



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE ESTUDOS SOCIAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

FELIPE SOARES ESTEVES

**IMPACTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS MUNICÍPIOS
DO ESTADO DO AMAZONAS: UMA PERSPECTIVA LONGITUDINAL**

**MANAUS – AM
2026**

FELIPE SOARES ESTEVES

**IMPACTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS MUNICÍPIOS
DO ESTADO DO AMAZONAS: UMA PERSPECTIVA LONGITUDINAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Yunier Sarmiento Ramírez.

MANAUS – AM
2026

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

E79i Esteves, Felipe Soares
Impactos econômicos das mudanças climáticas nos municípios do estado do Amazonas: uma perspectiva longitudinal / Felipe Soares Esteves. - 2026.
101 f. : il., p&b. ; 31 cm.

Orientador(a): Yunier Sarmiento Ramírez.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Economia, Manaus, 2026.

1. mudanças climáticas. 2. anomalias climáticas. 3. impactos econômicos. 4. dados em painel. 5. Amazonas. I. Ramírez, Yunier Sarmiento. II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Economia. III. Título

FELIPE SOARES ESTEVES

**IMPACTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS MUNICÍPIOS
DO ESTADO DO AMAZONAS: UMA PERSPECTIVA LONGITUDINAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Economia da Universidade Federal do Amazonas,
como requisito parcial para obtenção do título de Mestre
em Economia.

Área de concentração: Economia.

Orientador: Prof. Dr. Yunier Sarmiento Ramírez.

Aprovado em: 12 de agosto de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Yunier Sarmiento Ramírez, Presidente
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Ademir Antônio Moreira Rocha, Membro
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Marcelo Bentes Diniz, Membro
Universidade Federal do Pará – UFPA

RESUMO

As mudanças climáticas constituem uma fonte crescente de riscos econômicos, particularmente em territórios vulneráveis a alterações hidrológicas e à ocorrência de eventos climáticos extremos. No estado do Amazonas, a forte dependência dos regimes fluviais e das condições ambientais torna os municípios especialmente suscetíveis a variações climático-hidrológicas e a condições climáticas atípicas. Nesse contexto, esta dissertação investigou as associações entre anomalias climáticas e indicadores econômicos e fiscais dos municípios amazonenses no período de 2014 a 2024. A pesquisa adotou abordagem quantitativa, com base na construção de uma base de dados em painel contendo informações econômicas, fiscais, demográficas e climáticas para os 62 municípios do estado do Amazonas. Os dados climáticos foram obtidos da base TerraClimate e processados para a construção de indicadores anuais expressos como anomalias climáticas padronizadas, calculadas em relação à normal climatológica histórica municipal de 1958–1987. Essa estratégia permitiu mensurar desvios nas condições de temperatura, precipitação e disponibilidade hídrica em relação aos padrões históricos locais. As variáveis econômicas e fiscais foram obtidas em bases oficiais nacionais e integradas em uma estrutura longitudinal compatível com as análises propostas. A estratégia empírica compreendeu análise exploratória dos dados, análise de correlação canônica e estimação de modelos econométricos de dados em painel, incluindo diferentes especificações, estruturas temporais e testes diagnósticos destinados à avaliação da robustez dos resultados. Adicionalmente, foram realizadas análises complementares para investigar associações relacionadas à ocorrência de eventos climáticos extremos. Os resultados evidenciaram que as variáveis associadas às condições hidrológicas apresentaram maior capacidade explicativa sobre os indicadores analisados em comparação às variáveis térmicas. As associações estimadas mostraram-se mais consistentes para os indicadores fiscais municipais do que para o produto interno bruto real per capita, além de apresentarem comportamento heterogêneo entre os municípios e as especificações examinadas. As evidências reforçam a relevância de incorporar os riscos climático-hidrológicos ao planejamento e à gestão pública municipal. Como produto técnico-tecnológico, foi desenvolvido o Manual Técnico de Construção de Bases de Dados Aplicadas, voltado à sistematização dos procedimentos de extração, tratamento, atualização e integração de dados econômicos e climáticos para análises em escala municipal.

Palavras-chave: mudanças climáticas; anomalias climáticas; impactos econômicos; dados em painel; Amazonas.

ABSTRACT

Climate change constitutes a growing source of economic risk, particularly in territories vulnerable to hydrological changes and extreme climate events. In the state of Amazonas, the strong dependence on river regimes and environmental conditions makes municipalities especially susceptible to climate-hydrological variability and atypical climatic conditions. In this context, this dissertation investigated the associations between climate anomalies and economic and fiscal indicators in Amazonas municipalities from 2014 to 2024. The study adopted a quantitative approach based on the construction of a panel database containing economic, fiscal, demographic, and climatic information for the 62 municipalities in the state of Amazonas. Climatic data were obtained from the TerraClimate database and processed to construct annual indicators expressed as standardized climate anomalies, calculated in relation to the historical municipal climatological normal for 1958–1987. This strategy made it possible to measure deviations in temperature, precipitation, and water-availability conditions from local historical patterns. Economic and fiscal variables were obtained from official national databases and integrated into a longitudinal structure compatible with the proposed analyses. The empirical strategy comprised exploratory data analysis, canonical correlation analysis, and the estimation of panel data econometric models, including different specifications, temporal structures, and diagnostic tests aimed at assessing the robustness of the results. In addition, complementary analyses were conducted to investigate associations related to the occurrence of extreme climate events. The findings showed that variables associated with hydrological conditions had greater explanatory power for the analyzed indicators than thermal variables. The estimated associations were more consistent for municipal fiscal indicators than for real gross domestic product per capita and displayed heterogeneous patterns across municipalities and model specifications. The evidence reinforces the relevance of incorporating climate-hydrological risks into municipal planning and public management. As a technical-technological product, the Technical Manual for Building Applied Databases was developed to systematize procedures for the extraction, processing, updating, and integration of economic and climatic data for municipal-scale analyses.

Keywords: climate change; climate anomalies; economic impacts; panel data, Amazonas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Estudos mais citados sobre impactos econômicos das mudanças climáticas	26
Quadro 2– Variáveis coletadas	32
Quadro 3– Conjuntos de variáveis utilizados na ACC	52
Figura 1 – Boxplots selecionados	60
Figura 2 – Dimensão econômica temporal	61
Figura 3 – Médias anuais das variáveis climáticas padronizadas (z-score)	62
Figura 4 – Matriz de correlação entre variáveis econômicas e climáticas (2014 – 2024).....	63
Quadro 4 – Síntese interpretativa dos efeitos climáticos.....	68
Quadro 5 – Síntese interpretativa dos efeitos defasados	72
Quadro 6 – Síntese interpretativa dos efeitos logarítmicos	74
Quadro 7 – Síntese interpretativa dos efeitos de eventos extremos	77
Quadro 8 – Comparação dos padrões empíricos entre especificações econométricas	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Correlações canônicas entre variáveis climáticas e indicadores econômicos	52
Tabela 2– Coeficientes canônicos padronizados	52
Tabela 3– Cargas canônicas das variáveis climáticas na primeira função canônica	54
Tabela 4– Cargas canônicas das variáveis econômicas na primeira função canônica	54
Tabela 5 – Índices de redundância das funções canônicas	55
Tabela 6 – Estatísticas descritivas das variáveis do painel (2014 – 2024)	58
Tabela 7 – Médias anuais das variáveis econômicas (R\$ mil) (2014 – 2024)	59
Tabela 8 – Especificações contemporâneas de melhor desempenho empírico	66
Tabela 9 – Especificações defasadas (t-1) de melhor desempenho empírico.....	70
Tabela 10 – Síntese dos modelos logarítmicos com proxy de déficit hídrico	73
Tabela 11 – Especificações com inclusão da dummy de seca extrema.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACC	Análise de Correlação Canônica
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
CFEM	Compensação Financeira sobre Extração Mineral
CRED	Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
DICE	Dynamic Integrated Climate-Economy
EGC	Equilíbrio Geral Computável
EM-DAT	Emergency Events Database
FIV	Fator de Inflação da Variância
FPM	Fundo de Participação dos Municípios
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IAM	Integrated Assessment Model
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IQR	Intervalo Interquartil
IRDR	Integrated Research on Disaster Risk
NGFS	Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OLS	Ordinary Least Squares
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
PDSI	Palmer Drought Severity Index
PIB	Produto Interno Bruto
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
R ²	Coeficiente de determinação
SICONFI	Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SPI	Standardized Precipitation Index
STN	Secretaria do Tesouro Nacional
SUS	Sistema Único de Saúde
WMO	World Meteorological Organization
ZFM	Zona Franca de Manaus

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS ECONÔMICOS NOS MUNICÍPIOS DO AMAZONAS.....	13
1.1 ECONOMIA DA AMAZÔNIA: CARACTERÍSTICAS DOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO AMAZONAS	14
1.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ECONOMIA: UM BREVE HISTÓRICO	17
1.3 IMPACTOS DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS SOBRE INDICADORES ECONÔMICOS.....	20
1.4 MODELOS ECONÔMETRICOS E ABORDAGENS METODOLÓGICAS APLICADOS À ANÁLISE DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	24
2. METODOLOGIA PARA MENSURAÇÃO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	29
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO.....	29
2.2 COLETA, TRATAMENTO E CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS.....	31
2.3 CORRELAÇÃO CANÔNICA E ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS..	39
2.4 ABORDAGEM ECONÔMETRICA	41
3. ANÁLISE DOS IMPACTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS MUNICÍPIOS DO AMAZONAS.....	50
3.1 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA	50
3.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS	57
3.3 RESULTADOS ECONÔMETRICOS.....	65
3.3.1 Resultados comparativos das especificações econométricas.....	65
3.3.2 Robustez temporal: efeitos defasados dos choques climáticos	68
3.3.3 Resultados dos modelos logarítmicos (robustez funcional)	72
3.3.4 Resultados para os modelos com <i>dummy</i> de eventos extremos.....	74
3.3.5 Síntese comparativa dos resultados	77
3.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	80

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
REFERÊNCIAS.....	92

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas figuram como uma das maiores preocupações modernas em escala global, apresentando efeitos sobre aspectos naturais, sociais e econômicos, de tal maneira que estes fenômenos têm sido agenda importante de organismos internacionais, como o Acordo de Paris no âmbito da Organização das Nações Unidas (ONU), fomentando o surgimento de políticas de mitigação e adaptação dos seus efeitos. Por conseguinte, o debate climático inicialmente restrito ao circuito ambiental, tornou-se questão imprescindível para as discussões econômicas e sociais, como o desenvolvimento regional (ONU, 2015).

Nas últimas décadas, o avanço das evidências científicas consolidou o entendimento de que as mudanças climáticas constituem não apenas um problema ambiental de longo prazo, mas também uma fonte crescente de riscos, marcada pela intensificação da frequência, magnitude e simultaneidade de eventos extremos. O Relatório de Síntese do Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) aponta que as atividades humanas causaram inequivocamente o aquecimento global e já afetam muitos extremos climáticos em todas as regiões, com repercussões sobre os padrões de temperatura e precipitação, a elevação do nível médio do mar e os riscos associados a secas, inundações e ondas de calor (IPCC, 2023).

Além dos impactos ambientais, as mudanças climáticas passaram a ser interpretadas como fonte de riscos econômicos sistêmicos, capazes de comprometer cadeias produtivas, infraestrutura, segurança alimentar, estabilidade fiscal e crescimento econômico. O Stern Review on the Economics of Climate Change representou marco importante nesse debate ao sustentar que os custos econômicos da inação climática tendem a superar significativamente os custos associados às políticas de mitigação e adaptação (Stern, 2007). Em paralelo, parte da literatura científica passou a alertar para a possibilidade de aproximação de pontos críticos do sistema climático (*tipping points*), caracterizados por alterações potencialmente irreversíveis em ecossistemas e padrões climáticos globais, incluindo cenários associados à degradação progressiva da floresta amazônica e mudanças estruturais no ciclo hidrológico sul-americano (Lenton et al., 2008; Nobre et al., 2016).

A intensificação das mudanças climáticas, com a maior ocorrência de eventos extremos ao longo dos últimos anos, trouxe o debate para o cerne das questões econômicas, conforme observado por CEPAL (2019), que constata os impactos em variáveis como o Produto Interno Bruto (PIB), além de alertar para a maior vulnerabilidade de regiões menos

desenvolvidas, com perdas que podem atingir até 2% do produto anual, evidenciando a gravidade do fenômeno.

A região amazônica com suas particularidades logísticas, econômicas e sociais, e cidades dependentes do transporte fluvial, experimenta grande suscetibilidade aos eventos climáticos extremos. Conforme observam Cesário et al. (2024), a estiagem histórica de 2023, comprometeu severamente a região afetando a atividade produtiva no Polo Industrial de Manaus, o abastecimento de suprimentos, atividade econômica e emprego formal dos municípios da região. Tal cenário persistiu até meados de 2024, impulsionado por múltiplos fatores climáticos e ambientais, conforme analisou Zhou *et al.*, (2025).

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), as evidências apontam para agravamento dos eventos climáticos extremos como fenômeno mundial de alta complexidade, com impactos distintos entre as diversas localidades no globo, com projeções recentes indicando aumento de frequência e pujança em secas, inundações e ondas de calor, e consequente aumento de choques no abastecimento, infraestrutura e produção. Em nível nacional observamos que a progressão desses eventos atinge de modo singular áreas mais dependentes de recursos naturais e com baixa resiliência adaptativa, como a região amazônica, a qual têm registrado alterações significativas em seu regime hidrológico e climático, com consequências tangíveis sobre a dimensão econômica (Cesário et al., 2024; IPCC, 2023; Marengo; Souza Jr., 2018, 2018; Nobre et al., 2016).

Considerando o avanço dessas alterações no clima, faz-se mister a sistematização de informações, visando medir e monitorar os impactos econômicos decorrentes desses fenômenos climáticos, com o intuito de subsidiar o planejamento e tomada de decisão por parte dos formuladores de políticas públicas. Esta necessidade é enfatizada por CEPAL (2023), que menciona a ausência de diagnósticos locais em regiões como a Amazônia, como entrave para a coordenação de ações estratégicas assertivas no enfrentamento das mudanças climáticas.

Neste contexto, estão inseridos os 62 municípios do Estado do Amazonas, de modo que a presente pesquisa tenciona responder o seguinte problema de pesquisa: como as condições climáticas adversas se associam aos indicadores econômicos dos municípios do estado do Amazonas no período de 2014 a 2024?

Por conseguinte, formulou-se a hipótese de que condições climático-hidrológicas atípicas e episódios extremos de seca ou cheia se associam a impactos econômicos adversos sobre os municípios amazonenses, ainda que com intensidades e direções distintas entre os indicadores e territórios analisados. Esses efeitos podem se refletir em diferentes dimensões da

dinâmica econômica local, variando conforme o tipo de indicador e as características de cada município.

Destarte, a pesquisa adotou abordagem quantitativa, baseada em análise econométrica de dados em painel, de 2014 a 2024, e desenvolveu o Manual Técnico para Extração e Atualização de Bases de Dados Econômicos e Climáticos, com foco nos municípios do estado do Amazonas.

A presente dissertação tem por objetivo geral investigar as associações entre anomalias climáticas e indicadores econômicos dos municípios do estado do Amazonas no período de 2014 a 2024. Para alcançar esse objetivo, a pesquisa analisa a interseção entre mudanças climáticas, economia e eventos climáticos extremos, contextualizando-a à realidade amazônica; constrói e trata uma base de dados em painel com indicadores econômicos e climáticos dos municípios amazonenses; estima, por meio de modelos econométricos, as associações entre anomalias climáticas e indicadores de produto, receitas, despesas e transferências municipais; e desenvolve um manual de caráter técnico-operacional destinado a sistematizar procedimentos de extração, tratamento e atualização de dados econômicos e climáticos aplicados à realidade municipal do estado do Amazonas.

O estudo justifica-se pela necessidade de compreender e mensurar os impactos econômicos decorrentes das mudanças climáticas, especialmente em regiões altamente suscetíveis como a Amazônia, onde a intensificação de eventos extremos coloca em risco o desenvolvimento regional, a estabilidade econômica e a capacidade institucional dos municípios. Em um contexto marcado pela emergência climática e pela crescente recorrência de secas e enchentes severas, compreender os efeitos econômicos desses fenômenos torna-se requisito essencial para formulação de políticas públicas de mitigação, adaptação e gestão territorial.

A literatura especializada estabelece de forma consistente a incidência e agravamento das alterações do clima, com maior ocorrência de eventos climáticos extremos na região amazônica, conforme demonstrado por Lima et al. (2024) sobre a recorrência de secas severas que reduzem a navegabilidade e afetam o abastecimento e prestação de serviços básicos em localidades isoladas, e a maior frequência e severidade de enchentes extremas, incorrendo em prejuízo considerável à produção agrícola e extrativista da região (Barichivich et al., 2018; Guimarães et al., 2024).

Nesse contexto, o debate sobre justiça climática torna-se particularmente relevante para a realidade amazônica, uma vez que os impactos das mudanças climáticas tendem a atingir de maneira mais intensa populações e territórios com menor capacidade adaptativa, maior

dependência de recursos naturais e limitações institucionais. Conforme destaca Page (2008), as mudanças climáticas envolvem importantes questões distributivas e intergeracionais, especialmente em relação à desigualdade na exposição aos riscos e na capacidade de resposta aos eventos extremos. Tal assimetria é evidente nos municípios do interior do Amazonas, marcados por restrições fiscais, isolamento geográfico e forte dependência de transferências intergovernamentais, apesar de contribuírem proporcionalmente menos para as emissões globais de gases de efeito estufa. Relatórios recentes também apontam que populações de baixa renda e regiões periféricas tendem a suportar de forma desproporcional os efeitos econômicos e sociais associados aos eventos climáticos extremos, aprofundando desigualdades preexistentes (Carty; Walsh, 2022).

Em face a essa nova realidade climatológica, e a suscetibilidade da região amazônica frente a este contexto, é de suma importância que um setor público orientado por dados os trate como requisito essencial para formulação de políticas públicas, tendo em vista que a consolidação de uma base de dados integrados e análises robustas geram evidências de maior qualidade, fornecendo suporte à tomada de decisões mais eficientes, conforme destacam McCloud et al. (2023) e a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (2019).

A despeito do aumento do interesse científico sobre essa temática, como por exemplo no recente crescimento vertiginoso de publicações que relacionam crescimento econômico e mudanças climáticas, consoante análise de Melo *et al.* (2024), e também dos estudos que associam desenvolvimento regional e mudanças climáticas, conforme estudo bibliométrico publicado por Fernandes *et al.* (2024), as pesquisas focadas na região amazônica priorizam abordagens qualitativas ou descritivas, como os estudos de Cesário *et al.*, (2024) e Eloi (2024), e os trabalhos com abordagem quantitativa ocupam-se com um recorte geográfico mais amplo, como a publicação de Tanure (2020) que aborda a Amazônia Legal como um todo, ou relacionam as mudanças climáticas com fatores de vulnerabilidade, como o trabalho de Menezes *et al.* (2018).

Além disso, relatórios de referência como Haddad et al. (2009), Banco Mundial (2022) e CEPAL (2023), estimam impactos econômicos das mudanças climáticas em dimensões nacionais ou macrorregionais, havendo relativa escassez de investigações quantitativas com granularidade municipal voltadas especificamente ao Estado do Amazonas. Dessa forma, identifica-se lacuna relevante na literatura quanto à mensuração empírica dos efeitos econômicos das mudanças climáticas sobre os municípios amazonenses ao longo do tempo.

Nesse sentido, a dissertação contribui para o debate sobre economia das mudanças climáticas na Amazônia ao articular revisão teórica, construção de base de dados integrada e análise econométrica aplicada à realidade dos municípios do estado do Amazonas.

A análise longitudinal do período de 2014 a 2024 permitiu examinar as associações entre anomalias climáticas e indicadores econômicos municipais, abrangendo dimensões produtivas e fiscais em modelos distintos e considerando as heterogeneidades territoriais entre os municípios amazonenses. Para essa finalidade, a pesquisa utiliza as anomalias climáticas como medida empírica dos desvios das condições observadas em relação aos padrões históricos locais. Essa operacionalização permite examinar como condições climático-hidrológicas atípicas, relevantes no contexto dos riscos vinculados às mudanças climáticas, se relacionam à dinâmica econômica municipal. Com isso, foram produzidas evidências empíricas capazes de subsidiar políticas públicas de adaptação climática, planejamento regional e gestão econômica territorial, especialmente em contextos marcados por elevada vulnerabilidade socioeconômica e dependência do regime hidrológico.

