrutura fundiária, ou ainda, estudos especializados sobre o impacto do crédito rural, em linhas e programas na direção da sustentabilidade, o que pode ajudar a reduzir desmatamento, e conseqüentemente às interações por doenças respiratórias.

5 CONCLUSÃO

Fundamentada nas teorias de determinação da renda (macroeconomia) e na área de economia da saúde, a presente tese, estruturada em três ensaios, buscou explorar e investigar novas aplicações de métodos e técnicas que buscam melhores inferências e desempenhos em problemas já existentes em economia rural aplicada. Dessa maneira, a seguir estão apresentadas as principais evidências referentes a cada um dos capítulos que compõem esta pesquisa.

Diante das evidências encontradas no Capítulo 2, a partir dos dados provenientes do Banco Mundial e de outras fontes para o período entre 1990 e 2019, os resultados encontrados, através do modelo MMG, validam a hipótese adotada na presente pesquisa, a qual afirma que os extremos de precipitação, medido pelo índice SPI, são as influências climáticas dominantes no crescimento econômico e que os efeitos são significativos e negativos. A *dummy* de Seca, foi associada a uma influência positiva no PIB *per capita*, enquanto a *dummy* de inundação, Chuva, foi associada a uma influência negativa. Constatou-se que a temperatura tem efeito significativo menor do que a precipitação. Portanto, as estratégias de adaptação devem reconhecer a importância dos riscos de extremos de precipitação como uma das principais influências do clima no crescimento do PIB *per capita*.

No terceiro Capítulo, a partir de diferentes modelos espaciais, e dados secundários obtidos de diversas fontes, tais como: INPE, DATASUS, IBGE, entre outras, para o período entre 2000 a 2019, buscou-se investigar os condicionantes das internações por doenças respiratórias para a região da Amazônia Legal, em nível municipal. Os resultados da Análise Exploratória de Dados Espaciais sugeriram a existência de “*clusters*” em um padrão Alto-Alto na região do Arco do Desmatamento e na parte nordeste da referida região. Os resultados econométricos indicaram a presença de efeitos não-observados, sendo mais adequada a estimação pelo modelo SAC. As variáveis desmatamento, densidade populacional, emissão de GEE e crédito rural impactaram positivamente, enquanto, razão capital-trabalho e precipitação afetaram de modo negativo as internações por doenças respiratórias.

Por fim, o terceiro ensaio, com a mesma área de estudo, banco de dados e período do terceiro capítulo, partiu com o objetivo de investigar os preditores das internações por doenças respiratórias para a região da Amazônia Legal, agora, com o modelo de Regressão Ponderado Geograficamente em Painel (RPGP) considerando a dependência espacial. Os resultados da Análise Exploratória de Dados Espaciais foram os mesmos do segundo ensaio. Em relação à estimação do modelo RPGP resultou em parâmetros calculados para cada

município, sendo possível representar em mapa as diferentes relações encontradas, concentradas nas porções central e nordeste da Amazônia, com o R^2 local explicando até 80% da relação estudada. Constatou-se, pela mediana, que os coeficientes estimados para as variáveis desmatamento, área de floresta, densidade populacional, IND, percentual da população urbana, temperatura, emissão de GEE, crédito rural e gastos com transporte foram positivos, isto é, há uma associação positiva com as internações por doenças respiratórias pelo município, enquanto, PIB *per capita*, razão capital-trabalho e precipitação tem relação negativa.

REFERÊNCIAS

- AHN, S. C.; SCHIMDT, P. Efficient estimation of models for dynamic panel data. **Journal of Econometrics**, v. 68, p. 5-28, 1995.
- AGUIAR, A. P.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazônia: Exploring intra-regional heterogeneity. **Ecological Modelling**, v. 209, p. 169-188, 2007.
- ALENCAR, A. A. P. M.; ASNER, G. P., PUTZ, F. E. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon Forest fire regime. **Ecological Applications**, v. 25, p. 1493–1505, 2015.
- ALLEN J.; BARNES, D. The causes of deforestation in developing countries. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 75, n. 2, p. 163-184, 1985.
- ALMEIDA, E. **Econometria Espacial Aplicada**. Campinas, São Paulo: Alínea, 2012.
- ALVES, L. Surge of respiratory illnesses in children due to fires in Brazil's Amazon region. **The Lancet Respiratory Medicine**. Elsevier BV, v. 8, n. 1, p. 21-22, 2019.
- ANDERSEN, L. E.; REIS, E. J. Deforestation, development, and government policy in the Brazilian Amazon: an econometric analysis. **Texto para discussão**, n. 513. Brasília: IPEA, 23 p., 1997.
- ANDRADE, M. F.; KUMAR, P.; FREITAS, E. D.; YNOUE, R. Y.; MARTINS, J.; MARTINS, L. D.; NOGUEIRA, T.; PEREZ-MARTINEZ, P.; MIRANDA, R. M.; ALBUQUERQUE, T.; GONÇALVES, F. L. T.; OYAMA, B.; ZHANG, Y. Air quality in the megacity of São Paulo: evolution over the last 30 years and future perspectives. **Atmospheric Environment**, v. 159, p. 66–82, jun., 2017.
- ANDRÉ, P. A.; VERAS, M. M.; MIRAGLIA, S. G. K.; SALDIVA, E P. H. N. Lean diesel technology and human health: a case study in six Brazilian metropolitan regions. **Clinics**, [online], v. 67, n. 6, p. 639-646, 2012.
- ANGELSEN, A. Agricultural expansion and deforestation: modelling the impact of population, market forces and property rights. **Journal of Development Economics**, v. 58, n. 1, p. 185-218, fev., 1999.
- _____.; KAIMOWITZ, D. Rethinking the causes of deforestation: Lessons from economic models. **The World Bank Research Observer**, v. 14, n. 1, p. 73-98, fev., 1999.
- ANGHORBANI, M.; MOMENI, F.; MANSOURIAN, M. Systematic review and metaanalysis of air pollution exposure and risk of diabetes. **Eur J Epidemiol**, v. 29, n. 4, p. 231-42, abr., 2014.
- ANSELIN, L.; REY, S. J. **Modern spatial econometrics in practice: a guide to GeoDa, GeoDaSpace and PySAL**. GeoDa press llc, 2014.
- ANSELIN, L. Spatial econometrics: methods and models. **Springer Science &**

Business Media, v. 4, 2013.

ANSELIN, L. **Exploring Spatial Data with GeoDa**. A workbook spatial analysis laboratory, Department of geography university of Illinois. Urban-Champaign, Urban, IL 61801 and Centre for Spatially Integrated Social Science, 2005.

ANSELIN, L. **Spatial Econometrics**. Methods and models. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1988.

ARAÚJO, C.; BONJEAN, C. A.; COMBE, J. L.; MOTEL, P. C.; REIS, E. J. Property rights and deforestation in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 68, p. 2461-2468, 2009.

ARAÚJO, J. A.; CAVALCANTE, C. A.; MONTEIRO, V. B. Influência dos gastos públicos no crescimento econômico dos municípios do Ceará. *In: ECONOMIA DO CEARÁ EM DEBATE*, jun., 2010, Fortaleza. **Anais [...]** Economia do Ceará em Debate: IPECE, 2010.

ARBEX, M. A.; PEREIRA, L. A.; CARVALHO-OLIVEIRA, R.; SALDIVA, P. H.; BRAGA, A. L. The effect of air pollution on pneumonia-related emergency department visits in a region of extensive sugar cane plantations: a 30-month time-series study. **J Epidemiol Community Health**, v. 68, n. 7, p.669- 674, 2014.

ARELLANO, M.; BOND, S. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. **The Review of Economic Studies**, v. 58, n. 2, p. 277-297, 1991.

ARELLANO, M.; BOVER, O. Another look at the instrumental-variable estimation of error components model. **Journal of Econometrics**, v. 68, p. 29-52, 1995.

ARIMA, E.; SIMMONS, C.; WALKER, R.; COCHRANE, M. Fire in the Brazilian Amazon: A spatially explicit model for policy impact analysis. **Journal of Regional Science**, v. 47, n. 3, p. 541-567, ago., 2007.