De forma complementar, foi desenvolvido o Manual Técnico de Construção de Bases de Dados Aplicadas, produto técnico-tecnológico voltado à sistematização dos procedimentos empregados na obtenção, no tratamento e na integração dos dados econômicos e climáticos utilizados no estudo. O manual busca ampliar a replicabilidade e a padronização das rotinas de construção de bases aplicadas à análise econômica das mudanças climáticas, fortalecendo a capacidade técnica de pesquisadores e instituições interessadas na temática.

Além desta introdução, a dissertação está organizada em três capítulos, com o primeiro, Mudanças Climáticas e Impactos Econômicos nos Municípios do Amazonas, apresentando os fundamentos teóricos e empíricos que sustentam a pesquisa. Inicialmente, são discutidas as características econômicas, sociais e institucionais dos municípios do Estado do Amazonas. Em seguida, são abordadas as relações entre mudanças climáticas e economia, contemplando a evolução histórica desse campo de estudos. Posteriormente, são apresentadas evidências da literatura acerca dos impactos de eventos climáticos extremos sobre indicadores econômicos, finalizando com a discussão das principais abordagens econométricas e metodológicas empregadas na análise dos efeitos econômicos das mudanças climáticas.

O segundo capítulo, Metodologia para Mensuração dos Impactos Econômicos das Mudanças Climáticas, descreve os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa. São apresentados o delineamento do estudo, a construção da base de dados em painel, as variáveis econômicas, climáticas e estruturais utilizadas, os critérios de seleção e tratamento dos dados,

bem como os modelos econométricos empregados e os respectivos testes diagnósticos utilizados para validação das estimativas.

O terceiro capítulo, *Análise dos Impactos Econômicos das Mudanças Climáticas nos Municípios do Amazonas*, apresenta e discute os resultados empíricos obtidos a partir da base de dados construída para os municípios do Estado do Amazonas. Inicialmente, são analisadas as associações entre variáveis climáticas e econômicas por meio da análise de correlação canônica. Em seguida, são apresentados os resultados das análises descritivas e dos modelos econométricos de dados em painel, incluindo a avaliação dos efeitos das variáveis climáticas sobre os indicadores econômicos municipais e a análise de eventos extremos de cheia e seca. Por fim, os resultados são interpretados à luz do referencial teórico e das evidências empíricas discutidas ao longo da dissertação.

Ao final, são apresentadas as considerações finais da pesquisa, reunindo as principais conclusões, contribuições, limitações e sugestões para estudos futuros.

1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS ECONÔMICOS NOS MUNICÍPIOS DO AMAZONAS

Neste capítulo apresenta-se a revisão de literatura que fundamenta a pesquisa, abrangendo as concepções de mudanças climáticas e seus impactos econômicos, com atenção às peculiaridades dos municípios do estado do Amazonas. Além disso, discute-se a utilização de modelos econométricos aplicados ao objeto de estudo, organizando-se a análise em quatro seções principais.

A seção 1.1 irá discorrer sobre a economia da Amazônia, com foco nos aspectos econômicos, estruturais e institucionais dos municípios do Estado do Amazonas, que caracterizam essas localidades e influenciam a capacidade de resposta e adaptação aos fenômenos climáticos

A seção 1.2 fará um breve relato histórico dos estudos sobre mudanças climáticas até sua interseção com os efeitos no campo econômico, trazendo conceitos e teorias, e a seção 1.3 direciona o enfoque para os eventos extremos, como secas, enchentes e ondas de calor, e seus impactos sobre indicadores econômicos.

Por fim, a seção 1.4 revisará o arcabouço metodológico aplicado pela literatura científica, para mensuração e análise dos impactos econômicos provenientes das alterações do clima.

1.1 ECONOMIA DA AMAZÔNIA: CARACTERÍSTICAS DOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO AMAZONAS

A Região Amazônica apresenta particularidades em termos econômicos, sociais e institucionais que a distinguem das demais regiões do país, com fatores naturais que influenciam a dinâmica socioeconômica singular dos municípios da região. Nesse contexto, é fundamental compreender como a literatura descreve e caracteriza essas especificidades, evidenciando aspectos que delimitam a estrutura produtiva e o desenvolvimento regional dos municípios do Estado do Amazonas.

A economia do Estado do Amazonas apresenta forte dependência da Zona Franca de Manaus (ZFM), modelo de desenvolvimento econômico estabelecido em 1967, baseado em incentivos fiscais voltados à industrialização, de forma que o setor industrial, concentrado na ZFM, representa mais de 30% do PIB do Amazonas, englobando segmentos de eletroeletrônicos, motocicletas e bens de consumo, com a presença de indústrias nacionais e multinacionais, responsáveis por um salto na economia do estado, que foi de um PIB de aproximadamente R\$ 10 bilhões em 1970, para ultrapassar os R\$ 100 bilhões em 2020 (Fernandes *et al.*, 2021 *apud* Rodrigues *et al.*, 2024).

Apesar de ser a mola propulsora e matriz imprescindível à economia do estado, o modelo apresenta limitações no sentido de espalhar o desenvolvimento às áreas rurais e ribeirinhas do estado, de forma que essas localidades observam dificuldades em termos de infraestrutura básica como educação e saúde, além de oferecer poucas oportunidades econômicas, refletindo em grande desigualdade entre a capital e municípios do interior do estado. Tal discrepância é verificada em análise comparativa com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com o PIB de Manaus representando 78,44% do PIB estadual, enquanto os municípios do interior somam apenas 21,56% deste total (Carvalho; Pereira, 2018 *apud* Rodrigues *et al.*, 2024; Silvestrim *et al.*, 2022).

Em contraste com a pujança e concentração econômica na capital Manaus, os municípios do interior do estado baseiam-se em atividades primárias e extrativistas, com sérias limitações em termos de infraestrutura (Sathler; Monte-Mór; Carvalho, 2009).

A agricultura familiar é predominante no estado, representando 86,9% dos estabelecimentos agropecuários, e ocupando 44% de área entre estes empreendimentos, com destaque para o cultivo de mandioca. Entre os municípios com maior representação da agricultura familiar perante os estabelecimentos agropecuários, estão Uairini, Benjamin

Constant, Itapiranga, São Paulo de Olivença e Manaquiri, todos com uma participação acima de 95% (Silva *et al.*, 2023). Ainda em relação às atividades extrativistas, destaca-se o cultivo de açaí, concentrado nos municípios de Codajás, Tefé e Coari, do guaraná em Maués, e a pesca ornamental em Barcelos (Homma, 2014; Ladislau et al., 2020).

Na atividade de mineração, a Mina do Pitinga, localizada no município de Presidente Figueiredo, destaca-se como jazida primária polimineral de classe mundial, com importantes reservas de estanho, nióbio e tântalo, também contando com a ocorrência de criolita e zirconita, beneficiando o município por meio do recolhimento da Compensação Financeira sobre Extração Mineral (CFEM), um tipo de royalty que empresa mineradoras pagam aos estados, municípios e entidades da União, a partir da exploração de recursos minerais (Ministério de Minas e Energia, 2009; Silva, 2009).

Outro importante polo econômico no interior do estado é a exploração de petróleo e gás natural na Província Petrolífera de Urucu, localizado a 280 km da sede municipal de Coari. A exploração de hidrocarbonetos na região efetivou-se a partir de 1988, causando grande impacto na região, com a construção de infraestruturas como o Terminal Solimões (TESOL) e a rede de tubulações para o Gasoduto Urucu-Coari-Manaus, transferência de royalties e participações especiais pela PETROBRAS, decorrentes da exploração de recursos não renováveis, e transformando a realidade econômica do município, tornando-o a segunda maior arrecadação fiscal do estado, atrás apenas da capital Manaus, e consolidando-se como o segundo maior PIB do Amazonas (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023; Menezes, 2011; Pereira, 2014).

Quanto aos aspectos sociais, como acesso a serviços públicos, saúde e educação, a disparidade entre capital e interior é novamente expressiva. No que concerne às condições sanitárias, as desigualdades regionais ficam evidentes quando se observa a disponibilidade de médicos atuando pelo Sistema Único de Saúde (SUS). Nas capitais da Região Norte, há cerca de 2,5 médicos para cada mil habitantes, enquanto nos municípios do interior essa razão cai para 0,4 médico por mil habitantes. No caso específico do Amazonas, apenas 6,9% dos profissionais médicos estão lotados no interior, representando a menor proporção entre os estados da região (Garnelo; Sousa; Silva, 2017).

No campo educacional, a assimetria entre a capital e os municípios do interior emerge como um desafio estrutural para o Amazonas, impactando severamente a oferta da educação básica. A garantia do acesso, da permanência e da qualidade do ensino fundamental e médio no interior enfrenta obstáculos crônicos, constituindo o primeiro grande empecilho para a continuidade dos estudos da população dessas localidades. Esta dificuldade é particularmente

acentuada para as comunidades ribeirinhas, que vivem às margens de rios e lagos, cujo acesso a serviços é historicamente precário. Estudos apontam que a realidade educacional do interior é marcada por profundas desigualdades de infraestrutura, pela predominância de classes multisseriadas e pela dificuldade na oferta de todos os níveis de ensino (Silva Do Nascimento et al., 2024). Além disso, as próprias políticas públicas de acesso ao ensino no estado falham em garantir a "igualdade de acesso" constitucional, muitas vezes priorizando a estrutura da capital em detrimento das populações do campo, indígenas e quilombolas do interior, demandando ações que considerem as particularidades do isolamento geográfico, o regime fluvial e o modo de vida local (De Oliveira, 2024).

Outro fator importante que devemos considerar no que se refere à capacidade de resposta e adaptação dessas localidades em reação às mudanças climáticas, são as características institucionais, como governança, disponibilidade de recursos financeiros, humanos e tecnológicos (Elbarky et al., 2024).

No contexto dos municípios do interior do Amazonas, as capacidades institucionais são limitadas pelas restrições orçamentárias, escassez de recursos humanos e estrutura administrativa insuficiente, além da forte dependência financeira de transferências da União, limitando a autonomia dessas localidades em termos políticas de combate, mitigação, ou até mesmo de prestação de serviços básicos, enquanto Manaus concentra a primazia econômica e institucional (Dutra; Pereira, 2017; Mendonça; Ferreira; Costa, 2019).

A leitura integrada desses elementos revela que a estrutura econômica do Amazonas é marcada por forte concentração espacial da atividade produtiva e da capacidade institucional, o que amplifica a vulnerabilidade dos municípios do interior frente às variações climáticas. A dependência fiscal e produtiva em relação à capital e aos grandes empreendimentos extrativos limita a resiliência das economias locais diante de eventos extremos, uma vez que a base produtiva primária é sensível a choques de temperatura, precipitação e regime hídrico.

Ademais, as assimetrias em infraestrutura, saúde, educação e capacidade administrativa indicam que os impactos econômicos das mudanças climáticas tendem a se manifestar de maneira heterogênea e assimétrica entre os municípios do estado, um aspecto central para a compreensão dos resultados esperados nesta pesquisa. Assim, ao considerar essas desigualdades estruturais e institucionais, a pesquisa irá buscar não apenas mensurar os efeitos das mudanças climáticas sobre indicadores econômicos municipais, mas também interpretar como a configuração socioeconômica do Amazonas condiciona a intensidade e a distribuição desses impactos, oferecendo uma leitura mais ampla da interdependência entre vulnerabilidade territorial, estrutura produtiva e dinâmica climática.

1.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ECONOMIA: UM BREVE HISTÓRICO

As mudanças climáticas como objeto da pesquisa científica remontam ao século XIX, com os estudos de Fourier (1824, *apud* Fleming, 1999) sobre o efeito estufa, estabelecendo a capacidade da atmosfera de reter calor, Tyndall, (1861) sobre a absorção de calor por gases atmosféricos, e Arrhenius (1896) pelo desenvolvimento de modelo matemático para estimar o aumento da temperatura global decorrente da concentração de CO₂ na atmosfera, inaugurando as bases de conhecimento técnico sobre o assunto.

Com as bases científicas estabelecidas desde o século XIX, a terminologia para descrever o fenômeno no debate científico moderno começou a se consolidar em meados do século XX. O termo Mudança Climática foi formalmente utilizado em um dos estudos seminais que solidificaram a teoria do aquecimento por dióxido de carbono, publicado por Plass (1956). Duas décadas depois, o termo Aquecimento Global ganhou proeminência a partir Broecker (1975), cujo próprio título do artigo — Mudança Climática: Estamos à Beira de um pronunciado Aquecimento Global? — demonstra a relação original entre os conceitos, em que Mudança Climática é o fenômeno mais amplo e estabelecido, enquanto Aquecimento Global é o termo mais direto e novo, utilizado para descrever seu principal resultado, o aumento das temperaturas.

A transição de um conceito puramente científico para uma pauta de relevância política e global foi marcada pela escolha terminológica das instituições que se formavam. Em 1988, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). A escolha do nome consolidou Mudanças Climáticas como o termo institucional padrão, refletindo uma compreensão mais abrangente do que apenas o aquecimento, englobando alterações nos padrões de precipitação, elevação do nível do mar e a frequência de eventos extremos.

O IPCC publica de forma regular relatórios técnicos que avaliam a base científica sobre as mudanças climáticas, seus impactos, projeções de riscos e medidas de mitigação e adaptação, como o Sexto Relatório de Avaliação, cujos achados atestam a influência humana inequívoca sobre o sistema climático, em um processo que inclui revisão por pares, com extensa participação de pesquisadores e uma ampla base de literatura publicada (IPCC, 2023).

Neste sentido, o IPCC assume a função de consolidar e sintetizar as principais descobertas baseadas em múltiplas linhas de evidências, de forma transparente e sistemática,

conferindo às suas publicações o status de consenso científico, servindo de referência amplamente reconhecida tanto para a área de ciências naturais, quanto para áreas aplicadas que dialogam com o tema. Trabalhos como Cook et al. (2013), que examina quase doze mil artigos ao longo de duas décadas, atesta que a ampla maioria endossa a origem antropogênica do aquecimento global, com diferentes abordagens metodológicas e campos disciplinares com resultados convergentes. Já Mach et al. (2017) destacam que os procedimentos adotados pelo IPCC para avaliação de evidências e comunicação de incertezas são fundamentais para assegurar coerência, credibilidade e consistência entre os diferentes grupos de trabalho. Dessa forma, o IPCC opera como uma instância de validação coletiva do conhecimento científico, na qual o consenso não é imposto, mas emerge da avaliação crítica e estruturada da produção acadêmica existente.

Ao tornar-se um tema de preocupação mundial, o debate climático inicialmente circunscrito aos ensaios físico-químicos e suas externalidades ambientais, passou a permear diversos campos de pesquisa, conforme analisam Haunschild, Bornmann e Marx (2016) em estudo bibliométrico sobre a pesquisa das mudanças climáticas, baseado em publicações de 1980 a 2014 na base Web of Science, identificando forte crescimento das publicações relacionadas às mudanças climáticas entre 1991 e 2010, com categorias como ciências sociais e engenharia apresentando o mesmo crescimento relativo que as ciências naturais desde 2009.

Segundo Gaeta *et al.* (2021), em estudo bibliométrico que relaciona a pesquisa econômica e as mudanças climáticas, com dados extraídos da base Scopus entre 1974-2021, a interseção entre as temáticas intensificaram-se a partir da década de 90, com a identificação de três fases da literatura ao longo do tempo:

- i. Uma fase pioneira, com debate focado em aspectos relacionados às ciências naturais, ocorrido entre 1974-2005.
- ii. O período central, com crescimento dos temas envolvidos, ênfase em instrumentos analíticos como a modelagem econômica e abordagem metodológica, entre 2006-2014.
- iii. E a fase mais recente, entre 2015-2021, onde o caráter analítico dá lugar a temas relacionados à definição e implementação de políticas, e palavras-chave que refletem a distinção entre adaptação e medidas de mitigação.

Sob a perspectiva da teoria econômica, as mudanças climáticas podem ser compreendidas como uma falha de mercado de incidência global, com as emissões de gases de efeito estufa gerando externalidades negativas com efeitos compartilhados, sem a total responsabilização dos emissores (Nordhaus, 2017; World Bank Group, 2019). Neste sentido,

Kaul, Grunberg e Stern (1999) afirmam que a estabilidade do clima assume características de um bem público global, ou seja, não rival em termos de consumo e não excludente entre populações e gerações, de modo que Baranzini *et al.* (2017) apresentam diversos argumentos a favor das políticas de precificação de carbono como política global.

Ao considerar os fundamentos clássicos da economia, o conceito de externalidades foi consolidado por Alfred Marshall e Arthur Cecil Pigou no início do século XX, com destaque para a proposição de impostos corretivos, ou imposto pigouviano, como forma de cobertura dos custos sociais das externalidades negativas, e a teoria dos bens públicos de Paul A. Samuelson em 1954, que estabeleceu os atributos de um bem público e o papel do Estado na sua proteção, incorporados posteriormente à discussão das mudanças climáticas, especialmente no que tange à economia (Boundreaux; Meiners, 2019; Holcombe, 1997).

A incorporação das mudanças climáticas pelo campo de pesquisa econômico ocorre de modo mais sistemático a partir da publicação do Stern Review on the Economics of Climate Change, que articulou as evidências consolidadas pelo IPCC com instrumentos analíticos da economia do bem-estar, superando a interpretação das mudanças climáticas como uma externalidade marginal, tratando-a como problema econômico central, com implicações diretas sobre crescimento, bem-estar e estabilidade macroeconômica. Stern (2007) esclarece que os custos da inação superam significativamente os custos com medidas de mitigação e adaptação, colocando o debate econômico sob uma perspectiva intertemporal e de gestão de riscos sistêmicos.

A partir desse marco, consolidou-se na literatura um campo de pesquisa com foco na avaliação dos impactos econômicos decorrentes das mudanças climáticas, frequentemente denominado de *climate change economics*, com estudos voltados para quantificação de custos, riscos e incertezas associadas às alterações climáticas, baseados nos cenários projetados pelos relatórios do IPCC, com exemplos como Tol (2009), que sistematiza as evidências empíricas sobre os efeitos econômicos das mudanças climáticas, e Pindyck (2013) que destaca a natureza incerta, irreversível e potencialmente catastrófica do fenômeno como desafio aos pressupostos tradicionais da análise custo-benefício.

Tal confluência entre os campos de pesquisa climático e econômico, trouxeram o uso de ferramental analítico, como os modelos de avaliação integrada (*Integrated Assessment Models* – IAMs), os quais integram variáveis climáticas e econômicas para gerar simulações com o intuito de avaliar cenários com a implementação de políticas de mitigação e adaptação, nos moldes do Relatório Técnico da The Network of Central Bank and Supervisors for Greening the Financial System - NGFS (2021).

O Modelo Integrado Dinâmico Clima-Economia (*Dynamic Integrated Climate-Economy* – DICE), desenvolvido por Nordhaus (2017), um dos primeiros e mais relevantes modelos de avaliação integrada, engloba elementos da teoria do crescimento econômico neoclássico de Ramsey, com os processos climáticos, para calcular o custo social do carbono além de derivar diferentes cenários de aquecimento, buscando otimizar as políticas de mitigação.

Em uma fase mais recente, essas associações obtidas a partir dos modelos integrados de avaliação, passaram a subsidiar políticas voltadas ao desenvolvimento sustentável, como por exemplo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente no que se refere ao ODS 13 (ação contra mudança global do clima), mas também relacionado à ODS 7 (energia limpa, ODS 8 (crescimento econômico) e ODS 12 (consumo responsável), onde além das análises sobre as interações entre energia, clima e economia, é possível avaliar como as ODSs interagem entre si, investigando as sinergias e *trade-offs* que envolvem as metas estabelecidas (Soest et al., 2019).

1.3 IMPACTOS DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS SOBRE INDICADORES ECONÔMICOS

O cenário de intensificação dos fenômenos climáticos como secas e enchentes, aumenta a necessidade de mensurar os seus efeitos sobre aspectos econômicos da sociedade, de forma que a busca pela compreensão desses impactos exige a sistematização dos dados ambientais e econômicos observáveis, relacionados a determinado território. Assim sendo, esta seção explora como se dá a abordagem dos impactos de eventos climáticos extremos sobre indicadores econômicos.