ARIMA, E.; RICHARDS, P.; WALKER, R.; CALDAS, M. Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 6, n. 2, abr., 2011.

ARTAXO, P.; RIZZO, L. V.; BRITO, J. F.; BARBOSA, H. M. J.; ARANA, A.; SENA, E. T.; CIRINO, G. G.; BASTOS, W.; MARTIN, S. T.; ANDREAE, M. O. Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions. **Faraday Discuss**, v. 165, p. 203-235, 2013.

ARTAXO, P.; GERAB, F.; YAMASOE, M. A.; MARTINS, J. Fine mode aerosol composition at three long-term atmospheric monitoring sites in the Amazon Basin. **J Geophys Res**, v. 99, n. 11, p. 22857-22868, 1994.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: prices or policies? **Environment and Development Economics**, v. 20, n. 6, p. 697–722, 2015.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R.; ROCHA, R. The effect of rural credit on deforestation: evidence from the Brazilian Amazon, **The Economic Journal**, v.130, p. 290–330, fev., 2020.

BAARSCH, F.; GRANADILLOS, J. R.; HARE, W.; KNAUS, M.; KRAPP, M.; SCHAEFFER, M.; LOTZE-CAMPEN, H. The impact of climate change on incomes and convergence in Africa. **World Development**, n. 126, 2019.

BAO, Y; ULLAH, A. The second-order bias and mean squared error of estimators in timeseries models. **Journal of Econometrics**, v. 140, n. 2, p. 650–669, 2007.

BARBIER, E. B. Explaining agricultural land expansion and deforestation in developing countries. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 86, n. 5, p. 1347-1353, 2004.

BARBIER, E. B. The economic determinants of land degradation in developing countries. Philosophical Transactions: **Biological Sciences**, v. 352, n. 1356, p. 891-899, 1997.

BARBIER, E. B.; BURGESS J. C. The economics of tropical deforestation. **Journal of Economic Surveys**, v. 15, n. 3, p. 413-433, 2001.

BARCELLOS, C.; MONTEIRO, A. M. V.; CORVALÁN, C.; GURGEL, H. C.; CARVALHO, M. S.; ARTAXO, P.; HACON, S.; RAGONI, V. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v.18, n. 3, p. 285-304, 2009.

BARKER, T.; BASHMAKOV, I.; BERNSTEIN, L.; BOGNER J. E.; BOSCH P. R.; DAVE R.; DAVIDSON, O. R.; FISHER, B.S.; GUPTA, S.; HALSNAES, K.; HEIJ, B. J.; KAHN, R. S.; KOBAYASHI, S.; LEVINE, M. D.; MARTINO, D. K.; MASERA, O.; METZ, B.; MEYER, L.; NABUURS, G.-J.; NAJAM, A.; NAKICENOVIC, N.; ROGNER, H.-H.; ROY, J.; SATHAYE, J.; SCHOCK, R.; SHUKLA, P.; SIMS, R. E. H.; SMITH, P.; TIRPAK, D. A.; URGE-VORSATZ, D.; ZHOU, D. Technical summary. *In*: METZ, B.; DAVIDSON, O. R.; BOSCH, P. R.; DAVE, R.; MEYER, L. A. (org). **Climate Change 2007: Mitigation**. Cambridge University Press, Cambridge, p. 25-93, 2007.

BARRETO, P.; SILVA, D. Will cattle ranching continue to drive deforestation in the Brazilian Amazon. *In*: ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES MANAGEMENT IN DEVELOPING AND TRANSITION ECONOMIES, nov. 2010, Ferrand. **Anais [...]** International Conference, CERDI, Ferrand, France, 2010.

BARRIOS, S.; OUATTARA, B.; STROBL, E. The impact of climatic change on agricultural production: is it different for Africa? **Food Policy**, v. 33, p. 287–298, 2008.

BCB - BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Calculadora do cidadão**, 2022. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAOPUBLICO/exibirFormFinanciamentoPrestacoesFixas.do?method=exibirFormFinanciamentoPrestacoesFixas>. Acesso em: 4 jan. 2022.

BELL, M. L.; SAMET, J. M.; DOMINICI, F. Time-series studies of particulate matter. **Annu Rev Public Health**, v. 25, p. 247-280, 2004.

BELOTTI, F.; HUGHES, G.; MORTARI, A. P. Spatial panel data models using Stata. **The Stata Journal**, v. 17, n. 1, p. 139-180, 2016.

BENHIN, J. Agriculture and deforestation in the tropics: a critical theoretical and empirical review. **Ambio**, v. 35, n. 1, p. 9-16, 2006.

BHAVE, A. G.; CONWAY, D.; DESSAI, S.; STAINFORTH, D. A. Barriers and opportunities for robust decision making approaches to support climate change adaptation in the developing world. **Climate Risk Management**, v. 14, p. 1–10, 2016.

BLUNDELL, R.; BOND, S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. **Journal of Econometrics**, v. 87, p. 115-143, 1998.

BÖHM, G. M.; MASSAD, E.; SALDIVA, P. H. N.; GOUVEIA, M. A.; PASQUALUCCI, C. A. G.; CARDOSO, L. M. N.; CALDEIRA, M. P. R.; CALHEIROS, D. Comparative toxicity of alcohol and gasoline fueled automobile exhaust fumes. **Dev Toxicol Environ Sci**, v. 11, p. 479-482, 1983.

BÖHM, G. M.; SALDIVA, P. H. N.; PASQUALUCCI, C. A. G.; MASSAD, E.; MARTINS, M. A.; ZIN, W. A.; CARDOSO, W. V.; CRIADO, P. M. P.; KOMATSUZAKI, M.; SAKAE, R. S.. Biological effects of air pollution in São Paulo and Cubatão. **Environmental Research**, [s. l.], v. 49, n. 2, p. 208-216, 1989.

BRAGA, A. L. F.; PEREIRA, L. A. A.; PROCÓPIO, M.; ANDRÉ, P. A. DE; SALDIVA, P. H. N. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, Supl. 4, S570-S578, 2007.

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Poluentes Atmosféricos**, 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos.html>. Acesso em: 10 dez. 2021.

BROWN, C.; MEEKS, R.; GHILE, Y.; HUNU, K. Is water security necessary? An empirical analysis of the effects of climate hazards on national-level economic growth. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 371, p. 1–19, 2013.

BROWN, C.; MEEKS, R.; HUNU, K.; YU, W. Hydroclimatic risk to economic growth in Sub-Saharan Africa. **Climatic Change**, v. 106, p. 621–647, 2010.

BROWN, C.; LALL, U. Water and development: the role of variability and a framework for resilience. **Nat. Resour. Forum**, v. 30, p. 306–317, 2006.

BRUNA, F.; YU, D. Geographically Weighted Panel Regression and Development Accounting for European Regions. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON REGIONAL SCIENCE*, nov., 2016, Galiza. **Anais [...]** XLII Reunión de Estudios Regionales - AEER. Galiza, Espanha, 2016.

BRUNSDON, C.; FOTHERINGHAM, A. S.; CHARLTON, M. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. **Geographical Analysis**, v. 28, n. 4, p. 281–298, 1996.

BURKE, M.; HSIANG, S. M.; MIGUEL, E. Global non-linear effect of temperature on economic production. **Nature**, v. 1, p. 1–16, 2015.

CAI, R.; YU, D.; OPPENHEIMER, M. Estimating the spatially varying responses of corn yields to weather variations using geographically weighted panel regression. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 39, n. 2, p. 230–252, 2014.

CAMERON, P. A.; MITRA, B.; FITZGERALD, M.; SCHEINKESTEL, C. D.; STRIPP, A.; BATEY, C.; NIGGEMEYER, L.; TRUESDALE, M.; HOLMAN, P.; MEHRA, R.; WASIAK, J.; CLELAND, H. Black Saturday: the immediate impact of the February 2009 bushfires in Victoria, Australia. **Med J Aust**, v. 191, n. 1, p. 11-16, 2009.

CANÇADO, J. E. D.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; LARA, L. B. L. S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. A.; ARBEX, M. A.; ZANOBETTI, A.; BRAGA, A. L. F. The impact of sugar cane–burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. **Environmental Health Perspectives**, [s. l.], v. 114, n. 5, p. 725-729, 2006.

CARR D., SUTER L., BARBIERI A. Population dynamics and tropical deforestation: state of the debate and conceptual challenges. **Population and Environment**, v. 27, n. 1, p. 89-113, 2005.

CASETTI, E. Generating models by the expansion method: applications to geographical research. **Geographical Analysis**, v. 4, n. 1, p. 81–91, 1972.

CATRINESCU, N.; LEON-LEDESMA, M.; PIRACHA, M.; QUILLIN, B. Remittances, institutions, and economic growth. **World Development**, v. 37, n. 1, p. 81–92, 2009.

CHRISTIAENSEN, L.; DEMERY, L.; PATERNOSTRO, S. Growth, distribution and poverty in Africa: messages from the 1990s. World Bank Policy Research, **Working Paper**, n. 2810, 2002.

CHUNG, T. Y. Effectiveness of Korean official development assistance. **Int Bus Rev**, v. 20, n. 4, p. 211–229, 2016.

CLEMENS, M. A.; MCKENZIE, D. Why don't remittances appear to affect growth. **Working Paper**, n. 366, Washington, D. C., 2014.

CLEMENTS, B.; BHATTACHARYA, R.; NGUYEN, T. Q. External debt, public investment, and growth in low-income countries. IMF, **Working Paper**, n. WP/ 03/249. Washington, D. C., 2003.

COCHRANE, M. A., SCHULZE, M. D. Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. **Biotropica**, v. 31, n.1, p. 2-16, 1999.

COSTA, M. H.; PIRES, G. F. Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation. **Int. J. Climatol**, v. 30, p. 1970–1979, 2010.

COUMOU, D.; ROBINSON, A. Historic and future increase in the global land area affected by monthly heat extremes. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 3, 2013.

CRICHTON, D. The Risk Triangle. *In*: INGLETON, J. (ed). **Natural Disaster Management**, Tudor Rose, London, 102-103, 1999.

CROISSANT, Y; MILLO, G. Panel data econometrics in R: The plm Package. **Journal of Statistical Software**, v. 27, n. 2, p. 1-43, 2008.

CROPPER M., GRIFFITHS C. The interaction of population growth and environmental quality. **The American Economic Review**, v. 84, n. 2, p. 250- 254, 1994.

CULLAS, R.; DUTTA, D. The underlying causes of deforestation and environmental Kuznets curve: a cross-country analysis. *In*: **Econometric Society of Australia Meeting (ESAM)**. Brisbane: ESAM, 2002.

DANG, D. K., PATTERSON, A. C., CARRASCO, L. R. An analysis of the spatial association between deforestation and agricultural field sizes in the tropics and subtropics. **PLoS one**, v. 14, n. 1, e0209918, 2019.

DATASUS. Ministério da Saúde. **Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS)**, CID-10. Brasília, 2022. Disponível em: www.datasus.gov.br. Acesso em: 20 jan. 2022.

DEFRIES, R.; HEROLD, M.; VERCHOT, L.; MACEDO, M. N.; SHIMABUKURO, Y. Export-oriented deforestation in Mato Grosso: harbinger or exception for other tropical forests? **Phil. Trans. R. Soc. B**, v. 368, n. 1619, p. 1-8, 2013.

DEININGER K., MINTEN B. Poverty, policies, and deforestation: the case of Mexico. **Economic Development and Cultural Change**, v. 47, n. 2, p. 313-344, 1999.

DELL, M.; JONES, B. F.; OLKEN, B. A. Temperature shocks and economic growth: evidence from the last half century. **American Economic Journal: Macroeconomics**, v. 4, n. 3, p. 66–95, 2012.

DELL, M.; JONES, B. F.; OLKEN, B. A. Temperature and income: reconciling new cross-sectional and panel estimates. **Am. Econ. Rev.**, v. 99, n. 2, p. 198–204, 2009.

DE SIMONI, W. (org). O estado da qualidade do ar no Brasil. **Working Paper**. São Paulo, Brasil: WRI Brasil, 2021.

DE SOUZA, R. A.; MIZIARA, F.; DE MARCO JUNIOR, P. Spatial variation of deforestation rates in the Brazilian Amazon: a complex theater for agrarian technology, agrarian structure and governance by surveillance. **Land Use Policy**, v. 30, n. 1, p. 915-924, jan. 2013.

DEVARAJAN, S.; SWARROP, V.; ZOU, H. The composition of public expenditure and economic growth. **Journal of Monetary Economics**, v. 37, p. 313-344, 1996.

DIFFENBAUGH, N. S.; SCHERER, M. Observational and model evidence of global emergence of permanent, unprecedented heat in the 20(th) and 21(st) centuries. **Climatic Change**, v. 107, p. 615–624, 2011.

DINIZ, M. B.; DINIZ, M. J. T.; SILVA, A. B.; SIMÕES, J. E. M. Dinâmica de curto prazo do desmatamento da Amazônia Legal: análise do papel das políticas públicas no período de 2000 a 2010. **Economia Aplicada**, v. 22, n. 4, p. 177-206, 2018.

DO CARMO, C. N.; HACON, S. Estudos de séries temporais de poluição atmosférica por queimadas e saúde humana. **Ciências & Saúde Coletiva**, v. 18, n. 11, p. 3245-3258, 2013.

DO CARMO, C. N.; HACON, S.; DE FREITAS, K. M. L.; FREITAS, S. R. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. **Rev. Panam. Salud Publica**, v. 27, p. 10–16, 2010.

DOMINICI, F.; SHEPPARD, L.; CLYDE, M. Health effects of air pollution: a statistical review. **Int stat rev**, v. 71, n. 21, p. 243-276, 2003.

DOMINICI, F.; MCDERMOTT, A.; ZEGER, S. L.; SAMET, J. On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health. **Am J Epidemiol**, v. 156, n. 3, p. 193-203, 2002.

DONG, H.; YU, Y.; YAO, S.; LU, Y.; CHEN, Z.; LI, G.; YAO, Y.; YAO, X.; WANG, S. –L.; ZHANG, Z. Acute effects of air pollution on ischaemic stroke onset and deaths: a time-series study in Changzhou, China. **BMJ Open**, v. 8, e020425, p. 1–8, 2018.

DU, D.; ZHAO, X.; HUANG, R. The impact of climate change on developed economies. **Economic Letters**. Elsevier, v. 153 (C), p. 43-46, 2017.

EHRHARDT-MARTINEZ, K.; CRENSHAW, E.M.; JENKINS, J.C. Deforestation and the environmental kuznets curve: a cross-national investigation of intervening mechanisms. **Social Science Quaterly**, v 83, n. 1, 2002.

EIA. U.S - Energy Information Administration. **Petroleum & other liquids**, 2020. Disponível em: http://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_a.htm. Acesso em: 17 dez. 2020.

ELHORST, J. P. Specification and estimation of spatial panel data models. **International Regional Science Review**, v. 26, n. 3, p. 224-268, 2003.

ELHORST, J. P. Applied spatial econometrics: raising the bar. **Spatial Economic Analysis**, v. 5, n. 1, p. 9–28, 2010.

ELHORST, J. P.; FRÉRET, S. Evidence of political yardstick competition in France using a two-regime spatial Durbin model with fixed effects. **Journal of Regional Science**, v. 49, n. 5, p. 931–951, 2009.

ELLWANGER, J. H.; KULMANN-LEAL, B.; KAMINSKI, V. L.; VALVERDE-VILLEGAS, J.; VEIGA, A. B. G.; SPILKI, F. R.; CHIES, J. A. B. Beyond diversity loss and climate change: impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. **An Acad. Bras Ciências**, v. 92, n. 1, 2020.

EMARA, N.; JHONSA, E. Governance and economic growth: interpretation for MENA countries. **Topics in Middle Eastern and African Economies**, v. 16, n. 2, p. 164-183, 2014.