Nesse contexto, a literatura recente tem avançado no enquadramento das mudanças climáticas não apenas como um fenômeno ambiental de longo prazo, mas como uma situação de emergência climática, caracterizada pela intensificação, frequência e simultaneidade de eventos extremos com potencial de gerar disrupções sistêmicas. O reconhecimento dessa condição tem sido reforçado por organismos internacionais e pela comunidade científica, que apontam para a aceleração dos riscos climáticos e a necessidade de respostas urgentes em múltiplas escalas (IPCC, 2023; United Nations Environment Programme, 2023).

A noção de emergência climática implica uma mudança qualitativa na forma de interpretar os impactos econômicos dos eventos extremos, uma vez que estes deixam de ser tratados como choques isolados e passam a ser compreendidos como manifestações recorrentes

de um sistema climático em desequilíbrio. Nesse sentido, eventos como secas severas, enchentes e ondas de calor tendem a produzir efeitos cumulativos e persistentes sobre a atividade econômica, afetando cadeias produtivas, infraestrutura e finanças públicas de forma mais intensa e prolongada. Tal abordagem é particularmente relevante para regiões vulneráveis, como a Amazônia, onde limitações estruturais e institucionais ampliam a exposição aos riscos climáticos e reduzem a capacidade de adaptação.

A classificação adotada pelas bases internacionais de registro e análise empírica de desastres, é fundamentada nas características físicas desses eventos. A Emergency Events Database (EM-DAT), base de dados mantida pelo Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), da University of Louvain, desponta como principal compilado internacional de informações sobre desastres, organizando os registros de diversas fontes como subsídio ao planejamento e tomada de decisões em nível global.

O EM-DAT utiliza como referência os critérios de classificação estabelecidos pelo relatório Peril Classification and Hazard Glossary, elaborado pelo Integrated Research on Disaster Risk (IRDR). O referido documento divide os desastres naturais em seis grupos principais, o geofísico, que envolve terremotos, movimento de massa, e atividade vulcânica; o hidrológico com inundações, deslizamento de terra, e ação de ondas; o meteorológico, englobando tempestades, temperatura extrema e nevoeiros; o climatológico, com secas, extravasamento de lago glacial, e incêndios florestais; os biológicos, com incidentes com animais, epidemias e infestação de insetos; e o extraterrestre, envolvendo impactos e clima espacial (Delforge et al., 2025b; Integrated Research on Disaster Risk, 2014).

Ao considerar os municípios do estado do Amazonas como objeto de estudo, o foco analítico recai sobre os desastres hidrológicos, meteorológicos e climatológicos, associados à eventos como enchentes, estiagens, chuvas extremas e secas prolongadas, os quais impactam a dinâmica regional, especialmente no que se refere à dimensão econômica.

Estes fenômenos climáticos extremos geram consequências significativas sobre variáveis econômicas, como Produto Interno Bruto (PIB), nível de emprego, produção, renda e arrecadação, conforme observam os estudos científicos em escala global, nacional e local.

Callahan e Mankin (2022) demonstram, em escala global, que o aumento do calor extremo gera perdas econômicas significativas e persistentes, com efeitos desproporcionais sobre países de baixa renda. Essa evidência é reforçada por Quante et al. (2024), que observam o papel do clima como amplificador das desigualdades, uma vez que os países com menor capacidade adaptativa sofrem mais intensamente os impactos adversos. Assim, o clima não atua apenas como variável ambiental, mas como vetor de desigualdade econômica global. Tal

constatação oferece um ponto de convergência com a realidade amazônica, onde a vulnerabilidade socioeconômica e a dependência de atividades primárias aumentam a exposição aos riscos climáticos.

Nesse mesmo sentido, Fernando, Liu e McKibbin (2021) enfatizam que choques climáticos reduzem a produtividade do trabalho e provocam retrações na produção agrícola e industrial. Assad e Assad (2024) complementam que a elevação das temperaturas e as alterações nos regimes de precipitação ameaçam a segurança alimentar e a produtividade agrícola, enquanto Oliveira, Prado e Monteiro (2022) evidenciam os danos causados por inundações à infraestrutura rural e urbana. De forma convergente, Soulibouth, Hwang e Shin (2021) destacam que as perdas agrícolas tendem a desencadear efeitos em cadeia sobre os preços e a renda, afetando diretamente o bem-estar econômico de populações locais. Assim, observa-se um consenso entre os autores de que os eventos climáticos atuam como choques negativos de oferta, com repercussões amplas sobre o produto e a renda, embora diverjam quanto à magnitude dos efeitos e à capacidade de adaptação setorial.

A indústria, por sua vez, é apresentada como setor especialmente suscetível aos desequilíbrios ambientais. Segundo o UN Environment Programme Finance Initiative (2023), além dos danos diretos causados por desastres naturais à infraestrutura produtiva, o setor enfrenta os chamados riscos de transição — associados à adoção de políticas de neutralidade de carbono e precificação de emissões. Esses fatores podem alterar a competitividade de setores intensivos em energia, configurando um novo campo de vulnerabilidade econômica. O argumento dialoga com o de Callahan e Mankin (2022), na medida em que ambos apontam para a coexistência de riscos físicos e de transição, os quais redefinem as condições de produção e crescimento econômico no contexto das mudanças climáticas.

Outro indicador destacado pela literatura são os empregos. Segundo Carleton e Hsiang (2016), ondas de calor podem reduzir a intensidade de trabalho, a performance cognitiva e encurtar a quantidade de horas de trabalho, especialmente em setores onde o trabalhador está exposto à temperatura externa, como na agricultura e construção. A Organização Internacional do Trabalho (2024) projeta que até 2030, 2,2% do total de horas trabalhadas serão perdidas em razão das altas temperaturas, representando uma perda equivalente de 80 milhões de empregos em tempo integral, com risco ampliado em países localizados em latitudes tropicais e subtropicais, e de baixa renda. Outrossim, eventos climáticos extremos podem provocar distúrbios de curto prazo no mercado de trabalho, com impactos que variam conforme a intensidade do evento e o setor analisado, conforme ilustram Zhang e Zhu (2023), apresentando modelo preditivo com base de dados sobre a ocorrência de furacões nos Estados Unidos.

Quanto ao mercado de trabalho, Carleton e Hsiang (2016) destacam que ondas de calor reduzem a intensidade e a duração das jornadas, especialmente em ocupações expostas ao ambiente externo. A Organização Internacional do Trabalho (2024) projeta que até 2030 cerca de 2,2% das horas trabalhadas globalmente serão perdidas devido ao estresse térmico, o que representa 80 milhões de empregos em tempo integral. Zhang e Zhu (2023) acrescentam que, em eventos abruptos como furacões, os efeitos sobre o emprego variam conforme o setor e a capacidade de recuperação das economias locais.

Ao trazer este campo analítico para as unidades municipais, verifica-se que as disrupções climáticas também abalam de forma significativa as contas municipais, seja pela necessidade de gastos públicos adicionais, ou pelo declínio nas receitas.

Como exemplo, Tavares (2021) analisou o impacto das declarações de estado de emergência nas finanças públicas municipais, devido aos desastres naturais em 184 municípios do Estado do Ceará, no período de 2003 a 2016, constatando aumentos das despesas per capita, especialmente no investimento per capita, aumento nas receitas correntes impulsionada pelas transferências aos municípios, porém com deterioração das receitas tributárias, evidenciando a alta representatividade destes repasses no orçamento público dos municípios analisados. Em paralelo, Chung (2020), ao analisar municípios norte-americanos, aponta que os custos de reconstrução e a desvalorização de propriedades comprometem o equilíbrio orçamentário, destacando a importância de incorporar parâmetros de risco climático à gestão fiscal. Ambos os estudos evidenciam que o impacto econômico dos desastres ambientais extrapola o setor produtivo e alcança a sustentabilidade das finanças públicas, afetando a capacidade de investimento e a prestação de serviços.

No contexto da região amazônica, os impactos das mudanças climáticas assumem particular relevância em função da forte dependência do regime hidrológico para o funcionamento das atividades econômicas e da mobilidade regional. Estudos como os de Marengo et al. (2018) e Nobre et al. (2016) destacam que alterações nos padrões de precipitação e temperatura têm provocado mudanças significativas na dinâmica dos rios, com aumento na frequência e intensidade de eventos extremos, como secas severas e cheias históricas. Essas variações afetam diretamente a navegabilidade, o abastecimento de insumos e o escoamento da produção, configurando um canal crítico de transmissão dos impactos climáticos na região amazônica.

As análises dos autores apresentados evidenciam que os impactos econômicos dos eventos climáticos extremos se manifestam por múltiplos canais, produtivos, fiscais e sociais, e que tais efeitos são interdependentes. Os trabalhos de abordagem global, ao quantificarem

perdas no PIB e no emprego, revelam a natureza sistêmica dos choques climáticos; já os estudos voltados para contextos locais destacam a vulnerabilidade das estruturas produtivas e a pressão sobre as finanças públicas. Em conjunto, essas evidências indicam que os eventos extremos não apenas reduzem o desempenho econômico imediato, mas também comprometem a capacidade de recuperação e planejamento dos territórios afetados.

Essa compreensão integrada fornece a base conceitual que orienta o projeto de pesquisa aqui proposto, ao considerar que os impactos das mudanças climáticas sobre os municípios do estado do Amazonas não se restringem a um único indicador, mas resultam de interações complexas entre variáveis econômicas e ambientais. Assim, a investigação proposta parte das relações discutidas nesta seção para estimar e quantificar empiricamente esses efeitos, tomando como referência o comportamento conjunto de indicadores de produto, receita e despesa pública diante das variações climáticas observadas ao longo do tempo.

1.4 MODELOS ECONOMETRÍCOS E ABORDAGENS METODOLÓGICAS APLICADOS À ANÁLISE DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

À medida que as alterações do clima aumentam em termos de frequência e intensidade, as preocupações da sociedade conduzem os esforços científicos para o desenvolvimento de abordagens metodológicas voltadas para mensuração e análise dos impactos econômicos decorrentes dessas intempéries. Neste cenário, a literatura econômica tem desenvolvido e aprimorado diferentes abordagens metodológicas para investigar as relações entre indicadores climáticos e econômicos, buscando compreender os mecanismos de transmissão entre choques ambientais e resultados econômicos observáveis.

Os modelos econométricos, bem como as técnicas de simulação econômica, constituem importante ferramental dentro deste contexto, possibilitando tanto a estimação empírica de efeitos observados quanto a projeção de cenários futuros, fornecendo subsídios ao controle e formulação de políticas públicas de mitigação e adaptação.

Com o intuito de mapear as abordagens metodológicas empregadas na literatura, para análise de impactos econômicos decorrentes de fenômenos climáticos, foi realizada busca estruturada na base de dados Scopus, escolhida pela ampla cobertura de periódicos científicos nas áreas de Economia e Ciências Sociais.

A estratégia de busca foi construída a partir da combinação de operadores booleanos e truncamentos, contemplando três núcleos centrais: (i) o fenômeno climático, por meio dos termos *climate change*, *climate variability*, *extreme climate event* e *extreme weather*; (ii) os

desfechos econômicos, mediante expressões como *economic impact*, *economic effect*, *economic loss* e *economic consequence*; e (iii) as principais abordagens metodológicas utilizadas na literatura, incluindo métodos econométricos *ex-post*, como regressões, modelos de dados em painel e diferenças em diferenças, bem como modelos *ex-ante*, como os de equilíbrio geral computável e modelos integrados de avaliação. Adicionalmente, aplicaram-se filtros quanto à área do conhecimento limitando à *Economics*, *Econometrics and Finance*, e *Social Sciences*, tipo de documento limitado à artigos, e idioma limitado ao inglês, garantindo maior homogeneidade e comparabilidade dos estudos selecionados.

A expressão de busca utilizada na base Scopus foi a seguinte:

TITLE-ABS-KEY (("climate change" OR "climate variability" OR "extreme climate event" OR "extreme weather") AND ("economic impact*" OR "economic effect*" OR "economic loss*" OR "economic consequence*") AND (econometric* OR "panel data" OR regression* OR "difference-in-differences" OR "computable general equilibrium" OR CGE OR "integrated assessment model*" OR IAM*) AND (municipal* OR local OR regional OR subnational)), com aplicação posterior dos filtros de área do conhecimento, tipo de documento e idioma descritos anteriormente.

Os resultados foram organizados no Quadro 1 (pág. 28), que sintetiza os trabalhos mais citados no âmbito da busca realizada. A sistematização dos estudos permite não apenas identificar as principais abordagens metodológicas empregadas na literatura, mas também observar a distribuição dos recortes espaciais adotados, incluindo análises em nível local, municipal, regional e global. A estratégia de busca resultou em 110 artigos, após a aplicação dos filtros estabelecidos. Para fins de sistematização e comparabilidade, os estudos foram classificados segundo a unidade espacial analisada, adotando-se as seguintes categorias: indivíduos, quando a unidade de observação corresponde a agentes econômicos individuais; local, quando se refere a divisões territoriais inferiores ao município; municipal, quando a análise é conduzida no nível de cidades ou municípios; regional, quando contempla divisões subnacionais mais amplas; e global, quando envolve o conjunto de países ou grandes blocos regionais.

Quadro 1 – Estudos mais citados sobre impactos econômicos das mudanças climáticas

Autor	Tipo de análise	Abordagem metodológica	Recorte temporal	Unidade espacial	Citações
De Silva; Kawasaki (2018)	<i>Ex-post</i>	Regressão linear múltipla	2014 e 2016	Local (Sri Lanka)	235
Chen; Wang; Huang (2014)	<i>Ex-post</i>	Regressão Logit	2006 – 2010	Local (China)	220
Hoyos et al. (2013)	<i>Ex-post</i>	Regressão múltipla, OLS e erro espacial	2010 – 2011	Municipal (Colombia)	158
Olmstead (2014)	Revisão de Literatura	Revisão de estudos empíricos	1967 – 2013	Global	150
Haddad; Teixeira (2015)	<i>Ex-post</i>	EGC espacial e SIG	2008	Municipal (Estado de São Paulo)	113
Dellink; Lanzi; Chateau (2019)	<i>Ex-ante</i>	EGC dinâmico	2010 – 2060	Global	104
Liu et al. (2020)	<i>Ex-post e ex-ante</i>	EGC global	2019 – 2100	Global	86
Reichert; Holz-Rau; Scheiner (2016)	<i>Ex-post</i>	Regressão Logit e OLS	2008 - 2021	Indivíduos (Alemanha)	78
Emediegwu; Wossink; Hall (2022)	<i>Ex-post e ex-ante</i>	Dados em painel espacial (SDM)	1970 – 2016, e 2040 – 2069	Regional (África Subsaariana)	66
Reis; Drouet; Tavoni (2022)	<i>Ex-ante</i>	IAM	2020 – 2100	Global	65
Zhou; Turvey (2014)	<i>Ex-post</i>	Dados em painel	1979 – 2010	Regional (China)	64
Cruz; Rossi-Hansberg (2024)	<i>Ex-ante</i>	IAM dinâmico e espacial	2000 – 2400	Global	62
Yang et al. (2018)	<i>Ex-ante</i>	IAM (DICE reestimado)	2015 – 2100	Global	53
Fan; Fisher-Vanden; Klaiber (2018)	<i>Ex-ante</i>	EGC inter-regional e modelo de sorting residencial	2000 – 2065	Regional (EUA)	48
Tan; Su; Wang (2023)	<i>Ex-post</i>	Dados em painel (GMM)	2008 – 2021	Regional (China)	47

Fonte: Elaboração própria (2026).

O mapeamento revela o uso de abordagens distintas para avaliação de choques climáticos, observando a coexistência de análises *ex-post* e *ex-ante*. Trabalhos como De Silva e Kawasaki (2018) ilustram a utilização de regressões múltiplas para mensurar vulnerabilidades socioeconômicas e os impactos financeiros de eventos extremos em anos específicos, enquanto Reichert, Holz-Rau e Scheiner (2016) e Chen, Wang e Huang (2014), utilizam modelos Logit,

respectivamente como etapa para calcular a probabilidade de geração de emissões, e para modelar o comportamento dos agricultores entre diferentes medidas de adaptação à seca.

No conjunto de artigos baseados em dados observados e estruturados em séries temporais extensas combinadas com múltiplas unidades espaciais, é frequente o uso de modelos de dados em painel. Estudos como Zhou e Turvey (2014) e Emediegwu, Wossink e Hall (2022) exemplificam a aplicação dessas estruturas para mensurar impactos econômicos associados à variabilidade climática em escala regional, explorando simultaneamente dimensões temporal e espacial.

Em contraste, os trabalhos baseados em abordagem *ex-ante*, utilizam majoritariamente modelos de simulação econômica para projeções, como os Modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC) e o Integrated Assessment Models (IAM), em publicações como Fan, Fisher-Vanden e Klaiber (2018) que aplicam EGC inter-regionais para avaliar impactos setoriais e redistributivos em macrorregiões nos EUA, e Yang et al (2018) e Reis, Drouet e Tavoni (2022), que utilizam IAMs para projeções globais de longo prazo, com Yang et al focando na estimativa do custo social de carbono, e Reis, Drouet e Tavoni na internalização de impactos econômicos da mortalidade humana pela poluição do ar.

A análise do Quadro 1 evidencia que, embora a literatura contemple diferentes níveis de agregação espacial, há uma predominância de estudos conduzidos em escalas globais e regionais, especialmente nas abordagens *ex-ante*. Por outro lado, observa-se a presença de estudos com recorte municipal e local, como Hoyos et al. (2013) e Haddad e Teixeira (2015), que demonstram a aplicabilidade de métodos econométricos em níveis mais desagregados. Contudo, esses estudos aparecem em menor proporção no conjunto analisado, indicando que, embora metodologicamente viável, a investigação em escala municipal ainda ocupa posição menos central na literatura quando comparada a análises mais agregadas.

De modo complementar, considerando a relativa escassez de trabalhos nacionais na base da Scopus, especialmente os publicados em periódicos de circulação predominantemente doméstica, destaca-se os trabalhos de Sass (2021) e Araújo et al. (2016), com o primeiro aplicando um modelo de efeitos fixos para estimar os impactos econômicos das secas nos 39 municípios da Região Metropolitana de São Paulo, revelando que as estimativas em painel permitem isolar efeitos distintos entre setores e localidades, ajustando as inferências às realidades locais. Já Araújo et al. (2016), utilizaram modelo Tobit para dados em painel na análise da produtividade agrícola no Nordeste brasileiro, demonstrando que os efeitos climáticos negativos tendem a se concentrar em determinados estados e municípios, sobretudo em culturas mais sensíveis às variações térmicas e hídricas. Tais evidências reforçam a

capacidade dos modelos em painel de capturar a heterogeneidade espacial dos impactos climáticos e suas consequências econômicas diferenciadas no contexto brasileiro.

Em síntese, a literatura sobre impactos econômicos das mudanças climáticas é metodologicamente diversa, com abordagens *ex-post* priorizando a aplicação de modelos econométricos com estrutura de dados em painel, frequentemente combinados a extensões espaciais e métodos dinâmicos, permitindo a exploração de variações temporais e heterogeneidades territoriais, enquanto as análises que envolvem projeções e simulações, baseiam-se majoritariamente em modelos EGC e IAM, sobretudo em escalas globais ou regionais agregadas.

De modo geral, o levantamento realizado permite constatar a adequabilidade metodológica da utilização de modelos econométricos com estrutura de dados em painel para a análise dos impactos econômicos das mudanças climáticas, especialmente quando se pretende explorar variações intertemporais e heterogeneidades territoriais em unidades subnacionais. Ao mesmo tempo, a revisão evidencia a escassez de estudos aplicados em escala municipal no contexto brasileiro, particularmente na região amazônica, configurando lacuna relevante no campo da economia das mudanças climáticas.