EMMANUEL, S. C. Impact to lung health of haze from forest fires: the Singapore experience. **Respirology**, v. 5, n. 2, p. 175-182, 2000.

EUROPEAN COMMISSION. **Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries, 2019 report**, 2019. Disponível em: <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=booklet2019>. Acesso em: 9 dez. 2019.

FANKHAUSER, S.; McDERMOTT, T. K. J. Understanding the adaptation deficit: why are poor countries more vulnerable to climate events than rich countries? **Global Environmental Change**, v. 27, p. 9–18, 2014.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. Global Forest Resources Assessment. **Forestry Paper**, n. 163, Roma, Italia, 340 p., 2010.

FÁVERO, L. P. (Org). **Métodos Quantitativos com o stata**. Campus. Rio de Janeiro, 248 p., 2014.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation of the Brazilian Amazon. *In*: SHUGART, H. (ed.), **Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science**. Oxford University Press, New York, USA, 2017.

FELBERMAYR, G.; GRÖSCHL, J. Naturally negative: The growth effects of natural disasters. **Journal of Development Economics**, v. 111, p. 92–106, 2014.

FIELD, R. D.; SHEN, S. S. P. Predictability of carbon emissions from biomass burning in Indonesia from 1997 to 2006. **J Geophys Res**, v.113, G4, G04024, 2008.

FRIED, J. S.; TORN, M. S.; MILLS, E. The impact of climate change on wild fire severity: a regional forecast for northern California. **Clim Change**, v. 64, p. 169-191, 2004.

FOTHERINGHAM, A. S., BRUNSDON, C., CHARLTON, M. Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships. **John Wiley & Sons Ltd**. West, Sussex, England, 284 p., 2002.

GARCIA, A. S.; VILELA, V. M.; RIZZO, R.; WEST, P.; GERBER, J. S.; ENGSTROM, P. M.; BALLESTER, M. V. R. Assessing land use/cover dynamics and exploring drivers in the Amazon's arc of deforestation through a hierarchical, multi-scale and multi-temporal classification approach. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v.15, n. 100233, 2019.

GASQUES, J. G. Gastos públicos na agricultura. **Texto para discussão**, n. 782. Brasília: IPEA, 33 p., 2001.

GEIST, H.; LAMBIN, E. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. **BioScience**, v. 52, n. 2, p. 143-150, 2002.

GOMES, S. C.; BRAGA, M. J. Desenvolvimento econômico e desmatamento na Amazônia Legal: uma análise econométrica. *In*: XLVI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA

DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER), jul., 2008, Acre. **Anais** [...] SOBER, 2008, 20 p.

GONÇALVES, K. S.; CASTRO, H. A.; HACON, S. S. As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. **Cien Saude Colet**, v. 17, n. 6, p. 1523-1532, 2012.

GROSSMAN, G. M. Pollution and growth. What do we know? *In*: GOLDIN, I.; WINTERS, A. (eds). **The Economics of Sustainable Development**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 19-47, 1995.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER A. Environmental impacts of a North American free trade agreement. *In*: GARBER, P. M. (ed). **The Mexico-US Free Trade Agreement**. The MIT Press, Cambridge, MA, USA, p. 13-57, 1991.

HACON, S. S.; GONÇALVES, K. S.; BARCELLOS, C.; OLIVEIRA-DA-COSTA, M. Amazônia brasileira: potenciais impactos das queimadas sobre a saúde humana no contexto da expansão da covid-19. **Nota Técnica**, FIOCRUZ e WWF-Brasil, mar., 2021.

HADDAD, E. A.; PIMENTEL, E. Análise da distribuição espacial da renda no Estado de Minas Gerais: uma abordagem setorial. **Texto para discussão**. NEREUS, São Paulo, 2004.

HALLEGATTE, S.; BANGALORE, M.; BONZANIGO, L.; FAY, M.; KANE, T.; NARLOCH, U.; VOGT-SCHILB, A. **Shock waves**: managing the impacts of climate change on poverty. The World Bank, 2015.

HALLEGATTE, S.; PRZYLUKI, V. The economics of natural disasters: Concepts and Methods. Policy Research, **Working Paper**, n. 5507. Washington, D. C., 2010.

HERRERA, S.; BLANCO, F. The quality of fiscal adjustment and the long run growth impact of fiscal policy in Brazil. Policy Research, **Working Papers**, World Bank, 2004.

HOFFMAN, M.; GRIGERA, A. I. **Climate change, migration, and conflict in the Amazon and the Andes**: rising tensions and policy options in South America. Washington, D. C., Center for American Progress, 2013.

HRW - Human Rights Watch; IEPS - Instituto de Estudos para Políticas de Saúde; IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. **O ar é insuportável**: Os impactos das queimadas associadas ao desmatamento da Amazônia brasileira na saúde. HRW, 2020.

HWANG, J. H.; PARK, H. N.; LEE, S. W.; LIM, H. B. An Empirical study on the aid effectiveness of official development assistance and its implications to Korea. **J Korean Reg Dev Assoc**, v. 28, n. 5, p. 177–198, 2016.

IAP - Instituto Ambiental do Paraná. **Projeto gestão de qualidade do ar**, 2020. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=92>>. Acesso em: 14 dez. 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contas Econômicas Ambientais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Estudos e pesquisas: informação geográfica número 9. Rio de Janeiro, 2012.

IGLIORI, D. C. Deforestation, growth and agglomeration effects: evidence from agriculture in the Brazilian Amazon. *In: XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA. Anais [...]* ANPEC, 2006.

IGNOTTI, E.; HACON, S. S.; JUNGER, W. L.; MOURÃO, D.; LONGO, K.; FREITAS, S.; ARTAXO, P.; LEON, A. C. M. P. Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in the subequatorial Amazon: a time series approach. **Cad saude publica**, v. 26, n. 4, p. 747-761, 2010.

IGNOTTI, E.; HACON, S. S.; SILVA, A. M. C.; JUNGER, W. L.; CASTRO, H. A. Efeitos das queimadas na Amazônia: método de seleção dos municípios segundo indicadores de saúde. **Rev Bras Epidemiol**, v. 10, p. 453-64, 2007.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Projeto Prodes 2022-Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite**, 2022. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>. Acesso em: 19 mar. 2022.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Relatório Monitoramento da Cobertura florestal da Amazônia por Satélites**. Sistemas PRODES, DETER, DEGRAD E QUEIMADAS 2007-2008, 2008.

INPE/TERRABRASILIS. **Taxas de desmatamento Amazônia Legal – estados**, 2021. Disponível em: http://terrabilis.dpi.inpe/app.dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates. Acesso em: 20 mar. 2021.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change, 2019: The physical science basis. Working Group I Report**, 2019.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability**. IPCC, p. 1757–1776, 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Special report on managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation (SREX)**. Geneva, Switzerland, 2012.

IPEA- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Revista desafios do desenvolvimento**. Edição 44, ano 5, jul, 2008.

IPEADATA: **base de dados macroeconômicos, financeiros e regionais do Brasil**. Plataforma Online, 2022. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/>. Acesso em: 17 out. 2021.

IRI - International Research Institute. **WASP Indices**, 2020. Disponível em: WASP Indices (columbia.edu). Acesso em: 14 dez. 2019.

ISS - Instituto de Saúde e Sustentabilidade. **Avaliação do impacto da implementação da fase P-8 do Proconve para a frota de veículos pesados na saúde pública com sua respectiva valoração econômica em seis regiões metropolitanas brasileiras**, 2019. Disponível em: https://www.saudeesustentabilidade.org.br/wp-content/uploads/2019/06/PROCONVE_ISS_ICS_2019.pdf. Acesso em: 14 dez. 2020.

JACOBS, J.; KREUTZER, R.; SMITH, D. Rice burning and asthma hospitalizations, Butte County, California, 1983-1992. **Environ Health Perspect**, v. 105, n. 9, p. 980-985, 1997.