2. METODOLOGIA PARA MENSURAÇÃO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos aplicados ao longo do desenvolvimento do trabalho, definindo as características da pesquisa, a descrição das etapas da investigação, os procedimentos de coleta e análise dos dados, e a exposição dos modelos econométricos e os respectivos critérios de seleção, levando em consideração a adequação ao objeto de estudo da dissertação, ou seja, a investigação dos impactos econômicos das mudanças climáticas sobre os municípios do Estado do Amazonas, e a disponibilidade e qualidade dos dados.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

A pesquisa é caracterizada como um estudo de abordagem quantitativa, de natureza bibliográfica, descritiva, explicativa, e inferencial, com estrutura de dados longitudinal e aplicação de modelos econométricos para interpretação e análise dos resultados.

A abordagem quantitativa destaca-se pela aplicação de ferramental estatístico nos momentos de coleta e tratamento dos dados, visando propiciar robustez aos resultados obtidos, assim conferindo robustez aos resultados, de modo a evitar vieses ou falhas interpretativas. Para o campo da Economia, como Ciência Social Aplicada, a abordagem quantitativa parte do pressuposto de que os fenômenos sociais e econômicos são mensuráveis, permitindo assim a sua quantificação, para posterior classificação e análise, por meio de técnicas e recursos estatísticos (Prodanov, 2012; Silva *et al.*, 2018).

Ao considerar o problema de pesquisa e os objetivos delineados para o trabalho, os quais sinteticamente envolvem mensurar os impactos das mudanças climáticas em indicadores econômicos com granularidade municipal, a abordagem quantitativa oferece o respaldo metodológico adequado para consecução da pesquisa, tendo em vista a natureza quantificável das variáveis envolvidas, além de contribuir para o preenchimento de lacuna literária, qual seja a escassez de estudos quantitativos que abordem a temática do presente trabalho em nível municipal para o Amazonas.

A pesquisa bibliográfica constitui componente fundamental, propiciando embasamento teórico para o trabalho, abrangendo a contextualização inicial na introdução, a pesquisa de conceitos, teorias, e métodos aplicados pela literatura científica, que permeiam o

desenvolvimento do trabalho, fornecendo a fundamentação teórica para tal, além de permitir a identificação do estágio de conhecimento atual sobre o tema pesquisado (Gil, 2022).

A pesquisa descritiva tem como objetivo principal a caracterização de determinado fenômeno ou população, assim como a descrição de relações entre variáveis, e assim utiliza-se de técnicas de coleta de dados e estatísticas, constituindo-se como etapa primordial para posterior desenvolvimento das análises, tendo em vista a necessidade de descrição detalhada para assim explicar as complexas relações entre os indicadores econômicos locais e as variáveis climáticas (Fregoneze et al., 2023; Gil, 2008, 2022; Prodanov, 2012).

Em relação à natureza descritiva da pesquisa, esta se aplica, inicialmente, à contextualização do objeto de estudo, com a caracterização econômica, social e institucional dos municípios do Amazonas, além da descrição dos indicadores econômicos e climáticos selecionados para investigação, para o recorte temporal de 2014 a 2024, relacionados na base de dados construída.

Já a pesquisa explicativa busca aprofundar o conhecimento sobre os fenômenos observados, procurando identificar os fatores que contribuem para a sua ocorrência, assim como explicar o porquê das relações entre estes (Gil, 2022). Para tal aprofundamento da realidade, podem ser utilizadas técnicas de manipulação e controle de variáveis, distinguindo as variáveis independente e dependentes, para assim examiná-las com profundidade (Prodanov, 2012).

No contexto da dissertação, o componente explicativo está intrinsecamente relacionado à resolução do problema de pesquisa, com o teste das hipóteses estabelecidas de que as mudanças climáticas exercem efeitos negativos quantificáveis e distintos entre os municípios observados, executando assim os objetivos estabelecidos.

Portanto, o uso de métodos explicativos robustos, como os modelos econométricos, são empregados para inferir relações entre variáveis, tendo em consideração que a experimentação controlada é corriqueiramente inviável no campo das ciências sociais (Prodanov, 2012).

Deste modo, considerando que a estatística inferencial permite realizar inferências e generalizações sobre os dados de uma amostragem representativa de uma população, a pesquisa também possui característica inferencial, tendo em vista que, a partir da descrição e análise dos dados coletados sobre os municípios do Estado do Amazonas, busca inferir a validade e a aplicabilidade das relações examinadas para o cenário geral dos impactos econômicos decorrentes das mudanças climáticas no período entre 2014 e 2024, considerando as peculiaridades locais (Lakatos, 2002).

As características da estrutura da base de dados, e as técnicas estatísticas aplicadas para análise, interpretação e inferências, serão apresentadas em seção específica ao longo desta metodologia.

2.2 COLETA, TRATAMENTO E CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS

Os procedimentos de coleta e análise preliminar dos dados constituem o sustentáculo da pesquisa quantitativa, englobando desde a seleção das fontes para obtenção dos dados até a aplicação de técnicas estatísticas que irão nortear a modelagem econométrica, levando em consideração à disponibilidade e consistência dos dados disponíveis.

Os dados utilizados na pesquisa são de natureza secundária, proveniente de bases públicas reconhecidas como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023) e Secretaria do Tesouro Nacional – STN (2026), para os indicadores econômicos, e da base TerraClimate para os dados climáticos. O TerraClimate, desenvolvido pela University of Idaho em colaboração com outras instituições de pesquisa, é um banco de dados público que fornece estimativas mensais de variáveis climáticas e de balanço hídrico em alta resolução espacial (aproximadamente 4 km), abrangendo o período de 1958 até o presente. Seus dados combinam observações meteorológicas e modelagens de reanálise atmosférica, assegurando consistência temporal e espacial. Por ser uma base validada e de acesso livre, é amplamente utilizada em estudos sobre variabilidade e mudanças climáticas em escala global e regional (Abatzoglou et al., 2018).

A partir das fontes descritas, foram selecionadas variáveis econômicas e climáticas compatíveis com os objetivos da pesquisa, as quais são apresentadas no Quadro 2, na página seguinte.

Quadro 2 – Variáveis coletadas

Variável	Unidade	Categoria	Autor(es)	Motivação para escolha	Fonte
Produto Interno Bruto municipal	R\$	Econômica	Callahan e Mankin (2022); Dell, Jones e Olken (2014)	Indicador sintético da atividade econômica local.	SIDRA/IBGE
Receita Corrente Líquida (rc_liq)	R\$	Econômica	Martini e Gallo (2024); Tavares (2021)	Representa a capacidade de arrecadação e sustentabilidade fiscal dos municípios frente a choques climáticos.	SICONFI/STN
Despesas Correntes (dc)	R\$	Econômica	Skoufias, Strobl e Tveit (2018), Tavares (2021)	Indica o comportamento do gasto público e a resposta fiscal dos municípios diante de eventos climáticos.	SICONFI/STN
Fundo de Participação dos Municípios (fpm_liq)	R\$	Econômica	Martini e Gallo (2024), Tavares (2021)	Atua como proxy do grau de dependência dos municípios do Amazonas em relação às transferências federais.	SICONFI/STN
Temperatura máxima (tmax)	°C	Climática	Abatzoglou et al. (2018), Araújo et al. (2016), Dell; Jones; Olken (2012)	Base para o cálculo da temperatura média, captura efeitos do aquecimento e do estresse térmico.	TerraClimate
Temperatura mínima (tmin)	°C	Climática	Abatzoglou et al. (2018), Araújo et al. (2016), Dell; Jones; Olken (2012)	Base para o cálculo da temperatura média, captura efeitos do aquecimento e do estresse térmico.	TerraClimate
Precipitação (ppt)	mm	Climática	Abatzoglou et al. (2018), Araújo et al. (2016)	Reflete choques de chuva e anomalias pluviométricas.	TerraClimate
Déficit hídrico (def)	mm	Climática	Abatzoglou et al. (2018).	Indica a diferença entre demanda e disponibilidade de água no solo, associada a estiagens e impactos produtivos.	TerraClimate
Umidade do solo (soil)	mm	Climática	Abatzoglou et al. (2018).	Expressa o volume de água armazenado no solo, associado à resiliência ecológica e agrícola.	TerraClimate
Palmer Drought Severity Index (PDSI)	Índice	Climática	Abatzoglou et al. (2018), Sass (2021)	Quantifica a severidade das secas.	TerraClimate
Escoamento superficial (q)	mm	Climática	Abatzoglou et al. (2018).	Relaciona-se à ocorrência de alagamentos e cheias, podendo servir como proxy indireta do nível dos rios.	TerraClimate

Fonte: Elaboração própria (2026).

A escolha das variáveis econômicas considerou a capacidade de refletir, em nível municipal, os efeitos decorrentes dos fenômenos climáticos, atuando como variáveis dependentes na estimação dos modelos econométricos. Na literatura autores como Tavares (2021), Martini e Gallo (2024) e Skoufias, Strobl e Tveit (2018), destacaram o uso de indicadores relacionados às finanças municipais, como despesas correntes per capita e receitas tributárias, e Chung (2020), investiga orçamentos municipais em aspectos como arrecadação e despesas, frente à ocorrência de eventos climáticos.

O Fundo de Participação dos Municípios (FPM) foi selecionado como variável *proxy* da dependência dos municípios amazonenses das transferências federais, conforme evidenciado por Mendonça, Ferreira e Costa (2019), que identificaram elevado grau de dependência financeira dos municípios do estado em relação aos repasses da União, em especial o FPM, principal fonte de receita para 88% deles. O Produto Interno Bruto (PIB) municipal figura como um indicador econômico amplamente utilizado, segundo Callahan e Mankin (2022), e Dell, Jones e Olken, (2014), em razão da sua capacidade de capturar efeitos dos agregados de choques exógenos sobre a economia local.

Assim, as variáveis econômicas selecionadas foram a Receita Corrente Líquida, as Despesas Correntes e o Fundo de Participação dos Municípios (FPM), as quais foram extraídas das bases do Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro (SICONFI), mantido pela Secretaria do Tesouro Nacional (STN). A Receita Corrente Líquida foi operacionalizada a partir da estrutura da Receita Orçamentária municipal, considerando as rubricas classificadas como Receitas Correntes, código 1.0.0.0, com incorporação das deduções legais registradas no SICONFI, de modo a representar a capacidade arrecadatória efetiva disponível ao ente municipal ao longo do exercício.

O Fundo de Participação dos Municípios foi identificado no SICONFI a partir das rubricas cujo *ELEMENTLABEL* contém a expressão Fundo de Participação, opção metodológica adotada para garantir consistência temporal 2014–2024 diante de mudanças na codificação de natureza da receita ao longo do período. Como as deduções são reportadas com sinal negativo no campo *VALUE*, o valor líquido anual do FPM foi obtido pela soma algébrica dos registros por município e ano.

No que se refere às despesas, foram consideradas exclusivamente as Despesas Correntes, extraídas da base de Despesa Orçamentária em sua fase liquidada, com seleção exclusiva da rubrica agregada 3.0.00.00.00. Essa estratégia evita dupla contagem decorrente de desdobramentos hierárquicos, garantindo consistência macroeconômica na comparação com as Receitas Correntes.

Adicionalmente, com o objetivo de eliminar distorções inflacionárias acumuladas no período analisado, os indicadores econômicos e fiscais foram deflacionados, utilizando-se o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), obtido na base do SIDRA, tabela 1737, adotando-se como deflator a razão entre o IPCA de dezembro de 2024 e o IPCA de dezembro de cada ano da série, de forma que os valores monetários passem a ser expressos em termos reais, isolando o componente de variação inflacionaria e permitindo comparabilidade intertemporal.

Por fim, as variáveis fiscais e o PIB foram expressos em termos *per capita*, com o fito de assegurar a comparabilidade entre municípios, evitando possíveis distorções associadas às diferenças de populacionais. Para tanto, utilizou-se a população residente estimada para cada município e ano analisado, com dados obtidos de forma híbrida, da base do SICONFI e do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), garantindo consistência e completude para o cálculo dos indicadores *per capita*.

A organização, tratamento e transformação dos indicadores econômicos, foram realizados em interface R, por meio de rotinas de manipulação e tratamento dos dados utilizados.

Quanto às variáveis climáticas, foram considerados indicadores amplamente utilizados em estudos que relacionam variações do clima a impactos econômicos, como temperatura média e precipitação acumulada, empregadas como variáveis explicativas em modelos econométricos que analisam choques climáticos, como em Dell, Jones e Olken (2012) e Oduncular *et al.* (2024).

Para a construção da variável de temperatura média, foram inicialmente coletadas as séries mensais de temperatura máxima e mínima, a partir das quais se obteve a temperatura média mensal como a média aritmética simples entre essas duas medidas. Em seguida, a temperatura média foi agregada para a escala anual por meio da média dos valores mensais, considerando-se a natureza de variável de estoque.

Além dessas, foram coletadas variáveis associadas ao balanço hídrico, estimadas por meio de modelo hidrológico híbrido climático, incluindo déficit hídrico climático, umidade do solo, escoamento superficial e um índice integrado de seca, o Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Abatzoglou *et al.*, 2018). Tais variáveis têm sido utilizadas como medidas complementares da severidade de secas e de suas repercussões sobre a economia, notadamente em estudos baseados em índices de monitoramento de secas como o PDSI, empregado por Sass (2021).

As variáveis hidrológicas foram consideradas por sua capacidade de refletir condições de alagamento e cheias, podendo servir como *proxy* indireta para o nível dos rios em regiões amazônicas, dada a dificuldade de obtenção de dados fluviométricos homogêneos para todos os municípios.

Todas as variáveis climáticas foram extraídas da base TerraClimate (2018), que disponibiliza séries mensais e anuais de parâmetros climáticos em alta resolução. A precipitação acumulada (ppt), o déficit hídrico climático (def), a umidade do solo (soil) e o escoamento superficial (q) são expressos em milímetros (mm), representando volumes acumulados ou armazenados de água. As temperaturas máxima (tmax) e mínima (tmin) são registradas em graus Celsius (°C), enquanto o PDSI constitui um indicador adimensional de severidade de seca.

A extração dos dados climáticos foi realizada em ambiente R, a partir da sobreposição espacial das camadas *raster* da base TerraClimate com o *shapefile* dos municípios do estado do Amazonas. Para cada município foi realizada a agregação espacial ponderada por área, permitindo a construção de séries climáticas mensais representativas das condições médias observadas em cada território municipal.

A partir dessas séries mensais foram calculadas estatísticas anuais das variáveis climáticas selecionadas, propiciando harmonia de escala temporal com as variáveis econômicas, incluindo precipitação total anual, temperatura média, déficit hídrico climático, umidade do solo, escoamento superficial e PDSI.

Além das variáveis climáticas anuais, foram construídas anomalias climáticas com base em uma normal climatológica municipal, estimada para o período de 1958 e 1987. Em termos conceituais, as anomalias climáticas representam o desvio entre o valor observado de uma variável climática em determinado período e a média climatológica de referência, permitindo identificar variações atípicas ou eventos extremos em relação ao comportamento histórico do clima (International Panel on Climate Change, 2021; World Meteorological Organization, 2023). Esse enfoque é amplamente utilizado em estudos empíricos sobre impactos econômicos decorrentes das mudanças climáticas, contornando possíveis vieses e isolando características fixas ou processos históricos de longo prazo, relacionados a o clima médio de determinada localidade (Dell; Jones; Olken, 2014).

A normal climatológica foi calculada a partir de uma janela de trinta anos, seguindo a recomendação da World Meteorological Organization (WMO), que estabelece esse intervalo como suficientemente longo para capturar a variabilidade natural do clima, e ao mesmo tempo, suficientemente estável para caracterizar condições médias representativas (World

Meteorological Organization, 2023). A escolha do ano inicial ocorreu em razão da disponibilidade temporal da base TerraClimate, cujas series tem início em 1958, fornecendo um recorte majoritariamente situado em um período anterior à intensificação recente do aquecimento global observada a partir das últimas décadas do século XX, propiciando um padrão climático histórico relativamente estável e menos influenciado pelas tendências contemporâneas das mudanças climáticas (International Panel on Climate Change, 2021).

Com base nessa normal climatológica, foram construídas duas medidas de anomalia para cada variável climática. Essa estratégia permite mensurar os desvios das condições climáticas observadas em relação ao padrão histórico de cada município e operacionaliza, em escala municipal, a análise da exposição das economias locais a condições climático-hidrológicas atípicas, relevantes no contexto dos riscos associados às mudanças climáticas. Inicialmente, a normal climatológica foi estimada como a média da variável climática ao longo do período de referência de 1958 a 1987, conforme apresentado na Equação (1).

$$\overline{X}_i^{norm} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N X_{i,t} \quad (1)$$

onde:

- $\overline{X}_i^{norm}$ = normal climatológica da variável climática para o município i ;
- $X_{i,t}$ = valor observado da variável climática no município i no ano t ;
- N = número de anos utilizados para o cálculo da normal climatológica;
- t = índice temporal do período de referência (1958–1987).

No presente estudo:

$$N = 30$$

A partir dessa referência histórica foi calculada a anomalia climática absoluta, definida como a diferença entre o valor observado da variável climática no município i no ano t e a respectiva média climatológica, conforme formalizado na Equação (2).

$$A_{i,t} = X_{i,t} - \overline{X}_i^{norm} \quad (2)$$

onde:

- $A_{i,t}$ = anomalia climática da variável para o município i no ano t ;
- $X_{i,t}$ = valor observado da variável climática no município i no ano t ;

- $\bar{X}_i^{norm}$ = normal climatológica da variável no município i .

Em seguida, foi calculada a anomalia padronizada, obtida pela divisão da anomalia absoluta pelo desvio-padrão da variável climática no período de referência, resultando em uma medida expressa em unidades de desvio-padrão (z-score), conforme apresentado na Equação (3).

$$Z_{i,t} = \frac{X_{i,t} - \bar{X}_i^{norm}}{\sigma_i^{norm}} \quad (3)$$

Essa padronização permite tornar comparáveis variáveis climáticas com diferentes unidades e escalas de variabilidade, além de facilitar a interpretação dos desvios climáticos em relação à variabilidade histórica da série climatológica.

No contexto da modelagem econométrica adotada nesta pesquisa, a utilização de anomalias padronizadas permite interpretar os coeficientes associados às variáveis climáticas como a variação esperada no indicador econômico analisado associada a um aumento de um desvio-padrão da variável climática em relação ao comportamento climático histórico do município. Assim, os efeitos estimados passam a refletir desvios relativos às condições climáticas normais de cada localidade, e não alterações absolutas nas unidades originais das variáveis climáticas.

Após o processamento das bases econômicas e climáticas, os dados foram integrados por meio da chave composta município-ano, utilizando o código IBGE de sete dígitos como identificador municipal. Esse procedimento resultou na construção de uma base em formato de painel, contendo observações para os 62 municípios do Amazonas ao longo do período de 2014 a 2024.

O processo de integração foi implementado por meio de rotinas automatizadas em linguagem R, garantindo consistência das chaves de identificação municipal, ausência de duplicidades e integridade estrutural do painel final. Esse procedimento resultou na construção de uma base de dados em painel consistente e estruturalmente íntegra, que fundamentou as análises empíricas desenvolvidas neste estudo.

O lócus da pesquisa corresponde aos 62 municípios que compõem o Estado do Amazonas, conforme a divisão territorial estabelecida pelo IBGE (2017), abrangendo desde a capital Manaus até localidades de menor porte e maior isolamento geográfico, com dados abrangendo o período entre 2014 e 2024. A escolha deste lócus se justifica pela relevância econômica e ambiental da região, e o cenário de intensificação das mudanças climáticas, com

secas e cheias severas registradas nos últimos anos, com o Estado do Amazonas representando cerca de um quinto do território brasileiro, posicionado no núcleo da Bacia Amazônica, reforçando a centralidade do Estado no debate climático-econômico (IBGE, 2024).

Os dados coletados receberam tratamento inicial voltado à verificação de consistência, padronização de unidades de medida e alinhamento da frequência temporal. Na etapa de consolidação do painel, identificaram-se valores ausentes nas variáveis fiscais receita corrente líquida (*rc_liq*), Fundo de Participação dos Municípios (*fpm_liq*), despesa corrente (*dc*) e no Produto Interno Bruto municipal (PIB).