JACOBSON, L. S. V.; HAGON, S. S.; CASTRO, H. A.; IGNOTTI, E.; ARTAXO, P.; SALDIVA, P. H. N.; LEON, A. C. M. P. Acute effects of particulate matter and black carbon from seasonal fires on peak expiratory flow of schoolchildren in the Brazilian Amazon. **PLoS ONE**, v. 9, e104177, 2014.

JACOBSON, M. Effects of biomass burning on climate, accounting for heat and moisture fluxes, black and brown carbon, and cloud absorption effects. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 119, 2014.

JALIL, A.; MAHMUD, S. F. Environment Kuznets curve for CO₂ emissions: A cointegration analysis for China. **Energy Policy**, v. 37, p. 5167–5172, 2009.

JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, R.; SÁNCHEZ, M. Oil price shocks and real GDP growth: empirical evidence for some OECD countries, ECB **Working Paper**, n. 362, European Central Bank (ECB), 2004.

JOHNSTON, F. H.; HENDERSON, S. B.; CHEN, Y.; RANDERSON, J. T.; MARLIER, M.; DEFRIES, R. S.; KINNEY, P.; BOWMAN, D. M. J. S.; BRAUER, M. Estimated global mortality attributable to smoke from landscape fires. **Environ. Health Perspect**, v. 120, p. 695-701, 2012.

JOSHI, P.; BECK, K. Environmental Kuznets curve for deforestation: evidence using GMM estimation for OECD and non-OECD regions. **iForest**, v. 10, p. 196-203, 2017.

KAHN, J. R.; MCDONALD, J. A. Third-world debt and tropical deforestation. **Ecological Economics**, v. 12, p. 107-123, 1995.

KANG, H. J.; KIM, K. K. The impact of S&TODA on economic growth of the recipient countries. **Sci Technol Policy**, v. 2, n. 1, p. 31–57, 2019.

KAUFMANN, D.; KRAAY, A. **Growth without governance**. Policy research working paper, nº 2928. The World Bank, 2002.

KEIM, M. E. Building human resilience: the role of public health preparedness and response as an adaptation to climate change. **Am j prev med**, v. 35, n. 5, p. 508-516, 2008.

KJELLSTROM, T.; KOVATS, R. S.; LLOYD, S. J.; HOLT, T.; TOL, R. S. J.; KOVATS, S.; TOL, R. S. J. The direct impact of climate change on regional labor productivity. **Archives of Environmental & Occupational Health**, v. 64, n. 4, p. 217–227, 2009.

KLOOSTER, D. Forest transitions in Mexico: institutions and forests in a globalized countryside. **The Professional Geographer**, v. 55, n. 2, p. 227-237, 2003.

KOOP, G., TOLE, L. Deforestation, distribution, and development. **Global Environmental Change**, v.11, p. 193-202, 2001.

KOROGLU, M.; SUN, Y. Functional-coefficient spatial Durbin models with nonparametric spatial weights: an application to economic growth. **Econometrics**, v. 4, n. 1, 2016.

KRONIK, J.; VERNER, D. **Indigenous peoples and climate change in Latin America and the Caribbean**. Directions in development series. Washington, D. C.: World Bank, 2010.

KUSUMA, A.; JACKSON, B.; NOY, I. A viable and cost-effective weather index insurance for rice in Indonesia. **Geneva Risk and Insurance Review**, v. 43, n. 2, p. 186-218, 2018.

LAURANCE, W. F.; GOOSEM, M.; LAURANCE, S. G. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. **Trends Ecol. Evol.**, v. 24, n. 12, p. 659–669, 2009.

LAURANCE, W. F. A crisis in the making: responses of Amazonian forests to land use and climate change. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 13, p. 411-415, 1998.

LAVORATO, M. P. **Assessing the feasibility of a weather index insurance for the semi-arid region of Brazil**. MG. 2020. 81 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.

LEE, L. -F. Asymptotic distributions of quasi-maximum likelihood estimators for spatial autoregressive models. **Econometrica**, v. 72, n. 6, p. 1899–1925, 2004.

LEE, L. -F.; YU, J. Identification of spatial Durbin panel models. **Journal of Applied Econometrics**, v. 31, n. 1, p. 133–162, 2016.

LESAGE, J.; PACE, R. K. **Introduction to spatial econometrics**, New York: CRC Press, 2009.

LI, C.; MANAGI, S. **GWPR.light**: geographically weighted panel regression. Versão pacote R, 2-10-2021.

LIN, Z. ML Estimation of spatial panel data geographically weighted regression model. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT AND SERVICE SCIENCE, Wuhan, China, 2011. **Anais [...]** MASS, Wuhan University, China, 2011.

LIXIA, L.; YAFANG, C.; SIWEN, W.; CHAO, W.; PÖHLKER, M.; PÖHLKER, C.; ARTAXO, P.; SHRIVASTAVA, M.; ANDREAE, M.; PÖSCHL, U.; SU, H. Impact of biomass burning aerosols on radiation, clouds, and precipitation over the Amazon during the

dry season: dependence of aerosol-cloud and aerosol-radiation interactions on aerosol loading. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 20, p. 13283-13301, 2020.

LÓPEZ R.; GALINATO, G. Deforestation and forest-induced carbon dioxide emissions in tropical countries: how do governance and trade openness affect the forest-income relationship? **The Journal of Environment and Development**, v. 14, n. 1, p.73-99, 2005.

LYON, B.; BARNSTON, A. G. ENSO and spatial extent of interannual precipitation extremes in tropical land areas. **J. Climate**, v. 18, p. 5095–5109, 2005.

MACHIN, A. B.; NASCIMENTO, L. F.; MANTOVANI, K.; MACHIN, E. B. Effects of exposure to fine particulate matter in elderly hospitalizations due to respiratory diseases in the South of the Brazilian Amazon. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 52, n. 2, e8130, 2019.

MARLIER, M. E.; DEFRIES, R. S.; VOULGARAKIS, A.; KINNEY, P. L.; RANDERSON, J. T.; SHINDELL, D. T.; CHEN, Y.; FALUVEGI, G. El Nino and health risks from landscape fire emissions in southeast Asia. **Nature Clim. Change**, v. 3, p. 131-136, 2013.

MARSHALL, M. G.; GURR, T. R.; JAGGERS, K. **Polity IV Project: Political Regime Characteristics and Transitions, 1800-2018**. Dataset Users Manual. Center for Systemic Peace, 2019. Disponível em <http://www.systemicpeace.org>. Acesso em: 21 dez. 2019.

MASCARENHAS, M. D. M.; VIEIRA, L. C.; LANZIERI, T. M.; LEAL, A. P. P. R.; DUARTE, A.F.; HATCH, D. L. Poluição atmosférica devido à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil – setembro, 2005. **J Bras Pneumol**, v. 34, p. 6-42, 2008.

MASSAD, E.; SALDIVA, P. H. N.; SALDIVA, C. D.; CALDEIRA, M. P. Do R.; CARDOSO, L. M. N.; MORAIS, A. M. S. DE; CALHEIROS, D. F.; SILVA, R. Da; MIKLÓS BÖHM, G. Acute toxicity of gasoline and ethanol automobile engine exhaust gases. **Toxicology Letters**, v. 26, p. 187-192, 1985.

MATHER A. S. Forest transition theory and the reforestation of Scotland. **Scottish Geographical Journal**, v. 120, p. 83-98, 2004.

MATHER A. S., NEEDLE C. L. The relationships of population and forest trends. **The Geographical Journal**, v. 166, n. 1, p. 2-13, 2000.

MCCARTHY S.; TACCONI L. The political economy of tropical deforestation: Assessing models and motives. **Environmental Politics**, v. 20, n. 1, p. 115-132, 2011.

MCDOWELL, J. Z.; HESS, J. J. Accessing adaptation: multiple stressors on livelihoods in the Bolivian highlands under a changing climate. **Climate Change, Social Stratification, and the Inequities of Intervention**, v. 22, p. 342–352, 2012.

MCMILLEN, D. P. One hundred fifty years of land values in Chicago: A nonparametric approach. **Journal of Urban Economics**, v. 40, n. 1, p. 100–124, 1996.