Diante disso, adotou-se protocolo estruturado de imputação de dados faltantes, preservando-se, sempre que possível, a trajetória histórica observada de cada município. Para lacunas internas isoladas, aplicou-se interpolação linear entre observações adjacentes, procedimento amplamente utilizado quando se assume continuidade aproximada entre períodos consecutivos. Para blocos internos de períodos ausentes, o mesmo critério foi estendido, utilizando-se interpolação linear entre os extremos observados. Tal procedimento é aceito e utilizado em projeções macroeconômicas por instituições de renome como a OCDE (2009), para tratar lacunas internas em séries temporais.

Em lacunas unitárias no início ou final da série foi empregada a imputação pelo valor adjacente, com procedimentos do tipo *carry-back* ou *carry-forward*, conforme dispõe Buuren (2018), operacionalizada pela replicação do primeiro ou último valor disponível, tendo em vista a indisponibilidade de valores em ambos os lados da lacuna, inviabilizando o uso da interpolação.

Diante da existência de lacunas estruturais no período inicial da série temporal, aplicou-se a técnica de retropolação baseada na taxa de variação observada. Este procedimento, fundamentado nos trabalhos de Vaz e Barreira (2021) e Bacciotti e Marçal (2020), utiliza a dinâmica de crescimento registrada nos primeiros anos disponíveis para recompor retrospectivamente os dados ausentes. Tal abordagem é preferível à imputação por valores constantes, pois preserva a heterogeneidade e a trajetória proporcional inerente aos dados reais da série.

Para o tratamento de lacunas nos blocos terminais da série, especificamente no caso do PIB municipal de 2024, aplicou-se a suavização exponencial simples (SES) por município, utilizando o horizonte histórico de 2014 a 2023. A escolha deste método fundamenta-se em sua eficácia reconhecida para previsões de curto prazo em séries que não apresentam componentes claros de tendência ou sazonalidade (Hyndman; Athanasopoulos, 2021). Conforme Gardner (2006), a técnica permite captar o comportamento recente da série de forma parcimoniosa, ao

atribuir pesos que decrescem exponencialmente à medida que as observações se tornam mais remotas, garantindo que a projeção para 2024 reflita a conjuntura econômica mais imediata de cada localidade.

Após a imputação das variáveis originais, recalcularam-se automaticamente os indicadores derivados em termos reais e per capita, assegurando coerência interna entre os componentes econômicos da base consolidada. Ao final desse processo, obteve-se painel balanceado composto pelos 62 municípios do Estado do Amazonas no período de 2014 a 2024, totalizando 682 observações município-ano, apto às análises empíricas subsequentes.

2.3 CORRELAÇÃO CANÔNICA E ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

Inicialmente, foi empregada a Análise de Correlação Canônica (ACC), com o objetivo de investigar as associações entre os conjuntos de variáveis econômicas e climáticas e subsidiar a seleção das variáveis explicativas a serem utilizadas nos modelos econométricos subsequentes. Por se tratar de técnica multivariada apropriada à análise simultânea entre dois grupos de variáveis, a ACC permitiu identificar combinações lineares com maior grau de associação entre os blocos analisados.

Conforme preconizam Hair *et al.* (2009) esta análise inicial é fundamental para compreender a natureza conjunta das variáveis e avaliar relações estruturais entre diferentes conjuntos de indicadores. Nesse contexto, a correlação canônica mostra-se adequada para examinar a interdependência entre variáveis econômicas e climáticas.

No âmbito da análise exploratória, a Análise de Correlação Canônica (ACC) foi utilizada como técnica multivariada para investigar a relação entre os conjuntos de variáveis econômicas e climáticas. Essa abordagem permite identificar combinações lineares de variáveis dependentes e independentes que maximizam a correlação entre os grupos, possibilitando avaliar quais variáveis climáticas apresentam maior capacidade explicativa em relação aos indicadores econômicos.

De acordo com Fávero (2017), os modelos de correlação canônica são úteis para verificar, entre um grupo de variáveis dependentes, aquela que seja mais fortemente explicada por determinado conjunto de variáveis preditoras, propiciando a elaboração de constructos de pesquisa mais bem desenvolvidos.

Fávero (2017) apresenta a formulação geral da correlação canônica, representada pela relação funcional entre um conjunto de variáveis dependentes e um conjunto de variáveis explicativas, conforme a Equação (4):

$$Y_1 \dots Y_p = f(X_1 \dots X_q) \quad (4)$$

Onde:

- Y_p representam as variáveis dependentes do modelo;
- X_q as variáveis explicativas.

A partir dessa formulação geral, definem-se combinações lineares para cada conjunto de variáveis, denominadas variáveis canônicas. Conforme Sharma (1996, *apud* Fávero 2017) as expressões podem ser representadas pelas Equações (5) e (6):

$$u_{li} = a_{11} \cdot Y_{1i} + a_{12} \cdot Y_{2i} + \dots + a_{1p} \cdot Y_{pi} \quad (5)$$

$$v_{li} = b_{11} \cdot X_{1i} + b_{12} \cdot X_{2i} + \dots + b_{1q} \cdot X_{qi} \quad (6)$$

As variáveis u_l e v_l correspondem, respectivamente, às combinações lineares do conjunto de variáveis dependentes e do conjunto de variáveis explicativas. A correlação entre essas combinações lineares constitui a correlação canônica, cujo valor máximo indica o grau de associação entre os dois grupos de variáveis.

Na sequência, podem ser estimadas funções canônicas adicionais, mutuamente ortogonais às anteriores, conforme apresentado nas Equações (7) e (8):

$$u_{mi} = a_{m1} \cdot Y_{1i} + a_{m2} \cdot Y_{2i} + \dots + a_{mp} \cdot Y_{pi} \quad (7)$$

$$v_{mi} = b_{m1} \cdot X_{1i} + b_{m2} \cdot X_{2i} + \dots + b_{mq} \cdot X_{qi} \quad (8)$$

Fávero (2017) ressalta que o número máximo de funções canônicas corresponde ao menor valor entre a quantidade de variáveis dependentes (p) e explicativas (q). Cada função canônica representa uma dimensão específica de associação entre os conjuntos analisados, sendo ordenadas conforme sua relevância estatística.

No contexto desta pesquisa, a correlação canônica permitiu examinar simultaneamente as relações entre os indicadores climáticos, considerados variáveis explicativas, e os indicadores econômicos municipais, considerados variáveis dependentes. A partir dos

resultados obtidos, procedeu-se à definição do conjunto final de variáveis empregado nas análises subsequentes.

Em etapa posterior, foi realizada análise exploratória dos dados, com o objetivo de caracterizar as variáveis selecionadas, identificar padrões de distribuição e possíveis valores atípicos, bem como verificar a consistência estatística das séries utilizadas. Para tanto, foram calculadas medidas de tendência central, como média e mediana, e medidas de dispersão, como desvio-padrão, variância, valores mínimos e máximos.

Adicionalmente, a análise exploratória possibilitou comparar o comportamento das variáveis ao longo do período estudado e entre os municípios observados, contribuindo para a identificação de heterogeneidades relevantes e para o refinamento da especificação econométrica adotada nas etapas posteriores do estudo.

2.4 ABORDAGEM ECONOMETRICA

A investigação central deste trabalho foi conduzida por meio da aplicação de modelos econométricos em dados em painel, considerando as características da base de dados construída para os municípios do Estado do Amazonas no período de 2014 a 2024. A estrutura amostral resultou em um painel municipal anual, no qual a dimensão transversal correspondeu aos municípios observados e a dimensão temporal compreendeu onze períodos anuais. Tal configuração mostrou-se adequada ao objetivo de analisar os efeitos de variáveis climáticas sobre indicadores econômicos municipais ao longo do tempo.

A utilização de modelos em painel justificou-se pela possibilidade de explorar simultaneamente a variação temporal e a heterogeneidade entre municípios. Em comparação a modelos estimados exclusivamente em corte transversal ou em séries temporais agregadas, os modelos em painel permitem controlar fatores não observados específicos de cada unidade, reduzir viés por omissão de variáveis invariantes no tempo e ampliar a eficiência estatística das estimações (Baltagi, 2005; Gujarati; Porter, 2011). Para uma amostra territorialmente heterogênea como a dos municípios amazonenses, essas vantagens mostraram-se particularmente relevantes.

As estimações econométricas foram realizadas em ambiente computacional RStudio, com utilização predominante do pacote `plm` para modelos em painel, além de rotinas complementares em linguagem R para testes diagnósticos, organização das bases de dados e consolidação dos resultados.

Foram consideradas como variáveis dependentes quatro dimensões econômicas municipais: Produto Interno Bruto real per capita, receita corrente real per capita, despesa corrente real per capita e transferências do Fundo de Participação dos Municípios (FPM) todas expressas em termos reais per capita. Como variáveis explicativas principais, utilizaram-se medidas climáticas derivadas da base *TerraClimate*, posteriormente transformadas em anomalias padronizadas em relação à normal climatológica municipal histórica.

Em termos formais, a estrutura geral estimada pode ser representada por (Fávero, 2017):

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 \cdot X_{1it} + \beta_2 \cdot X_{2it} + \dots + \beta_k \cdot X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

em que:

- Y_{it} é a variável dependente para o município i no ano t ;
- α_i corresponde ao efeito específico não observado do município;
- $X_{k,it}$ é a k -ésima variável explicativa para o município i no ano t ;
- β_k são os parâmetros estimados;

ε_{it} corresponde ao termo de erro idiossincrático.

A depender dos resultados dos testes de especificação, essa estrutura foi estimada por modelos empilhados (*Pooled OLS*), efeitos fixos ou efeitos aleatórios. O modelo empilhado assume intercepto comum e ausência de heterogeneidade não observada entre os municípios (Gujarati; Porter, 2011):

$$Y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

Nos modelos de efeitos fixos, características invariantes no tempo e específicas de cada município são controladas por interceptos individuais, permitindo correlação entre tais efeitos e os regressores (Fávero, 2017; Wooldridge, 2010):

$$Y_{it} = (\beta_0 + \alpha_i) + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

em que:

- β_0 : intercepto geral;
- α_i : componente específico fixo do município i , constante no tempo;
- β_k : coeficientes das variáveis explicativas;

- X_{kit} : variáveis explicativas observadas;
- ε_{it} : erro aleatório idiossincrático.

O termo α_i captura características não observadas e invariantes no tempo, como localização geográfica, infraestrutura histórica e padrões institucionais persistentes.

Nos modelos de efeitos aleatórios, a heterogeneidade específica das unidades é tratada como componente estocástico não correlacionado com as variáveis explicativas (Baltagi, 2005):

$$Y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

em que:

- u_i : componente aleatório específico do município;
- ε_{it} : erro idiossincrático;
- $u_i + \varepsilon_{it}$: termo composto de erro.

Considerando a possibilidade de heterocedasticidade e correlação serial intraunidade, as estimações finais utilizaram erros-padrão robustos clusterizados por município, procedimento recomendado para painéis com dependência intra-grupo (Arellano; Bond, 1991; Wooldridge, 2010).

A definição do estimador mais adequado foi baseada em testes clássicos de especificação para dados em painel. Inicialmente, aplicou-se o teste F de Chow para comparar o modelo empilhado ao modelo de efeitos fixos (Gujarati; Porter, 2011):

$$F = \frac{(SQR_R - SQR_{IR})/(N-1)}{SQR_{IR}/(NT-N-K)} \quad (13)$$

em que:

- SQR_R é a soma dos quadrados dos resíduos do modelo restrito, o *Pooled*;
- SQR_{IR} é a soma dos quadrados dos resíduos do modelo irrestrito, o MEF;
- N é o número de unidades individuais;
- T é o número de períodos e tempo;
- K é o número de parâmetros explanatórios.

Na sequência, utilizou-se o teste LM de Breusch-Pagan para avaliar a presença de efeitos aleatórios e verificar a superioridade desse estimador em relação ao modelo empilhado (Fávero, 2017; Gujarati; Porter, 2011). Confirmada a existência de heterogeneidade não

observada, aplicou-se o teste de Hausman para decidir entre efeitos fixos e efeitos aleatórios. Esse teste compara a consistência dos estimadores sob a hipótese nula de ausência de correlação entre efeitos individuais não observados e regressoras; sua rejeição indica preferência pelo modelo de efeitos fixos (Wooldridge, 2010).

Além dos testes entre estimadores, realizou-se diagnóstico complementar das variáveis climáticas explicativas, uma vez que precipitação, déficit hídrico, umidade do solo e PDSI representam dimensões correlatas do sistema hidroclimático regional. Para esse fim, estimaram-se matrizes de correlação e medidas auxiliares de multicolinearidade, especialmente o Fator de Inflação da Variância (FIV), amplamente utilizado na literatura aplicada para detecção de colinearidade excessiva entre regressoras (Gujarati; Porter, 2011; Hair et al., 2009).

Os diagnósticos indicaram correlação relevante entre algumas *proxies* hidrológicas, o que motivou a adoção de estratégia empírica em duas etapas. Inicialmente, estimou-se um modelo climático básico, composto por temperatura média e precipitação. Em seguida, foram estimadas especificações ampliadas com a inclusão individual de *proxies* hidrológicas alternativas, o déficit hídrico, umidade do solo e PDSI, evitando a inserção simultânea de indicadores fortemente correlacionados em uma mesma equação.

As especificações contemporâneas podem ser sintetizadas pelas Equações (14) e (15) enquanto a equação (16) traz o conjunto de *proxies* hidrológicas das especificações ampliadas:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 Temp_{it} + \beta_2 Prec_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (14)$$

em que:

- Y_{it} é a variável dependente do município i no período t ;
- α é o intercepto comum do modelo;
- β_1, β_2 são os coeficientes associados às variáveis explicativas;
- $Temp_{it}$ é a temperatura média em anomalia padronizada do município i no período t ;
- $Prec_{it}$ é a precipitação em anomalia padronizada do município i no período t ;
- μ_i é o efeito específico não observado do município i ;
- ε_{it} é o termo de erro idiossincrático.

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 Temp_{it} + \beta_2 Z_{it} + \beta_3 H_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (15)$$

em que:

- Z_{it} representa a inclusão da precipitação nas versões ampliadas, quando aplicável;
- H_{it} é a *proxy* hidrológica alternativa;
- β_3 é o coeficiente associado à *proxy* hidrológica.

$$H_{it} \in \{Def_{it}, Soil_{it}, PDSI_{it}\} \quad (16)$$

em que

- Def_{it} é o déficit hídrico em anomalia padronizada;
- $Soil_{it}$ é a umidade do solo em anomalia padronizada;
- $PDSI_{it}$ é o Palmer Drought Severity Index em anomalia padronizada.

Além das especificações contemporâneas, foram estimados modelos com defasagem temporal de um período para as variáveis climáticas explicativas. A utilização de variáveis defasadas constitui procedimento recorrente em economia aplicada quando se reconhece que determinados efeitos econômicos não se materializam integralmente no mesmo período em que ocorre o choque explicativo, podendo emergir de forma gradual ao longo do tempo.

Em contextos fiscais e produtivos, choques exógenos podem repercutir com atraso em razão de rigidezes institucionais, ciclos administrativos e custos de ajustamento (Gujarati; Porter, 2011; Wooldridge, 2010).

No caso específico dos municípios amazonenses, essa hipótese mostrou-se particularmente plausível, uma vez que eventos climáticos adversos podem afetar com algum atraso a logística fluvial, a arrecadação tributária, a execução orçamentária municipal e os fluxos intergovernamentais de transferências. Assim, os modelos defasados buscaram captar eventual persistência temporal dos efeitos climáticos sobre os indicadores econômicos analisados.

A equação (17) refere-se à especificação com defasagem temporal utilizada:

$$Y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{k,i,t-1} + \varepsilon_{it} \quad (17)$$

em que:

- α_i é o intercepto específico da unidade i ;
- β_k é o coeficiente da k -ésima variável explicativa;
- $X_{k,i,t-1}$ representa a k -ésima variável explicativa observada no período imediatamente anterior ao período t ;

- $t-1$ indica a defasagem temporal de um período;
- ε_{it} é o termo de erro idiossincrático.

Foram estimadas versões semilogarítmicas das especificações principais como exercício complementar de robustez funcional. Transformações logarítmicas são amplamente empregadas em econometria aplicada por contribuírem para reduzir assimetrias distributivas, suavizar a influência de valores extremos, mitigar problemas de heterocedasticidade e permitir interpretação econômica dos coeficientes em termos percentuais aproximados (Gujarati; Porter, 2011; Wooldridge, 2010).

Na presente pesquisa, essa abordagem mostrou-se especialmente pertinente para variáveis monetárias per capita, como PIB, receita corrente, despesa corrente e transferências do FPM, cujas distribuições tendem a apresentar elevada dispersão entre municípios.

A equação (18) apresenta a especificação com defasagem temporal utilizada:

$$\ln(Y_{it}) = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (18)$$

O termo $\ln(Y_{it})$ corresponde à k -ésima variável explicativa observada no município i , no período t , enquanto os outros elementos da equação são análogos às equações anteriores.

Adicionalmente, foram estimadas especificações adicionais que incorporam variáveis indicadoras (*dummies*) para a ocorrência de eventos climáticos extremos. Essa abordagem tem como objetivo capturar efeitos não lineares associados a choques climáticos de elevada intensidade, que podem não ser plenamente refletidos pelas variações contínuas das anomalias climáticas.

A utilização de variáveis *dummy* em modelos econométricos é amplamente consolidada na literatura, sendo empregada para representar mudanças estruturais, efeitos discretos ou regimes específicos ao longo do tempo (Gujarati; Porter, 2011; Wooldridge, 2010). Em particular, no contexto de eventos extremos, essas variáveis permitem isolar o efeito médio associado à ocorrência de episódios atípicos, distinguindo-os das variações marginais capturadas pelas variáveis contínuas.

No campo da economia das mudanças climáticas, essa estratégia tem sido utilizada para modelar choques severos, como secas intensas e enchentes extremas, possibilitando avaliar impactos econômicos diferenciados em relação a condições climáticas regulares (Burke; Hsiang; Miguel, 2015; Dell; Jones; Olken, 2014). Dessa forma, a inclusão de *dummies* de eventos extremos permite incorporar à análise econométrica a natureza potencialmente assimétrica e não linear dos efeitos climáticos sobre a atividade econômica.

A definição dos eventos extremos baseou-se nas anomalias padronizadas das variáveis climáticas, adotando-se como critério operacional o limiar de $\pm 1,5$ desvio-padrão em relação à normal climatológica. Esse procedimento está alinhado à literatura de índices climáticos padronizados, especialmente ao *Standardized Precipitation Index* (SPI), no qual valores inferiores a -1,5 são associados a condições de seca severa (WMO, 2012).

Assim, foram classificados como eventos extremos os anos em que se observou, de forma combinada, condições severamente anômalas nas variáveis hidrológicas, seja associadas a estresse hídrico elevado, caracterizado por déficit hídrico positivo, baixa umidade do solo, precipitação reduzida ou valores negativos do índice PDSI, seja a condições de excesso hídrico, refletidas em níveis elevados de precipitação, umidade do solo ou valores positivos do PDSI.

A aplicação desse critério aos dados agregados anuais indicou os anos de 2023 e 2024 como episódios de seca extrema, conforme evidenciado pelos valores simultaneamente elevados de déficit hídrico e baixos níveis de umidade do solo, precipitação e PDSI. Essa classificação mostra-se consistente com registros independentes de desastres naturais, como os dados do *Emergency Events Database (EM-DAT)* (2025a), que reportam ocorrências de eventos extremos de seca na região amazônica nesse mesmo período.

Conforme a equação (19) variável *dummy* de evento extremo foi então definida para cada município i e período t , assumindo valor igual a 1 nos anos classificados como extremos e 0 nos demais casos.

$$D_{it}^{extremo} = 1 \quad \text{se } t \in \{2023, 2024\}; \quad D_{it}^{extremo} = 0 \quad \text{caso} \quad (19)$$

A especificação econométrica com inclusão da *dummy* de eventos extremos está representada na equação (20):

$$Y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + \gamma D_{it}^{extremo} + \varepsilon_{it} \quad (20)$$

em que:

- Y_{it} representa a variável econômica de interesse para o município i , no período t ;
- α_i é o intercepto específico da unidade i , capturando efeitos não observados invariantes no tempo;
- β_k é o coeficiente associado à k -ésima variável explicativa;

- X_{kit} representa a k -ésima variável climática explicativa observada no município i , no período t ;
- $D_{it}^{extremo}$ é a variável dummy indicadora de evento climático extremo, assumindo valor igual a 1 nos anos classificados como extremos e 0 nos demais períodos;
- γ corresponde ao coeficiente associado ao efeito médio dos eventos climáticos extremos sobre a variável dependente;
- ε_{it} é o termo de erro idiossincrático.

A escolha final das especificações reportadas no capítulo de resultados não se baseou exclusivamente nos testes entre estimadores ou em medidas isoladas de ajuste estatístico. Foram considerados conjuntamente: (i) aderência teórica ao mecanismo econômico investigado; (ii) significância estatística dos coeficientes centrais; (iii) coerência econômica dos sinais estimados; (iv) desempenho comparativo entre modelos, medido principalmente pelo coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2); (v) parcimônia econométrica; e (vi) estabilidade dos resultados entre especificações alternativas.

Nas comparações entre modelos com diferentes números de regressores, priorizou-se o coeficiente de determinação ajustado, por penalizar a inclusão de variáveis sem ganho explicativo relevante.

Esses mesmos critérios também fundamentaram a elaboração das sínteses interpretativas apresentadas no capítulo de resultados, incluindo a classificação qualitativa da intensidade relativa da sensibilidade econômica dos indicadores analisados. As categorias qualitativas empregadas, tais como baixa, moderada, alta e muito alta sensibilidade, possuem caráter interpretativo e foram definidas a partir da análise conjunta das evidências empíricas produzidas pelas diferentes especificações estimadas, não constituindo medidas estatísticas adicionais.

Como as variáveis climáticas foram expressas em anomalias padronizadas, os coeficientes dos modelos lineares representam a variação média esperada no indicador econômico associada ao aumento de um desvio-padrão na respectiva variável climática, mantidas constantes as demais variáveis.

Nos modelos semilogarítmicos, os coeficientes associados às variáveis explicativas podem ser interpretados como semi-elasticidades aproximadas, isto é, como a variação percentual esperada na variável dependente decorrente de uma variação unitária no regressor, mantidas constantes as demais variáveis. Como as variáveis climáticas deste estudo foram

expressas em anomalias padronizadas, tal interpretação corresponde ao efeito percentual associado ao aumento de um desvio-padrão na respectiva variável climática.

Adicionalmente, nas especificações que incorporam variáveis indicadoras de eventos extremos, os coeficientes associados a essas *dummies* capturam o efeito médio adicional sobre a variável dependente decorrente da ocorrência de choques climáticos severos. Esse efeito é expresso na mesma unidade de medida da variável dependente, isto é, em termos per capita e em valores reais, e representa a variação média esperada no indicador econômico nos períodos classificados como extremos, mantidas constantes as demais variáveis.

3. ANÁLISE DOS IMPACTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS MUNICÍPIOS DO AMAZONAS

Este capítulo apresenta e discute os resultados empíricos obtidos a partir da base de dados construída para os municípios do Estado do Amazonas no período de 2014 a 2024. A análise foi conduzida de forma sequencial, articulando diferentes etapas que foram desde a caracterização inicial dos dados até a estimação e interpretação dos modelos econométricos, permitindo uma compreensão abrangente das relações entre variáveis climáticas e indicadores econômicos.

A organização desta seção seguiu a lógica metodológica estabelecida no Capítulo 2, iniciando-se com a análise de correlação canônica, utilizada para investigar as associações entre os blocos de variáveis econômicas e climáticas e subsidiar a seleção empírica das variáveis empregadas nas etapas subsequentes. Em seguida, apresenta-se a análise descritiva do conjunto de dados já compatibilizado com os resultados dessa etapa exploratória, avançando posteriormente para a estimação dos modelos econométricos em painel.

A análise de correlação canônica permitiu identificar padrões relevantes de associação entre os conjuntos de variáveis, contribuindo para a hierarquização da importância relativa dos indicadores climáticos e econômicos. Na sequência, a análise descritiva evidenciou a heterogeneidade entre os municípios, o comportamento temporal dos indicadores econômicos e a variabilidade das condições climáticas ao longo do período analisado.

Por fim, foram estimados modelos de dados em painel, incluindo as abordagens Pooled OLS, efeitos fixos e efeitos aleatórios, permitindo avaliar de forma comparativa os impactos das variáveis climáticas sobre os indicadores econômicos municipais. A interpretação dos resultados foi conduzida à luz do referencial teórico, considerando a magnitude, direção e significância dos efeitos estimados, bem como as heterogeneidades observadas entre municípios e ao longo do tempo.

Dessa forma, esta seção consolidou a evidência empírica do estudo, permitindo avaliar a hipótese de que as mudanças climáticas exercem impactos econômicos relevantes, quantificáveis e heterogêneos sobre os municípios do Estado do Amazonas.

3.1 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA

Como etapa exploratória inicial dos resultados empíricos, procedeu-se à estimação de uma análise de correlação canônica (ACC) com o objetivo de investigar associações

multivariadas entre o conjunto de indicadores econômicos e o conjunto de variáveis climáticas. Essa técnica permitiu identificar quais variáveis climáticas apresentam maior associação conjunta com os indicadores econômicos selecionados, subsidiando a definição do conjunto de variáveis utilizado nas análises subsequentes.

A análise foi conduzida considerando o período de 2014 a 2024, com base na versão final da base de dados após os procedimentos de tratamento e imputação de valores faltantes descritos no capítulo metodológico. Dessa forma, a ACC constituiu instrumento auxiliar para hierarquizar a relevância empírica das variáveis e aprimorar a especificação dos modelos econométricos estimados posteriormente.

Para a realização da ACC, foi selecionado um subconjunto das variáveis climáticas disponíveis na base de dados inicial, buscando contemplar diferentes dimensões das condições hidroclimáticas regionais. Foram consideradas as variáveis precipitação (*ppt_anom_z*), temperatura média (*tmean_anom_z*), índice de severidade de seca (*pdsi_anom_z*), déficit hídrico (*def_anom_z*), umidade do solo (*soil_anom_z*) e escoamento superficial (*q_anom_z*), todas expressas como anomalia em relação à normal climatológica estabelecida e posteriormente padronizadas em *z-score*.

As variáveis de temperatura mínima (*tmin*) e temperatura máxima (*tmax*) foram excluídas da análise devido à elevada correlação estrutural com a temperatura média (*tmean*), o que implicaria redundância informacional no conjunto de variáveis climáticas. De forma similar, as variáveis evapotranspiração potencial (*pet*) e evapotranspiração real (*aet*), não foram consideradas, uma vez que constituem variáveis derivadas do modelo de balanço hídrico climático e apresentam forte dependência funcional de outras variáveis já incluídas na análise, especialmente temperatura e disponibilidade hídrica.

A ACC foi estimada considerando dois conjuntos de variáveis. O primeiro correspondendo ao bloco econômico, composto pelos indicadores de desempenho fiscal e econômico municipal, incluindo PIB per capita real (*pib_pc_real*), receita corrente per capita real (*rc_pc_real*), despesa corrente per capita real (*dc_pc_real*), e transferências do FPM per capita real (*fpm_pc_real*). O segundo conjunto corresponde ao bloco climático, formado pelas variáveis de precipitação (*ppt_anom_z*), temperatura média (*tmean_anom_z*), índice de severidade de seca (*pdsi_anom_z*), déficit hídrico (*def_anom_z*), e umidade do solo (*soil_anom_z*).

Após análises preliminares, optou-se pela exclusão da variável de escoamento superficial (*q_anom_z*), em razão de sua elevada redundância, com alto fator de inflação da

variância (VIF), igual a 16,987, introduzindo alto grau de multicolinearidade ao conjunto de variáveis climáticas, resultando na seleção final para a análise, exibida no Quadro 3.

Quadro 3– Conjuntos de variáveis utilizados na ACC

Bloco econômico (Y)	Bloco climático (X)
pib_pc_real	ppt_anom_z
rc_pc_real	tmean_anom_z
dc_pc_real	pdsi_anom_z
fpm_pc_real	def_anom_z
–	soil_anom_z

Fonte: Elaboração própria (2026).

A partir dos conjuntos definidos, estimou-se a análise de correlação canônica entre os blocos climático e econômico. Os resultados das correlações canônicas e dos testes de significância são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1– Correlações canônicas entre variáveis climáticas e indicadores econômicos

Função canônica	Correlação	p-valor
F1	0,556	0,000
F2	0,202	0,000
F3	0,118	0,038
F4	0,075	0,146

Fonte: Elaboração própria (2026).

As três primeiras funções são estatisticamente significativas, enquanto a quarta função não apresentou significância estatística. A maior correlação entre os dois blocos está na primeira função F1, que captura boa parte da estrutura de associação, com as funções F2 e F3 apresentando correlações progressivamente menores, sugerindo dimensões adicionais, porém menos intensas.

Considerando a forte correlação observada na primeira função, a análise subsequente concentra-se prioritariamente nessa dimensão, que sintetiza a principal associação entre os dois blocos. Deste modo seguimos para estimação da sua função canônica, que corresponde às combinações lineares das variáveis de cada bloco que maximizam a correlação entre os conjuntos climático e econômico, com os coeficientes canônicos padronizados exibidas na Tabela 2.

Tabela 2– Coeficientes canônicos padronizados

Variável	Bloco	Coefficiente canônico
Precip. (anom. Z)	Climático (X)	0,005
Temp. média (anom. Z)	Climático (X)	0,007
PDSI (anom. Z)	Climático (X)	-0,001
Déf. Hídrico (anom z)	Climático (X)	-0,032
Umid. Solo (anom. Z)	Climático (X)	0,008
PIB real pc	Econômico (Y)	-0,007
RC real pc	Econômico (Y)	0,057
DC real pc	Econômico (Y)	-0,034
FPM real pc	Econômico (Y)	-0,053

Fonte: Elaboração própria (2026).

A seguir, são apresentadas respectivamente as equações das funções canônicas climática (21) e econômica (22) estimadas.

$$U_1 = 0.005 ppt_{anom_z} + 0.007 tmean_{anom_z} - 0.001 pdsi_{anom_z} - 0.032 def_{anom_z} + 0.008 soil_{anom_z} \quad (21)$$

$$V_1 = -0.007 pib_{pc_real} + 0.057 rc_{pc_real} - 0.034 dc_{pc_real} - 0.053 fpm_{pc_real} \quad (22)$$

Observa-se que a função canônica climática resulta da combinação de variáveis associadas às condições hidrológicas e térmicas, destacando-se a presença simultânea de indicadores de déficit hídrico, umidade do solo, precipitação e temperatura média, cujos sinais refletem relações coerentes com a dinâmica do balanço hídrico regional. De forma análoga, a função canônica econômica combina indicadores de atividade econômica e de finanças públicas municipais, incluindo o PIB per capita, as receitas correntes, as despesas correntes e as transferências do Fundo de Participação dos Municípios.

Entretanto, a interpretação substantiva da associação entre os dois blocos é mais adequadamente realizada a partir das cargas canônicas, que indicam a correlação entre cada variável observada e a respectiva variável canônica. Esses resultados são apresentados a seguir nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3– Cargas canônicas das variáveis climáticas na primeira função canônica

Variável climática	Carga canônica	Carga canônica cruzada
Déf. Hídrico (anom z)	-0,983	-0,546
soil_anom_z	0,942	0,523
ppt_anom_z	0,758	0,421
pdsi_anom_z	0,689	0,383
tmean_anom_z	-0,504	-0,280

Fonte: Elaboração própria (2026).

Os resultados indicam que as variáveis relacionadas ao balanço hídrico apresentam as maiores cargas canônicas em termos absolutos, especialmente o déficit hídrico (*def_anom_z*) com o valor de -0,983, e a umidade do solo (*soil_anom_z*) com 0,942, seguidos pela precipitação (*ppt_anom_z*) com 0,758 e pelo PDSI (*pdsi_anom_z*) com 0,689. Por outro lado, a variável de temperatura média (*tmean_anom_z*) apresentou carga canônica relativamente menor, de -0,504, sugerindo participação mais limitada, embora não desprezível, na estrutura dominante de associação entre clima e indicadores econômicos municipais. Em conjunto, esses resultados indicam que a principal dimensão climática associada ao desempenho econômico municipal está relacionada predominantemente às condições hidrológicas e à disponibilidade hídrica.

Os valores das cargas canônicas cruzadas, nos permite avaliar o grau de associação direta entre cada variável climática e o bloco de indicadores econômicos, ratificando a maior intensidade nas associações entre variáveis de balanço hídrico, notadamente o déficit hídrico (*def_anom_z*) e a umidade do solo (*soil_anom_z*). Tal resultado é condizente com a literatura sobre impactos econômicos decorrentes de eventos climáticos, especialmente em regiões tropicais, onde a dinâmica hidrológica exerce papel central na atividade econômica local.

Na Tabela 4 analisam-se as cargas canônicas associadas ao bloco de variáveis econômicas, as quais indicam o grau de contribuição de cada indicador municipal para a formação da primeira função canônica do conjunto econômico. De modo complementar, as cargas canônicas cruzadas permitem avaliar a intensidade da associação direta entre cada variável econômica e o bloco climático, possibilitando identificar quais dimensões da estrutura econômica municipal estão mais fortemente relacionadas às condições climáticas analisadas.

Tabela 4– Cargas canônicas das variáveis econômicas na primeira função canônica

Variável climática	Carga canônica	Carga canônica cruzada
pib_pc_real	-0,263	-0,146
rc_pc_real	-0,639	-0,355
dc_pc_real	-0,693	-0,385
fpm_pc_real	-0,936	-0,520

Fonte: Elaboração própria (2026).

Em termos absolutos, a variável com maior peso é o Fundo de Participação dos Municípios líquido real per capita (fpm_pc_real), com carga canônica de -0,936, seguida pela despesa corrente per capita (dc_pc_real) com -0,693, pela receita corrente líquida per capita (rc_pc_real) -0,639 e, por último, pelo PIB per capita real (pib_pc_real) com -0,263.

Os valores das cargas canônicas cruzadas reforçam esse mesmo ordenamento, indicando que a associação entre o bloco climático e o bloco econômico ocorre com maior intensidade por meio das variáveis relacionadas à estrutura fiscal municipal, especialmente o FPM líquido real per capita e a despesa corrente per capita. Em contraste, o PIB per capita real apresenta a menor magnitude relativa, sugerindo participação mais limitada na associação direta entre as condições climáticas e o desempenho econômico municipal.

O padrão observado sugere que a primeira dimensão econômica capturada pela ACC está sendo explicada mais fortemente por variáveis de finanças públicas municipais, especialmente pelas transferências do FPM, seguida dos indicadores de gasto e receita corrente, do que pelo nível de atividade econômica local medido pelo PIB per capita. Em outras palavras, a principal dimensão do bloco econômico parece refletir predominantemente uma lógica de capacidade fiscal e dependência de transferências públicas, mais do que propriamente de dinamismo produtivo municipal.

A seguir a Tabela 5 apresenta os índices de redundância associados às funções canônicas estimadas, permitindo avaliar a capacidade explicativa entre os conjuntos.

Tabela 5 – Índices de redundância das funções canônicas

Função canônica	Variância extraída no bloco climático (X)	Variância extraída no bloco econômico (Y)	Redundância $X \rightarrow Y$	Redundância $Y \rightarrow X$
F1	0,632	0,458	0,195	0,142
F2	0,153	0,301	0,006	0,012
F3	0,078	0,130	0,001	0,002

Fonte: Elaboração própria (2026).

A primeira função segue observando resultados mais relevantes para análise, com os maiores níveis de variância extraída em ambos os blocos analisados, explicando aproximadamente 63,2% da variância das variáveis climáticas e 45,8% da variância das variáveis econômicas, enquanto as funções subsequentes apresentam valores consideravelmente menores. Em termos de redundância, a primeira função canônica também apresenta os maiores valores entre os conjuntos analisados, indicando que aproximadamente 19,5% da variância do conjunto econômico pode ser explicada pelas combinações lineares das variáveis climáticas, enquanto cerca de 14,2% da variância do conjunto climático pode ser explicada pelas variáveis econômicas.

Deste modo, os resultados da ACC indicam que a associação multivariada entre as variáveis climáticas e os indicadores econômicos municipais é capturada predominantemente pela primeira função canônica, a qual apresenta os maiores níveis de variância extraída e redundância entre os conjuntos analisados. A interpretação das cargas canônicas e das cargas canônicas cruzadas evidenciam que essa relação é influenciada principalmente por variáveis associadas ao balanço hídrico, particularmente o déficit hídrico (*def_anom_z*), a umidade do solo (*soil_anom_z*) e a precipitação (*ppt_anom_z*), enquanto variáveis como temperatura média e o índice de seca apresentam contribuição relativamente menor na estrutura dominante de correlação identificada.

No bloco econômico, observa-se que a dimensão captada pela primeira função canônica está mais fortemente associada às variáveis de finanças públicas municipais, com destaque para as transferências do Fundo de Participação dos Municípios (FPM), seguidas pelas despesas e receitas correntes per capita, enquanto o PIB per capita apresenta contribuição relativamente menor nessa estrutura.

Esses resultados sugerem que a dimensão climática mais relevante para a dinâmica econômica municipal está relacionada às condições de disponibilidade hídrica e variabilidade hidrológica, ao passo que a dimensão econômica associada a essa relação reflete predominantemente aspectos da capacidade fiscal e da dependência de transferências intergovernamentais. Nesse contexto, a ACC mostrou-se uma ferramenta útil para hierarquizar a força de associação entre os conjuntos de variáveis analisados, permitindo identificar aquelas com maior contribuição na estrutura de correlação multivariada e subsidiando, assim, a definição das variáveis climáticas candidatas à especificação dos modelos econométricos subsequentes.

Com base nesses achados, a sessão seguinte apresenta a análise descritiva das variáveis selecionadas para as etapas econométricas subsequentes.

3.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

Após a caracterização metodológica da base de dados, a realização dos procedimentos de tratamento das informações, e a apresentação dos resultados da Análise de Correlação Canônica, utilizada para investigar e hierarquizar a intensidade das associações entre os conjuntos de variáveis climáticas e econômicas, esta seção dedica-se à análise exploratória do painel municipal construído para o período de 2014 a 2024. Busca-se examinar o comportamento estatístico das variáveis selecionadas por meio de medidas de tendência central, dispersão, assimetria, valores extremos, evolução temporal e associações preliminares entre os indicadores.

Essa etapa permite complementar os achados multivariados anteriormente apresentados, ao evidenciar padrões de heterogeneidade entre os municípios amazonenses, identificar possíveis concentrações e choques relevantes no período analisado, bem como avaliar a consistência estatística da base após os procedimentos de consolidação realizados. Embora não possua caráter inferencial ou causal, a análise exploratória fornece subsídios adicionais para a interpretação substantiva dos resultados e para a adequada especificação dos modelos econométricos estimados nas seções subsequentes.

A Tabela 6 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na análise, incluindo medidas de tendência central, dispersão e amplitude.

Tabela 6 – Estatísticas descritivas das variáveis do painel (2014 – 2024)

Variáveis	Observações	Média	Mediana	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
pib_pc_real	682	16.018,08	13.092,48	9.279,33	6.992,05	86.813,97
rc_pc_real	682	4.619,69	3.940,43	3.110,49	1.475,77	49.003,71
dc_pc_real	682	3.724,46	3.188,12	2.530,53	577,33	39.401,48
fpm_pc_real	682	1.696,35	1.240,52	1.543,60	358,08	23.359,65
ppt_anom_z	682	0,24	0,33	0,99	-2,71	2,78
tmean_anom_z	682	2,93	2,75	1,16	0,53	7,50
def_anom_z	682	1,08	0,50	1,69	-0,88	10,19
soil_anom_z	682	-0,88	-0,67	1,12	-4,77	0,95
pdsi_anom_z	682	-0,09	0,02	0,97	-2,98	2,32

Fonte: Elaboração própria (2026).