MENDELSON R.; BALICK, M. The value of undiscovered pharmaceuticals in tropical forests. **Economic Botany**, v. 49, p. 223-228, 1995.

MILLO, G.; PIRAS, G. splm: Spatial panel data models in R. **Journal of Statistical Software**, v. 47, n. 1, p. 1-38, 2012.

MOORE, F. C.; DIAZ, D. B. Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. **Nature Clim Change**, v. 5, n. 2, p. 127–131, 2015.

MORGAN, G.; SHEPPEARD, V.; KHALAJ, B.; AYYAR, A.; LINCOLN, D.; JALALUDIN, B.; BEARD, J.; CORBETT, S.; LUMLEY, T. Effects of bushfire smoke on daily mortality and hospital admissions in Sydney, Australia. **Epidemiology**, v. 21, n. 1, p. 47-55, 2010.

MORGAN, W. T.; DARBYSHIRE, E.; SPRACKLEN, D.V.; ARTAXO, P.; COE, H. Non-deforestation drivers of fires are increasingly important sources of aerosol and carbon dioxide emissions across Amazonia. **Scientific Reports Nature**, v. 9, 2019.

MOTT, J. A.; MANNINO, D. M.; ALVERSON, C. J.; KIYU, A.; HASHIM, J. L. T; FALTER, K.; REDD, S. C. Cardiorespiratory hospitalizations associated with smoke exposure during the 1997, Southeast Asian forest fires. **Int j Hyg environ health**, v. 208, p. 75-85, 2005.

NAHER, L. P.; BRAUER, M.; LIPSETT, M.; ZELIKOFF, J. T.; SIMPSON, C. D.; KOENIG, J. Q.; SMITH, K. R. Woodsmoke health effects: a review. **Inhal Toxicol**, v. 19, n.1, p. 67-106, 2007.

NAIBBI, A. I.; HEALEY, R. G. Using geographically weighted regression to estimate the spatial patterns of fuelwood utilization in Nigeria. **Am. J. Geogr. Inf. Syst.**, v. 3, n. 3, p. 109–121, 2014.

NANGOMBE, S.; ZHOU, T.; ZHANG, W.; WU, B.; HU, S.; ZOU, L.; LI, D. Recordbreaking climate extremes in Africa under stabilized 1.5 °C and 2 °C global warming scenarios. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 5, p. 375–380, 2018.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **POWER Data Access Viewer**. Prediction Of Worldwide Energy Resources, 2022. Disponível em <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Acesso em: 13 dez. 2020.

NASCIMENTO, A. P.; SANTOS, J. M.; MILL, J. G.; SOUZA, J. B.; REIS JÚNIOR, N. C.; REISEN, V. A. Associação entre concentração de partículas finas na atmosfera e doenças respiratórias agudas em crianças. **Rev Saúde Pública**, v. 51, n. 3, 2017.

NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; STICKLER, C.; ALENCAR, A.; AZEVEDO, A.; SWETTE, B.; BEZERRA, T.; DIGIANO, M.; SHIMADA, J.; MOTTA, R. S.; ARMIJO, E.; CASTELLO, L.; BRANDO, P.; HANSEN, M. C.; MCGRATH-HORN, M.; CARVALHO, O.; HESS, L. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1118-23, jun. 2014.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J. P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA, U. L.; PRINS, E. Road paving, fire

regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v. 154, p. 395–407, 2001.

NORDHAUS, W. D. Estimates of the social cost of carbon: background and results from the rice-2011 model. Cowles Foundation, **Discussion Paper**, n .1826. New Haven, CT, 2011.

NORDHAUS, W. D. Geography and macroeconomics: new data and new findings. **Proc. Natl Acad. Sci.**, v. 103, p. 3510–3517, 2006.

NORDHAUS, W. D.; BOYER, J. **Warming the world: economic models of global warming**. Cambridge, MA: MIT Press, 2000.

NYANGARIKA, A. M.; MIKHAYLOV, A. Y.; TANG, B. J. Correlation of oil prices and gross domestic product in oil producing countries. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 8, n. 5, p. 42-48, 2018.

OLIVEIRA, G.; CHEN, J. M.; MATAVELI, G. A. V.; CHAVES, M. E. D.; SEIXAS, H. T.; CARDOZO, F. S.; SHIMABUKURO, Y. E.; HE, L.; STARK, S. C.; SANTOS, C. A. C. Rapid recent deforestation incursion in a vulnerable indigenous land in the Brazilian amazon and fire-driven emissions of fine particulate aerosol pollutants. **Forests**, v. 11, n. 829, 2020.

OLIVEIRA, R. C.; ALMEIDA, E.; FREGUGLIA, R. S.; BARRETO, R. C. S.. Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: uma análise da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia Legal. **RESR**, Piracicaba, v. 49, n. 03, p. 709-740, jul/set, 2011.

OLIVEIRA, P. H. F.; ARTAXO, P.; PIRES, C.; DE LUCCA, S.; PROCÓPIO, A.; HOLBEN, B.; SCHAFFER, J.; CARDOSO, L. F.; WOFSY, S. C.; ROCHA, H. R. The effects of biomass burning aerosols and clouds on the CO₂ flux in Amazonia, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, v. 59, n. 3, p. 338-349, 2007.

OLIVEIRA, P. C. S. S.; SANTOS, A. M.; FERREIRA, N. C. Modelagem dinâmica do desmatamento no sul da Amazônia Ocidental. **Bol. geogr.** Maringá, v. 37, n. 3, p. 188–206, 2019.

ORD, K. Estimation methods for models of spatial interaction. **Journal of the American Statistical Association**, v. 70, n. 349, p. 120–126, 1975.

ORTEGA-GARCÍA, J. A.; SÁNCHEZ-SOLÍS, M.; FERRÍS-TORTAJADA, J. Contaminación atmosférica y salud de los niños. **An Pediatr (Barc)**, v. 89, p. 77-79, 2018.

PATTILLO, C.; RICCI, L. A. External debt and growth. **Review of Economics and Institutions**, v. 2, n. 30, 2011.

PERES, F. Saúde, trabalho e ambiente no meio rural brasileiro. **Cien Saude Colet**, v. 14, n. 6, p. 1995-2004, 2009.

PERZ S.; SKOLE D. Secondary forest expansion in the Brazilian Amazon and the refinement of forest transition theory. **Society and Natural Resources**, v. 16, p. 277-294, 2003.

PERZ, S. G. Social determinants and land use correlates of agricultural technology adoption in a forest frontier: a case study in the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, Jakarta, v. 31, n. 1, p. 231-248, 2003.

PERZ, S. G.; ARAMBURÚ, C.; BREMNER, J. Population, land use and deforestation in the Pan Amazon basin: a comparison of Brazil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Peru and Venezuela. **Environment, Development and Sustainability**, Dordrecht, v. 7, n. 1, p. 23-49, Springer 2005.

PFAFF, A. S. P. What drives deforestation in the Brazilian Amazon? **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 37, n. 1, p. 26-43, jan. 1999.

PINHEIRO, T. F.; ESCADA, M. S. I.; VALERIANO, D. M.; HOSTERT, P.; GOLLONOW, F.; MULLER, U. Forest degradation associated with logging frontier expansion in the Amazon: the BR-163 region in southwestern Pará. **Earth Interactions**, v. 20, n. 17, p. 1–26, 2016.

PÖSCHL, U.; MARTIN, S. T.; SINHA, B.; CHEN, Q.; GUNTHER, S. S.; HUFFMAN, J. A.; BORRMANN, S.; FARMER, D. K.; GARLAND, R. M.; HELAS, G.; JIMENEZ, J. L.; KING, S. M.; MANZI, A.; MIKHAILOV, E.; PAULIQUEVIS, T.; PETERS, M. D.; PRENNI, A. J.; ROLDIN, P.; ROSE, D.; SCHNEIDER, J.; SU, H.; ZORN, S. R.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M. O. Rainforest aerosols as biogenic nuclei of clouds and precipitation in the Amazon. **Science**, v. 329, p. 1513-1516, 2010.