A análise das estatísticas descritivas evidencia, em primeiro lugar, a elevada heterogeneidade econômica entre os municípios do Estado do Amazonas. O PIB per capita real apresentou média de R\$ 16.018,08 e mediana de R\$ 13.092,48, diferença que sugere assimetria positiva da distribuição, isto é, a existência de municípios com níveis de renda substancialmente superiores à maior parte da amostra. A amplitude observada entre o valor mínimo de R\$ 6.992,05 e o máximo de R\$ 86.813,97 reforça a forte concentração econômica estadual em poucos entes locais. Padrão semelhante é observado nas variáveis fiscais. A receita corrente per capita real registrou média de R\$ 4.619,69, enquanto a despesa corrente per capita atingiu média de R\$ 3.724,46, ambas com desvios-padrão elevados (R\$ 3.110,49 e R\$ 2.530,53, respectivamente), indicando expressiva disparidade na capacidade fiscal municipal. As transferências do Fundo de Participação dos Municípios (FPM) apresentaram média de R\$ 1.696,35 per capita, alcançando R\$ 23.359,65 em seu valor máximo, o que reforça a centralidade das transferências intergovernamentais no financiamento local, especialmente em municípios de menor dinamismo econômico.

No que se refere às variáveis climáticas, destaca-se que os indicadores foram construídos em forma de anomalias padronizadas (z-score), de modo que valores positivos representam condições acima da média histórica local e valores negativos indicam condições abaixo do padrão climatológico de referência, e as médias próximas a zero, confirmam a consistência do processo de construção das séries. A temperatura média (tmean_anom_z) apresentou média positiva de 2,93, sugerindo predominância de anos relativamente mais quentes no período analisado. A precipitação (ppt_anom_z) registrou média de 0,24, próxima da neutralidade, embora com amplitude entre -2,71 e 2,78, indicando alternância entre anos secos e chuvosos. O déficit hídrico (def_anom_z) apresentou média de 1,08 e máximo de 10,19, sinalizando episódios severos de restrição hídrica em parte da amostra.

Já a umidade do solo (*soil_anom_z*) apresentou média negativa de -0,88, sugerindo condições relativamente mais secas ao longo do período, enquanto o índice PDSI (*pdsi_anom_z*) registrou média próxima de zero (-0,09), porém com variação entre -2,98 e 2,32, revelando alternância entre eventos de estiagem e condições mais úmidas. Em conjunto, esses resultados indicam que o período analisado foi marcado por significativa variabilidade climática, compatível com a intensificação recente de eventos extremos observados na Amazônia.

Complementarmente às estatísticas descritivas, investigou-se a presença de valores extremos (*outliers*) nas variáveis do painel, com o objetivo de avaliar assimetrias distributivas, heterogeneidade entre municípios e potenciais observações influentes nas estimações subsequentes. Para sua identificação, adotou-se o critério do intervalo interquartil (IQR), que classifica como outliers observações situadas além de 1,5 vezes a amplitude interquartil abaixo do primeiro quartil ou acima do terceiro quartil. De forma complementar, utilizaram-se diagramas de caixa (*boxplots*) para inspeção visual das distribuições. A Tabela 7 apresenta a síntese dos outliers identificados nas principais variáveis analisadas.

Tabela 7 – Proporção de outliers por variável

Variável	Nº outliers	Proporção
<i>def_anom_z</i>	78	11,44%
<i>pdsi_anom_z</i>	58	8,50%
<i>pib_pc_real</i>	50	7,33%
<i>rc_pc_real</i>	44	6,45%
<i>dc_pc_real</i>	44	6,45%
<i>fpm_pc_real</i>	35	5,13%
<i>soil_anom_z</i>	25	3,67%
<i>ppt_anom_z</i>	4	0,59%
<i>tmean_anom_z</i>	3	0,44%

Fonte: Elaboração própria (2026).

Os resultados encontrados demonstram que a incidência de valores extremos concentra-se sobretudo nas variáveis climáticas associadas à disponibilidade hídrica. O déficit hídrico padronizado apresentou a maior proporção de outliers (11,44%), seguido pelo índice PDSI (8,50%), sugerindo recorrência de episódios severos de seca ou estresse hídrico acima do comportamento histórico esperado. Em regiões amazônicas, tais eventos podem comprometer

a navegabilidade fluvial, o abastecimento local, a produtividade agrícola e a logística regional, afetando indiretamente o desempenho econômico municipal.

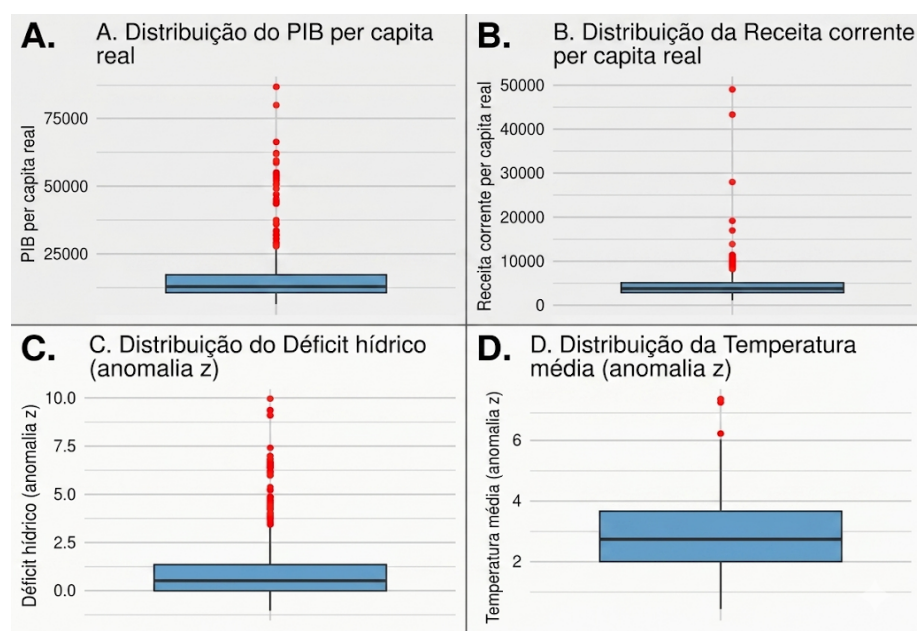
Entre as variáveis econômicas, o PIB per capita real registrou 7,33% de observações extremas, enquanto receita e despesa corrente per capita apresentaram 6,45% cada. Essas observações refletem a heterogeneidade estrutural entre os municípios amazonenses, coexistindo localidades com baixa densidade econômica e municípios com forte concentração produtiva, maior arrecadação ou gasto público significativamente superior à média estadual. Tal padrão é compatível com economias regionais marcadas por especialização setorial, concentração espacial de atividades e forte dependência de transferências intergovernamentais.

Por sua vez, a variável FPM per capita real também apresentou quantidade relevante de valores extremos (5,13%), indicando que, embora o critério de repartição federal atenuie desigualdades fiscais, ainda persistem diferenças expressivas entre municípios de pequeno porte e localidades com estruturas populacionais e institucionais distintas.

Em contraste, precipitação e temperatura média exibiram baixa incidência de outliers, especialmente esta última (0,44%), o que sugere maior regularidade distributiva dessas variáveis no período analisado.

A Figura 1 a seguir exhibe os gráficos *boxplots* para as variáveis *pib_pc_real*, *rc_pc_real*, *def_anom_z* e *tmean_anom_z*, em amostra que envolve as dimensões de atividade econômica, finanças públicas, eventos hidrológicos e aquecimento climático.

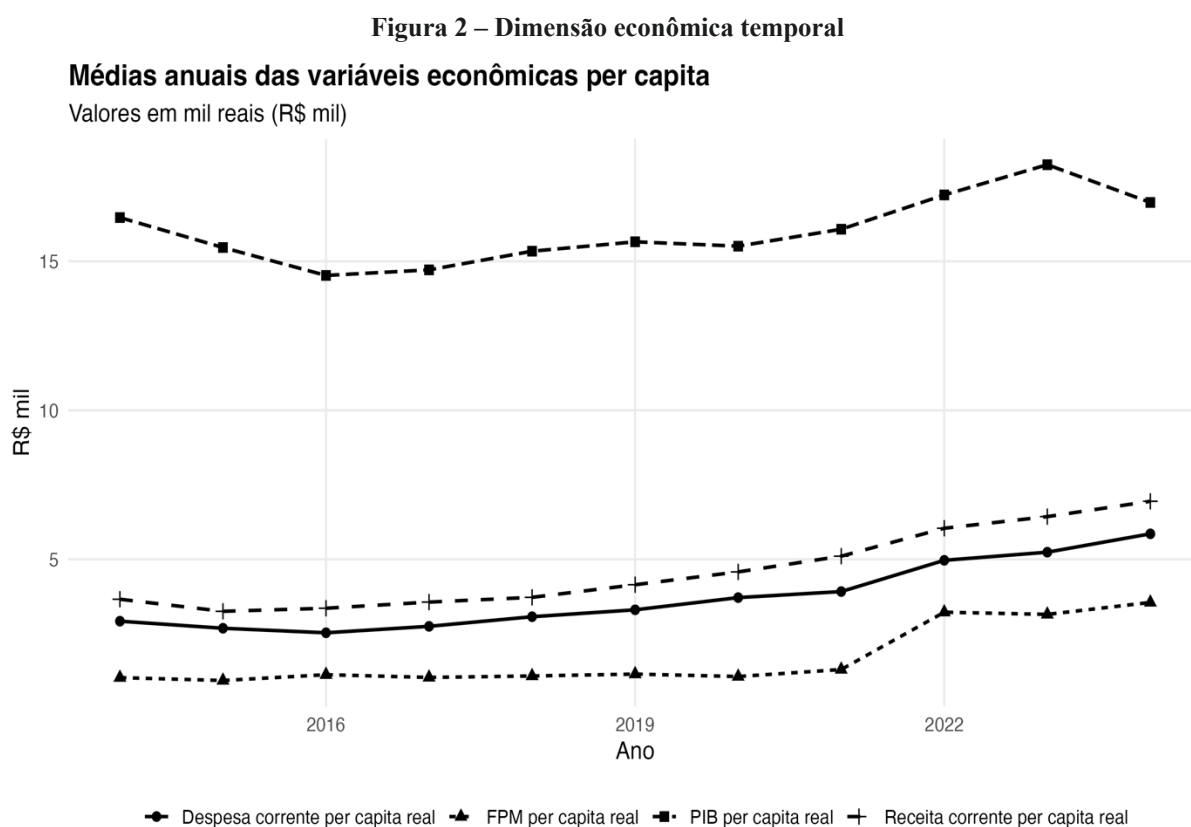
Figura 1 – Boxplots selecionados



Fonte: Elaboração própria (2026).

A inspeção visual dos *boxplots* confirma a presença de assimetrias positivas nas variáveis econômicas, especialmente no PIB per capita e na receita corrente per capita, cujas distribuições apresentam caudas superiores alongadas. Isso indica que parte reduzida dos municípios concentra níveis substancialmente superiores de renda e capacidade fiscal. No caso do déficit hídrico, observa-se elevada concentração de extremos positivos, reforçando a ocorrência de choques climáticos severos no período recente. Já a temperatura média apresenta dispersão menor e poucos pontos extremos, sugerindo trajetória mais homogênea entre municípios.

No que diz respeito à dimensão temporal do painel, as Figuras 2 e 3 a seguir exibem as médias anuais das variáveis econômicas e climáticas, permitindo identificar movimentos conjunturais e mudanças estruturais observadas no período de 2014 a 2024.



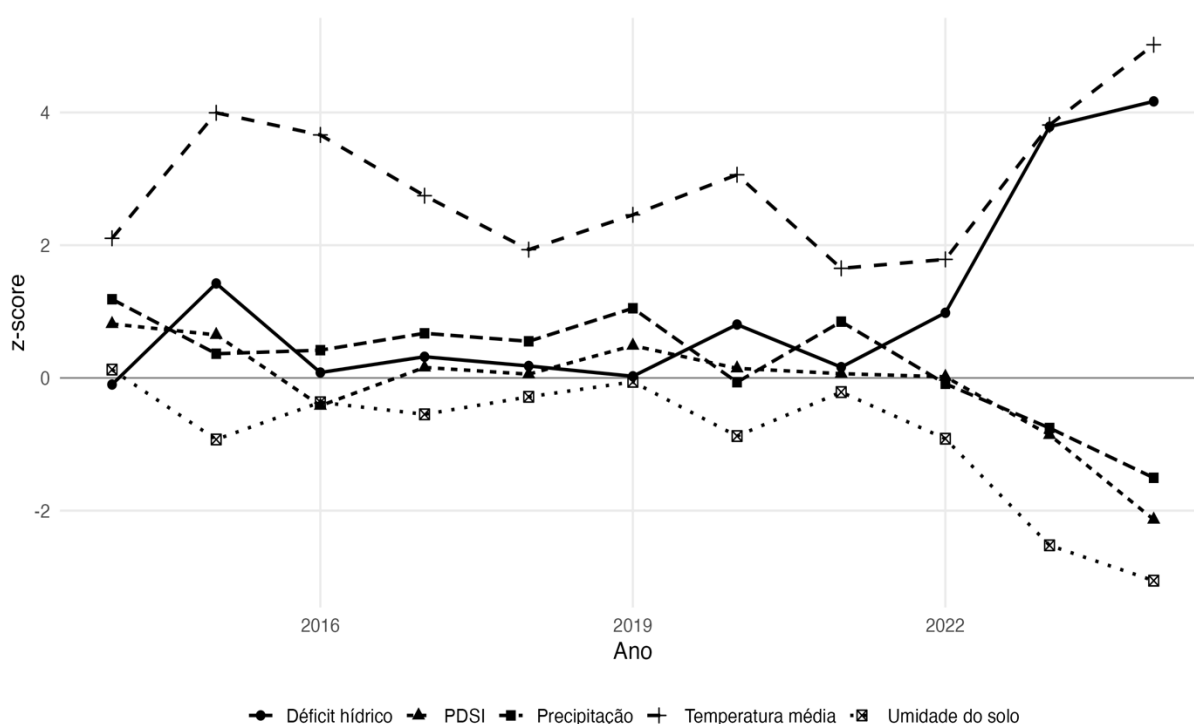
Fonte: Elaboração própria (2026).

A trajetória média das variáveis econômicas revela comportamento compatível com os ciclos macroeconômicos nacionais e com as especificidades fiscais municipais. O PIB per capita municipal recuou entre 2014 e 2017, passando de R\$ 16,47 mil para R\$ 14,71 mil, refletindo os efeitos da recessão econômica nacional e da desaceleração regional. A partir de 2018 observa-se recuperação gradual, com avanço até R\$ 18,24 mil em 2023, antes de recuar

para R\$ 16,98 mil em 2024, valor que deve ser interpretado com cautela por se tratar de estimativa projetada por meio de suavização exponencial simples.

As finanças públicas municipais exibem expansão mais intensa no pós-pandemia. A receita corrente per capita elevou-se de R\$ 4,58 mil em 2020 para R\$ 6,95 mil em 2024, enquanto a despesa corrente passou de R\$ 3,72 mil para R\$ 5,86 mil no mesmo intervalo. O FPM per capita apresentou crescimento expressivo a partir de 2021, alcançando R\$ 3,55 mil em 2024. Tal movimento sugere reforço do papel das transferências intergovernamentais no financiamento local, característica recorrente em municípios de menor base tributária própria.

Figura 3 – Médias anuais das variáveis climáticas padronizadas (z-score)



Fonte: Elaboração própria (2026).

As médias anuais das variáveis climáticas indicam aumento recente da intensidade dos choques ambientais. A temperatura média padronizada apresentou trajetória ascendente, atingindo 5,02 desvios-padrão em 2024, o maior valor da série. Simultaneamente, o déficit hídrico aumentou fortemente em 2023 e 2024, alcançando 3,79 e 4,17 desvios-padrão, respectivamente.

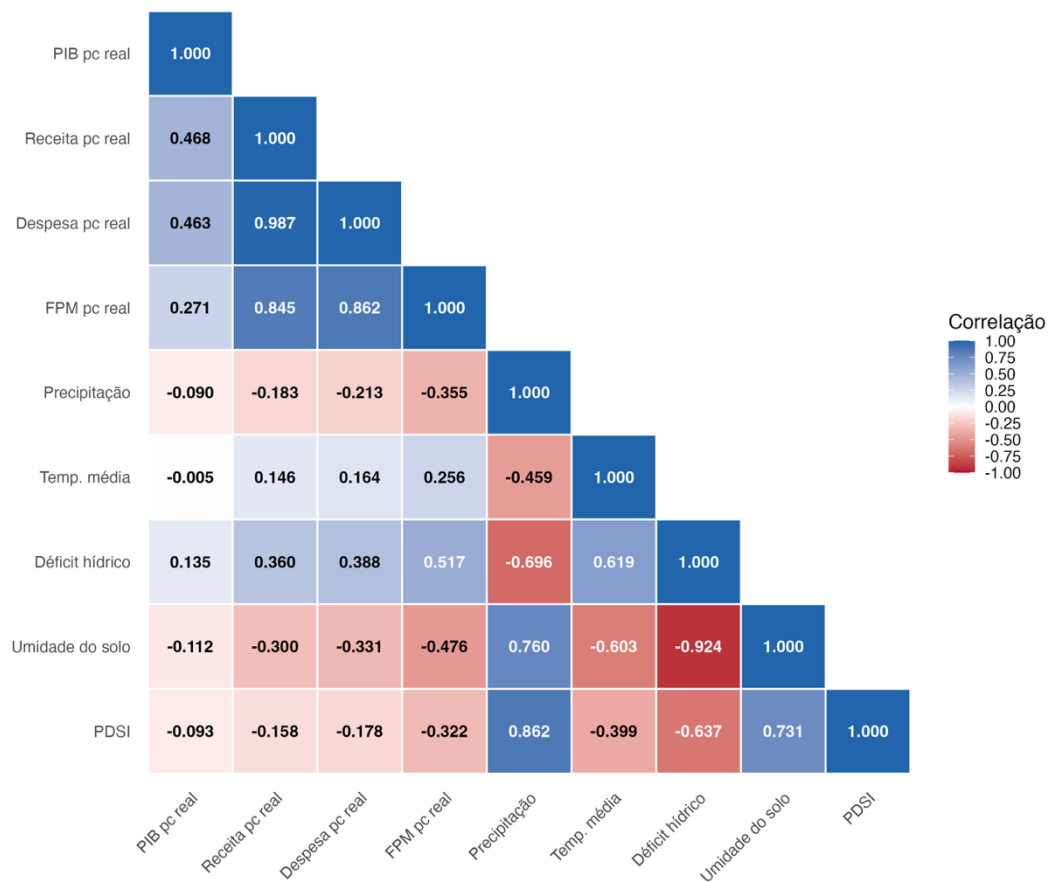
No mesmo período, a precipitação apresentou valores negativos em 2023 (-0,76) e 2024 (-1,51), enquanto a umidade do solo recuou para -2,52 e -3,06 desvios-padrão. O PDSI também se deteriorou, atingindo -2,13 em 2024. Em conjunto, os indicadores sugerem

convergência de condições compatíveis com eventos severos de seca regional, coerentes com episódios climáticos recentes registrados na Amazônia.

Concluída a análise descritiva e a dinâmica temporal das séries, procede-se ao exame preliminar das associações lineares entre indicadores econômicos municipais e variáveis climáticas padronizadas. Essa etapa tem por finalidade identificar padrões iniciais de associação entre os dois grupos de variáveis, sem pretensão causal, oferecendo subsídios para a especificação dos modelos econométricos em painel desenvolvidos na seção seguinte.

A Figura 4 apresenta a matriz de correlação entre variáveis econômicas e climáticas para o período analisado.

Figura 4 – Matriz de correlação entre variáveis econômicas e climáticas (2014 – 2024)



Fonte: Elaboração própria (2026).

A matriz de correlação evidencia, inicialmente, elevada associação positiva entre os próprios indicadores fiscais municipais. A receita corrente per capita apresentou correlação de 0,987 com a despesa corrente per capita, enquanto o FPM per capita registrou correlação de 0,845 com a receita corrente e de 0,862 com a despesa corrente. Tais resultados são esperados, uma vez que a capacidade de gasto municipal depende, em larga medida, do volume de receitas

disponíveis e, no caso dos municípios amazonenses, das transferências intergovernamentais oriundas do Fundo de Participação dos Municípios. O PIB per capita, por sua vez, apresentou correlação mais moderada com receita (0,468), despesa (0,463) e FPM (0,271), sugerindo comportamento relativamente mais autônomo em relação ao fluxo fiscal corrente.