PRATES, R. C. **O desmatamento desigual na Amazônia brasileira: sua evolução, suas causas e conseqüências para o bem-estar**. SP, 2008. 160 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

QIN, X.; YU, W. Foreign direct investment, economic growth and environmental pollution: An empirical study based on spatial panel data of 259 prefecture-level cities in China. **Macroeconomy Research**, v. 36, p. 99–103, 2016.

RAIS - Relação Anual de Informações Sociais. Ministério da Economia. **Cadastro Geral de Empregados e Desempregados**. Brasília, 2022.

REDDINGTON, C. L.; BUTT, E. W.; RIDLEY, D. A.; ARTAXO, P.; MORGAN, W. T.; COE, H.; SPRACKLEN, D. V. Air quality and human health improvements from reductions in deforestation-related fire in Brazil. **Nature Geoscience**, [s. l.], v. 8, n. 10, p. 768-771, 2015.

RÉQUIA JÚNIOR, W. J. **Modelagem espacial da exposição humana às fontes de poluição do ar no Distrito Federal: o uso e ocupação do solo como variável preditora**. DF. 2015. 316 f. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

REN, C.; TONG, S. Health effects of ambient air pollution - recent research development and contemporary methodological challenges. **Environ health**, v. 7, n. 56, 2008.

RODRIGUES, R. V.; TEIXEIRA, E. C. Gasto público e crescimento econômico no Brasil: uma análise comparativa dos gastos das esferas de governo. **Revista Brasileira de Economia**. Rio de Janeiro, v. 64, n. 4m, p. 423-438, out/dez, 2010.

RODRIGUEZ-OREGGIA, E.; FUENTE, A. De La; TORRE, R. De La.; MORENO, H. A. Natural disasters, human development and poverty at the municipal level in Mexico. **J. Dev. Stud**, v. 49, p. 442–55, 2013.

RODRIK, D.; SUBRAMANIAN, A.; TREBBI, F. Institutions rule: the primacy of institutions over geography and integration in economic development. **J. Econ. Growth**, v. 9, p. 131–165, 2004.

ROSA, A. M.; IGNOTTI, E.; HACON, S. S.; CASTRO, H. A. Analysis of hospitalizations for respiratory diseases in Tangará da Serra, Brazil. **J Bras Pneumol**, v. 34, p. 575-82, 2008.

RUDEL T.; BATES D.; MACHINGUIASHI, R. A tropical forest transition? Agricultural change, outmigration, and secondary forests in the Ecuadorian Amazon. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 92, n. 1, p. 87-102, 2002.

RUDEL T. K.; COOMES O. T.; MORAN, E.; ACHARD, F.; ANGELSON, A.; XU, J.; LAMBIN, E. Forest transitions: towards a global understanding of land use change. **Global Environmental Change**, v. 15, p. 23-31, 2005.

RUPASINGHA, A.; GOETZ, S. J.; DEBERTIN, D. L.; PAGOULATOS, A. The environmental Kuznets curve for US counties: A spatial econometric analysis with extensions. **Regional Science**, v. 83, p. 407-424, 2004.

SACCARO JUNIOR, N. L.; MATION, L. F.; SAKOWSKI, P. A. M. Impacto do desmatamento sobre a incidência de doenças na Amazônia. **Texto para discussão**, n. 2142. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2015.

SACHS, J. D. Tropical underdevelopment. National Bureau of Economic Research, **Working Paper**, n. 8119, p. 1–37, 2001.

SACHS, J; MALANEY, P. The economic and social burden of malaria. **Nature**, v. 415, p. 680–685, 2002.

SALDIVA, P. H. N.; LICHTENFELS, A. J. F.C.; PAIVA, P. S. O.; BARONE, I. A.; MARTINS, M. A.; MASSAD, E.; PEREIRA, J. C. R.; XAVIER, V. P.; SINGER, J. M.; BOHM, G. M. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. Elsevier BV. **Environmental Research**, [s. l.], v. 65, n. 2, p. 218-225, 1994.

SALDIVA, P. H. N.; POPE, C. A.; SCHWARTZ, J.; DOCKERY, D. W.; LICHTENFELS, A. J.; SALGE, J. M.; BARONE, I.; BOHM, G. M. Air Pollution and Mortality in Elderly People: a time-series study in São Paulo, Brazil. **Archives of Environmental Health: an International Journal**, [s. l.], v. 50, n. 2, p. 159-163, 1995.

SÁNCHEZ, L.; REYES, O. **Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe**: una revisión general. Estudios del cambio climático en América Latina. Santiago de Chile: Cepal, 2015.

SANT'ANNA, A. A.; ROCHA, R. Health impacts of deforestation: related fires in the Brazilian Amazon. IEPS, **Nota Técnica**, nº11, 2020.

SANTOS, A. M.; SILVA, C. F. A.; ALMEIDA JUNIOR, P. M.; RUDKE, A. P.; MELO, S. N. Deforestation drivers in the Brazilian Amazon: assessing new spatial predictors. **Journal of Environmental Management**, v. 294, 2021.

SANTOS, A. S. **Os impactos do desmatamento na incidência de malária na Amazônia: uma análise espacial**. SP, 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

SANTOS, R. B. N.; DINIZ, M. B.; DINIZ, M. J. T.; RIVERO, S. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, J. N. Estimativa da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia Legal. *In*: XLVI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, jul. 2008, Acre. **Anais [...]** SOBER, Acre, 2008.

SASTRY, N. Forest fires, air pollution, and mortality, in Southeast Asia. **Demography**, v. 39, n. 1, p. 1-23, 2002.

SCHLENKER, W.; LOBELL, D. B. Robust negative impacts of climate change on African agriculture. **Environmental Research Letters**, v. 5, n. 14010, 2010.

SCHWARTZ, J.; MARCUS, A. Mortality and air pollution in London: a time series analysis. **Am J Epidemiol**, v. 131, n. 1, p. 185-194, 1990.

SCHWARTZ, J.; SPIX, C.; TOULOUMI, G.; BACHAROVA, L.; BARUMAMDZADEH, T.; TERTRE, A.; PIEKARKSI, T.; LEON, A. P.; PONKA, A.; ROSSI, G.; SAEZ, M.; SCHOUTEN, J. P. Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions. **J epidemiol community health**, v. 50, Supl. 1, p. S3-S11, 1996.

SCHIMMEL, H. Evidence for possible acute health effects of ambient air pollution from time series analysis: methodological questions and some new results based on new york city daily mortality, 1963-1976. **Bull N Y Acad Med.**, v. 54, n. 11, p. 1052-1108, 1978.

SCRIECIU, S. S. Can economic causes of tropical deforestation be identified at a global level? **Ecological Economics**, v. 62, p. 603-612, 2007.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Plataforma SEEG**, 2022. Disponível em: <http://seeg.eco.br>. Acesso em: 23 mar. 2022.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil**. Observatório do Clima, 2019.

SEILER, R. A.; HAYES, M.; BRESSAN, L. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. **International Journal of Climatology**, v. 22, n. 11, p. 1365–1376, 2002.

SHLISKY, A.; ALENCAR, A.; MANTA, M.; CURRAN, L. M. Overview: global fire regime conditions, threats, and opportunities for fire management in the tropics. *In*: COCHRANE, M. A. (ed). **Tropical fire ecology: Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics**. Springer, New York, p. 65-83, 2009.

SILVA, P. R. S.; IGNOTTI, E.; OLIVEIRA, B. F. A.; JUNGER, W. L.; MORAIS, F.; ARTAXO, P.; HACON, S. High risk of respiratory diseases in children in the fire period in Western Amazon. **Revista de Saúde Pública**, v. 50, n. 29, Jun, 2016.

SILVA, J. H. G. Economic causes of deforestation in the Brazilian Amazon: an empirical analysis of the 2000s. *In: XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA*, 2009, Foz do Iguaçu. **Anais [...]** ANPEC, Foz do Iguaçu, 2009.

SILVA, F. F.; FULGINITI, L. E.; PERRIN, R. K. The cost of forest preservation in the Brazilian Amazon: the “arc of deforestation.” **J. Agric. Resour. Econ. Times**, v. 44, p. 497–512, 2019.

SILVA, C. A.; SANTILLI, G.; SANO, E. E.; LANEVE, G. Fire occurrences and greenhouse gas emissions from deforestation in the Brazilian amazon. **Remote sens**, v. 13, n. 376, 2021.

SILVA, A. C. O.; FONSECA, L. M. G.; KORTING, T. S.; ESCADA, M. I. S. A spatio-temporal Bayesian network approach for deforestation prediction in an Amazon rainforest expansion frontier. **Spatial Statistics**, v. 35, p. 1–17, 2020.

SMITH, L. T.; ARAGÃO, L. E. O. C.; SABEL, C. E.; NAKAYA, T. Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. **Sci. Rep.**, v. 4, n. 3726, 2014.

SOARES, K. V. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1984 a 1987. **Floresta**, v. 18, n. 12, p. 94-121, 1988.

SPEKTOR, D. M.; HOFMEISTER, V. A.; ARTAXO, P.; BRAGUE, J. A. P.; ECHELAR, F.; NOGUEIRA, D. P.; HAYES, C.; THURSTON, G. D.; LIPPMANN, M. Effects of heavy industrial pollution on respiratory function in the children of Cubatãoao, Brazil: a preliminary report. **Environmental Health Perspectives**, [S.L.], v. 94, p. 51-54, 1991.

STERN, N. S.; PETERS, V.; BAKHSHI, A.; BOWEN, C.; CAMERON, S.; CATOVSKY, D.; CRANE, S.; CRUICKSHANK, S.; DIETZ, N.; EDMONSON, S.-L.; GARBETT, L.; HAMID, G.; HOFFMAN, D.; INGRAM, B.; JONES, N.; PATMORE, H.; RADCLIFFE, R.; SATHIYARAJAH, M.; STOCK, C.; TAYLOR, T.; VERNON, H.; WANJIE, D.; ZENGHELIS. **Stern review: The economics of climate change**, HM Treasury, London, 2006.

STIEB, D. M.; JUDEK, S.; BURNETT, R. T. Meta-Analysis of time-series studies of air pollution and mortality: effects of gases and particles and the influence of cause of death, age and season. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 52, n. 41, p. 470-484, 2004.

SUN, Z.; ZHU, D. Exposure to outdoor air pollution and its human health outcomes: a scoping review. **PLoS ONE**, v. 14, n. 5, 2019.

TABAK, B. M.; MIRANDA, R. B.; FAZIO, D. M. A geographically weighted approach to measuring efficiency in panel data: The case of US saving banks. **Journal of Banking & Finance**, v. 37, n. 10, p. 3747–3756, 2013.

TACCONI, L.; MOORE, P. F.; KAIMOWITZ, D. Fires in tropical forests: what is really the problem? Lessons from Indonesia. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 12, n. 1, p. 55-66, 2007.

TANAKA, S.; NISHII, R. A model of deforestation by human population interactions. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 4, p. 83–92, 1997.

TOL, R. S. J. Estimates of the damage costs of climate change. Part 1: benchmark estimates. **Environ. Resour. Econ.**, v. 21, p. 47–73, 2002.

TRIGUEIRO, W. R.; NABOUT, J. C.; TESSAROLO, G. Uncovering the spatial variability of recent deforestation drivers in the Brazilian Cerrado. **J. Environ. Manag.**, v. 275, n. 111243, 2020.

TU, Z.; HU, T.; SHEN, R.. Evaluating public participation impact on environmental protection and ecological efficiency in China: evidence from PITI disclosure. **China Economic Review**, v. 55, p. 111–123, 2019.

UZOIGWE, J. C.; PRUM, T.; BRESNAHAN, E.; GARELNABI, M. The emerging role of outdoor and indoor air pollution in cardiovascular disease. **North Am J Med Sci**, v. 5, p. 445-453, 2013.

VARMA, A. The economics of slash and burn: a case study of the 1997-1998 Indonesian forest fires. **Ecol econ**, v. 46, n. 1, p. 159-171, 2003.

VICENTE-SERRANO, S. M.; LÓPEZ-MORENO, J. I. Hydrological response to different time scales of climatological drought: An evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 9, n. 5, p. 523–533, 2005.

VISWANATHAN, S.; ERIS, L.; DIUNUGALA, N.; JOHNSON, J.; McCLEAN, C. An analysis of effects of San Diego wildfire on ambiente air quality. **Journal os Air Waste Management Association**, v. 56, n. 1, p. 56-67, 2006.

VORMITTAG, E. M. P. A.; RODRIGUES, C. G.; ANDRÉ, P. A.; SALDIVA, P. H. N. Assessment and Valuation of Public Health Impacts from Gradual Biodiesel Implementation in the Transport Energy Matrix in Brazil. **Aerosol and Air Quality Research**, [S.L.], v. 18, n. 9, p. 2375-2382, 2018.

WEINHOLD, D.; REIS, E. J. **Land use and transportation costs in the brazilian Amazon**. Rio de Janeiro: IPEA, 32 p., 2003.

WEINHOLD, D.; REIS, E.J. Model evaluation and causality testing in short panels: the case of infrastructure provision and population growth in the brazilian Amazon. **Journal of Regional Science**, London, v. 41, n. 4, p. 639-658, 1999.

WHEELER, D. C.; PÁEZ, A. Geographically weighted regression. *In*: FISCHER, M. M.; GETIS, A. (ed.). **Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Applications**. Berlin: Springer-Verlag, 2010.

WINDMEIJER, F. A finite sample correction for the variance of linear efficient two-step GMM estimators. **Journal of Econometrics**, v. 126, p. 25-51, 2005.

WMO - World Meteorological Organization. **Standardized Precipitation Index (SPI)** User Guide. Geneva, Switzerland, 2012.

WOOLDRIGE, J. M. **Introductory Econometrics: A Modern Approach**. 6 ed. Cengage Learning: Boston, MA, EUA, 2016.

WORLD BANK. **World Development Indicators**, 2020. Disponível em: <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-developmentindicators>. Acesso em: 18 dez. 2019.

WU, H.; SVOBODA, M. D.; HAYES, M. J.; WILHITE, D. A.; WEN, F. Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 1, p. 65–79, 2007.

WU, G.; ZENG, Y.; XIAO, P.; FENG, X.; HU, X. Using autologistic spatial models to simulate the distribution of land-use patterns in Zhangjiajie, Hunan Province. **J. Geogr. Sci.**, v. 20, n. 2, p. 310–320, 2010.

WU, J.; WINER, A. M.; DELFINO, R. J. Exposure assessment of particulate matter air pollution before, during, and after the 2003 Southern California wildfires. **Atmos environ**, v. 40, n. 18, p. 3333-3348, 2006.

YANG, X.; JIANG, P.; PAN, Y. Does China's carbon emission trading policy have an employment double dividend and a Porter effect? **Energy Policy**, v. 142, n. 111492, 2020.

YOUSOUF, H.; LIOUSSE, C.; ROBLOU, L.; ASSAMOI, E.-M.; SALONEN, R. O.; MAESANO, C.; BANERJEE, S.; ANNESI-MAESANO, I. Non-accidental health impacts of wildfire smoke. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 11, p. 11772–11804, 2014.

YU, D. Exploring spatiotemporally varying regressed relationships: the geographically weighted panel regression analysis. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 38, n. 2, p. 134–139, 2010.

YU, J.; DE JONG, R.; LEE, L. -F. Quasi-maximum likelihood estimators for spatial dynamic panel data with fixed effects when both n and T are large. **Journal of Econometrics**, v. 146, n. 1, p. 118–134, 2008.

YUAN, Y.; GUO, J.; SUN, J. Structure, technology, management and energy using efficiency: Analysis based on 2000-2010 provincial panel data in China. **China Industrial Economy**, v. 28, p. 18–30, 2012.

ZHANG, M.; SHAN, C.; WANG, W.; PANG, J.; GUO, S.. Do driving restrictions improve air quality: Take Beijing-Tianjin for example? **Science of the Total Environment**, v. 712, n. 136408, 2020.