No que se refere às variáveis climáticas, observam-se relações coerentes entre indicadores que captam dimensões semelhantes do regime hidrológico regional. A precipitação apresentou correlação positiva elevada com a umidade do solo (0,760) e com o índice PDSI (0,862), ao passo que exibiu correlação negativa com o déficit hídrico (-0,696). De forma semelhante, a umidade do solo mostrou forte correlação negativa com o déficit hídrico (-0,924), confirmando que tais medidas representam dimensões opostas das condições de disponibilidade de água. Esses resultados reforçam a consistência interna das proxies climáticas utilizadas.

Quando examinadas as relações entre clima e variáveis econômicas, destaca-se que os maiores coeficientes concentram-se nos indicadores fiscais, especialmente no FPM per capita real. Essa variável apresentou correlação positiva com o déficit hídrico (0,517) e com a temperatura média padronizada (0,256), além de correlação negativa com a umidade do solo (-0,476), com a precipitação (-0,355) e com o PDSI (-0,322). Em termos interpretativos, esse padrão sugere que municípios relativamente mais expostos a condições climáticas adversas ou estruturalmente mais vulneráveis podem apresentar maior dependência de transferências constitucionais, hipótese compatível com bases produtivas menos diversificadas e menor capacidade arrecadatória própria.

Receita corrente e despesa corrente também exibiram comportamento semelhante. Ambas apresentaram correlação positiva com o déficit hídrico (0,360 e 0,388, respectivamente) e negativa com precipitação e umidade do solo. Uma possível interpretação econômica é que choques ambientais adversos pressionem o setor público local por meio do aumento da demanda por serviços essenciais, manutenção de infraestrutura, ações emergenciais e assistência social, elevando a necessidade de gasto e, conseqüentemente, o fluxo de recursos orçamentários.

Em contraste, o PIB per capita real apresentou associações substancialmente menores com as variáveis climáticas. O maior coeficiente observado foi com o déficit hídrico (0,135), seguido por correlação negativa com a umidade do solo (-0,112) e com o PDSI (-0,093), ao passo que a relação com temperatura média foi praticamente nula (-0,005). Esse resultado sugere que o produto municipal agregado responde a um conjunto mais amplo de determinantes estruturais, como composição setorial, escala da administração pública, transferências

governamentais, atividade extrativa e dinâmica regional, tornando menos evidente sua sensibilidade linear contemporânea às oscilações climáticas.

Outra interpretação plausível é que parte relevante dos impactos climáticos sobre o produto se manifeste com defasagem temporal. Eventos de seca, excesso de chuvas ou anomalias térmicas podem afetar decisões de investimento, produtividade, transporte fluvial, abastecimento e arrecadação apenas nos períodos subsequentes. Dessa forma, correlações contemporâneas modestas não necessariamente indicam ausência de efeito econômico, mas podem refletir mecanismos de transmissão distribuídos ao longo do tempo.

De modo geral, os resultados indicam que a relação entre clima e desempenho econômico municipal é heterogênea, potencialmente não linear e distinta conforme o indicador analisado. Enquanto as finanças públicas locais parecem responder com maior intensidade às oscilações ambientais, o PIB per capita revela comportamento mais inercial e estrutural. Por essa razão, análises baseadas exclusivamente em correlações simples mostram-se insuficientes, justificando o emprego de modelos econométricos em painel capazes de controlar heterogeneidade não observada entre municípios, efeitos temporais comuns e, quando pertinente, estruturas dinâmicas com defasagens temporais das variáveis climáticas.

3.3 RESULTADOS ECONOMÉTRICOS

Esta seção apresenta os resultados das estimações econométricas realizadas com base na estrutura de dados em painel construída para o período de 2014 a 2024. As análises foram conduzidas separadamente para o Produto Interno Bruto real per capita, a Receita Corrente real per capita, a Despesa Corrente real per capita e o Fundo de Participação dos Municípios real per capita, buscando identificar possíveis associações entre anomalias climáticas e o desempenho econômico-fiscal dos municípios amazonenses.

As especificações reportadas foram selecionadas com base na significância estatística dos coeficientes centrais, coerência econômica dos sinais estimados, coeficiente de determinação ajustado, parcimônia econométrica e estabilidade dos resultados. Em razão da elevada correlação observada entre algumas proxies hidrológicas, as especificações foram estimadas com a inclusão individual dessas variáveis.

3.3.1 Resultados comparativos das especificações econométricas

A análise exploratória dos dados indicou elevada correlação entre algumas variáveis climáticas, especialmente entre as *proxies* hidrológicas, evidenciando potencial sobreposição informacional. Esse resultado orientou a definição de especificações econométricas mais parcimoniosas, baseadas na inclusão individual das *proxies* hidrológicas.

A Tabela 8 apresenta as especificações contemporâneas de melhor desempenho empírico selecionadas para cada variável dependente.

Tabela 8 – Especificações contemporâneas de melhor desempenho empírico

Variável dependente	Especificação selecionada	Estimador	Temp. média (anom. z)	Precipitação (anom. z)	Proxy hidrológica (anom. z)	R ² ajustado
PIB real per capita	Temp. + déficit hídrico (anom.z)	Efeitos aleatórios	-726,598	–	881,404**	0,050
Receita corrente real per capita	Temp. + déficit hídrico (anom.z)	Efeitos fixos	-601,845**	–	886,873***	0,197
Despesa corrente real per capita	Temp. + déficit hídrico (anom.z)	Efeitos fixos	-483,318**	–	764,797***	0,214
FPM real per capita	Temp. + precip. + déficit hídrico (anom.z)	Efeitos fixos	-361,790***	-356,098***	488,306***	0,331

Nota: Variáveis climáticas em anomalia padronizada (anom. z). Coeficientes associados a variação de 1 desvio-padrão. *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,10.

Fonte: Elaboração própria (2026).

De forma geral, os resultados indicaram que os efeitos climáticos não se distribuíram de maneira homogênea entre as variáveis dependentes. O PIB real per capita apresentou menor sensibilidade estatística às especificações testadas, enquanto receita corrente, despesa corrente e transferências do Fundo de Participação dos Municípios (FPM) responderam de forma mais consistente às mudanças na composição dos modelos.

Para o PIB real per capita, os testes de especificação favoreceram o uso do estimador de efeitos aleatórios. Nenhuma das especificações estimadas apresentou elevado poder explicativo para o PIB real per capita, indicando limitada aderência do produto agregado municipal às *proxies* climáticas consideradas.

Entre as alternativas estimadas, selecionou-se a especificação com temperatura média e déficit hídrico, que apresentou $R_{aj}^2 = 0,050$. O coeficiente da temperatura média foi negativo (-726,598), sugerindo associação adversa entre anos relativamente mais quentes e o produto municipal per capita, embora sem significância estatística aos níveis convencionais. Já o déficit hídrico apresentou coeficiente positivo e significativo (881,404), resultado que deve ser interpretado com cautela, podendo refletir mecanismos indiretos, simultaneidade ou limitações inerentes à *proxy* contemporânea utilizada.

Nas variáveis fiscais, por outro lado, predominou o estimador de efeitos fixos, indicando que características municipais permanentes e correlacionadas com o desempenho fiscal precisaram ser controladas. Para a receita corrente real per capita, a especificação selecionada combinou temperatura média e déficit hídrico, com $R_{aj}^2 = 0,197$. O coeficiente da temperatura foi de (-601,845), significativo a 5%, sugerindo redução arrecadatória em anos relativamente mais quentes. O déficit hídrico apresentou coeficiente positivo e estatisticamente significativo (886,873), indicando associação entre condições de estresse hídrico e aumento da receita municipal. Esse resultado, contudo, não deve ser interpretado como efeito causal direto, mas sim como evidência de que episódios de anomalias climáticas adversas podem estar associados à intensificação de fluxos fiscais compensatórios, transferências intergovernamentais ou ajustes institucionais que ampliam a disponibilidade de recursos no período analisado.

Resultado semelhante foi observado para a despesa corrente real per capita. O modelo preferencial também reuniu temperatura média e déficit hídrico, alcançando $R_{aj}^2 = 0,214$. A temperatura exibiu coeficiente negativo de (-483,318), significativo a 5%, enquanto o déficit hídrico registrou coeficiente positivo de (764,797), significativo a 1%. Esse padrão é consistente com a hipótese de que eventos climáticos adversos podem demandar maior esforço fiscal, refletido em despesas administrativas, operacionais e emergenciais.

O caso mais expressivo ocorreu no FPM real per capita. A equação com temperatura média, precipitação e déficit hídrico apresentou $R_{aj}^2 = 0,331$, o maior entre os modelos contemporâneos estimados. Os coeficientes estimados foram negativos para temperatura (-361,790) e precipitação (-356,098), ambos significativos a 1%, enquanto o déficit hídrico permaneceu positivo (488,306), também significativo a 1%. A interpretação desse resultado requer cautela, uma vez que o FPM é determinado por critérios institucionais de repartição de receitas e não responde diretamente às condições climáticas locais. Nesse sentido, o coeficiente positivo pode refletir mecanismos indiretos, tais como maior dependência fiscal dos municípios

em períodos de retração econômica local, ajustes na arrecadação nacional ou respostas compensatórias do setor público a eventos climáticos adversos.

Quando consideradas as diferentes especificações estimadas, observa-se que as *proxies* associadas ao déficit hídrico apresentaram desempenho superior às alternativas baseadas em umidade do solo e PDSI na maior parte das equações contemporâneas. Esse resultado não implica superioridade causal automática dessa medida, mas indica que ela concentrou informação relevante sobre desvios hidrológicos potencialmente associados ao desempenho econômico municipal no período analisado.

Os principais achados contemporâneos podem ser sintetizados no Quadro 4, que organiza a intensidade relativa da sensibilidade econômica observada entre os indicadores analisados.

Quadro 4 – Síntese interpretativa dos efeitos climáticos

Indicador econômico	Sensibilidade estimada	Evidência predominante
PIB real per capita	Baixa	Menor ajuste e coeficientes instáveis
Receita corrente real per capita	Alta	Perda arrecadatória e resposta fiscal
Despesa corrente real per capita	Alta	Pressão orçamentária e gastos adicionais
FPM real per capita	Muito alta	Forte dependência de transferências

Fonte: Elaboração própria (2026).

Os resultados apresentados evidenciam que os efeitos econômicos das variações climáticas nos municípios do Amazonas se manifestam com maior intensidade na esfera fiscal, em comparação ao produto agregado local. Esse padrão é compatível com economias municipais fortemente dependentes do setor público, da logística fluvial e de transferências intergovernamentais.

Na subseção seguinte, essa interpretação é aprofundada por meio dos modelos com defasagem temporal, os quais permitem verificar se tais impactos persistiram no período subsequente ao choque climático.

3.3.2 Robustez temporal: efeitos defasados dos choques climáticos

Além das especificações contemporâneas, foram estimados modelos com defasagem temporal de um período para as variáveis climáticas explicativas. O objetivo consistiu em

verificar se os efeitos econômicos associados a variações climáticas persistiram no exercício subsequente, hipótese relevante para o caso dos municípios amazonenses, nos quais desvios climáticos podem repercutir sobre arrecadação, execução orçamentária, logística fluvial e dinâmica econômica com algum atraso temporal.

A seleção das especificações defasadas reportadas na Tabela 9 (pág. 71) seguiu os mesmos critérios adotados na subseção anterior. Assim, a escolha dos modelos não se baseou exclusivamente no maior coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), incorporando também a significância estatística das variáveis centrais, a parcimônia das equações e a coerência econômica dos sinais estimados. Entre modelos com desempenho semelhante, privilegiaram-se especificações mais simples e inferencialmente mais consistentes.

A amostra dos modelos defasados foi reduzida para 620 observações, em razão da perda do primeiro ano de cada município após a construção das variáveis explicativas em $t - 1$.

Tabela 9 – Especificações defasadas (t-1) de melhor desempenho empírico

Variável dependente	Especificação selecionada	Estimador	Temp. média t-1 (anom. z)	Precipitação t-1 (anom. z)	Proxy hídrica t-1 (anom. z)	R ² ajustado
PIB real per capita	Temp. + Prec. + Umid. Solo	Efeitos aleatórios	-1.033,537***	-766,912***	-415,692*	0,032
Receita corrente real per capita	Temp. + Prec. + Umid. solo	Efeitos fixos	-870,173***	-601,540***	-779,525***	0,080
Despesa corrente real per capita	Temp. + Prec. + Umid. solo	Efeitos fixos	-717,101***	-451,117***	-733,766***	0,089
FPM real per capita	Temp. + Prec. + Déf. hídrico	Efeitos fixos	-673,357***	-384,095***	475,400***	0,188

Nota: Variáveis climáticas defasadas expressas como anomalias padronizadas (anom. z) em relação à normal climatológica municipal histórica. Os coeficientes representam o efeito associado a aumento de 1 desvio-padrão observado no período $t - 1$.

*** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,10$.

Fonte: Elaboração própria (2026).

Os resultados defasados preservaram o padrão geral identificado nas especificações contemporâneas: o PIB real per capita continuou apresentando menor capacidade explicativa, enquanto as variáveis fiscais mantiveram maior sensibilidade às variações climáticas. Contudo, a introdução da defasagem temporal reduziu o ajuste estatístico dos modelos em relação às melhores equações contemporâneas. Para o PIB real per capita, por exemplo, o maior coeficiente de determinação ajustado entre os modelos defasados foi de (0,032), inferior ao melhor resultado contemporâneo ($R_{aj}^2 = 0,050$). De modo semelhante, a receita corrente real per capita recuou de (0,197) para (0,080), a despesa corrente real per capita de (0,214) para (0,089), e o FPM real per capita de (0,331) para (0,188). Esses resultados sugerem que os efeitos econômicos associados às anomalias climáticas tendem a manifestar-se com maior intensidade no próprio ano de ocorrência do choque, embora parte de seus impactos permaneça observável no período subsequente.

No caso do PIB real per capita, a especificação selecionada incorporou temperatura média, precipitação e umidade do solo defasadas em um período. Os coeficientes negativos para temperatura (-1.033,537) e precipitação (-766,912), ambos estatisticamente significativos, indicam que condições climáticas adversas no período anterior podem repercutir negativamente sobre o produto agregado municipal. Ainda assim, o baixo poder explicativo da equação

recomenda cautela interpretativa, sugerindo que o PIB local permanece influenciado predominantemente por fatores não captados pelas proxies climáticas anuais adotadas.

Nas variáveis fiscais diretas, observou-se persistência relevante dos efeitos climáticos. Para a receita corrente real per capita, os coeficientes negativos de temperatura (-870,173), precipitação (-601,540) e umidade do solo (-779,525), todos significativos, indicam que choques climáticos no período anterior podem comprometer a capacidade arrecadatória no exercício subsequente. Na despesa corrente real per capita, o mesmo conjunto de variáveis apresentou coeficientes igualmente negativos (-717,101; -451,117; -733,766), sugerindo que restrições fiscais e desorganização administrativa associadas a eventos climáticos podem também repercutir sobre a execução orçamentária posterior.

No caso do FPM real per capita, manteve-se como especificação preferencial o modelo com temperatura média, precipitação e déficit hídrico em $t - 1$. Os coeficientes negativos para temperatura (-673,357) e precipitação (-384,095), combinados ao coeficiente positivo do déficit hídrico (457,404), todos estatisticamente significativos, indicam persistência parcial da sensibilidade das transferências intergovernamentais às condições climáticas pretéritas. Em relação ao coeficiente positivo do déficit hídrico, reiteramos a cautela interpretativa observada na análise contemporânea.

Os resultados são compatíveis com a hipótese de que choques ambientais relevantes podem influenciar os fluxos fiscais não apenas contemporaneamente, mas também por meio de ajustes administrativos, compensações institucionais ou respostas governamentais no exercício seguinte.

Também merece destaque a mudança parcial na *proxy* hidrológica de melhor desempenho entre os modelos contemporâneos e defasados. Enquanto o déficit hídrico predominou nas especificações contemporâneas, a umidade do solo passou a liderar o ajuste estatístico para PIB, receita corrente e despesa corrente nas equações com defasagem temporal. Esse comportamento sugere que o déficit hídrico captou com maior intensidade os efeitos imediatos do estresse hídrico, ao passo que a umidade do solo representou de forma mais adequada mecanismos de persistência ambiental ao longo do tempo.

Os principais achados dos modelos temporais estão sintetizados no Quadro 5 na próxima página, que resume a intensidade relativa da sensibilidade econômica observada nas especificações defasadas.

Quadro 5 – Síntese interpretativa dos efeitos defasados

Indicador econômico	Sensibilidade estimada	Evidência predominante
PIB real per capita	Baixa	Persistência limitada e baixo ajuste estatístico
Receita corrente real per capita	Moderada	Redução arrecadatória no exercício subsequente
Despesa corrente real per capita	Moderada	Repercussão posterior sobre gasto público
FPM real per capita	Alta	Persistência parcial via transferências intergovernamentais

Fonte: Elaboração própria (2026).

A comparação entre os resultados contemporâneos e as apurações defasadas indica que os impactos econômicos associados às variações climáticas nos municípios amazonenses tendem a ser mais intensos no próprio ano de ocorrência, embora parte desses efeitos permaneça no exercício subsequente, sobretudo na esfera fiscal. Tal evidência é coerente com economias locais fortemente dependentes do setor público, da logística fluvial e de transferências governamentais.

Na subseção seguinte, a robustez funcional desses achados é examinada por meio das especificações logarítmicas.

3.3.3 Resultados dos modelos logarítmicos (robustez funcional)

Como exercício adicional de robustez funcional, foram estimadas versões logarítmicas dos modelos econométricos, mantendo-se a estratégia de especificação adotada nas análises anteriores. Essa abordagem permite avaliar a sensibilidade dos resultados à forma funcional do modelo, bem como interpretar os coeficientes estimados em termos de variações percentuais aproximadas associadas às alterações das variáveis climáticas.

A Tabela 10 apresenta, para cada variável dependente, a especificação logarítmica com melhor desempenho empírico, considerando conjuntamente o coeficiente de determinação ajustado, a significância estatística dos coeficientes e a coerência econômica dos sinais.

Tabela 10 – Síntese dos modelos logarítmicos com proxy de déficit hídrico

Variável dependente	Especificação selecionada	Estimador	Temp. média (anom. z)	Precipitação (anom. z)	Proxy hídrica (anom. z)	R ² ajustado
ln(PIB real per capita)	Temp. + déficit hídrico	Efeitos aleatórios	-0,023*	—	0,034***	0,067
ln(Receita corrente real per capita)	Temp. + precip. + déficit hídrico	Efeitos fixos	-0,115***	-0,128***	0,098***	0,433
ln(Despesa corrente real per capita)	Temp. + precip. + déficit hídrico	Efeitos fixos	-0,122***	-0,145***	0,104***	0,456
ln(FPM real per capita)	Temp. + precip. + déficit hídrico	Efeitos fixos	-0,175***	-0,262***	0,174***	0,523

Nota: Variáveis climáticas expressas como anomalias padronizadas (anom. z). Coeficientes interpretados como semi-elasticidades aproximadas (variação percentual associada a um aumento de 1 desvio-padrão). *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,10.

Fonte: Elaboração própria (2026).

Os resultados dos modelos logarítmicos mantiveram, em termos gerais, o padrão observado nas especificações lineares, reforçando a robustez dos achados em relação à forma funcional adotada.

Para o PIB real per capita, o modelo selecionado apresentou baixo poder explicativo (R² ajustado de 0,067), corroborando os resultados anteriores. A temperatura média apresentou coeficiente negativo, ainda que sem significância estatística robusta, enquanto o déficit hídrico manteve coeficiente positivo e significativo. Em termos interpretativos, um aumento de um desvio-padrão no déficit hídrico está associado, aproximadamente, a uma variação positiva de 3,4% no PIB per capita.

Em relação a receita corrente real per capita, a especificação selecionada apresentou elevado poder explicativo (R² ajustado de 0,433). Os coeficientes indicam que aumentos de um desvio-padrão na temperatura média e na precipitação estão associados a variações percentuais negativas aproximadas de 11,5% e 12,8% na arrecadação municipal, respectivamente, enquanto o déficit hídrico está associado a um aumento de aproximadamente 9,8%.

Sobre a despesa corrente real per capita, observou-se padrão semelhante. O modelo selecionado apresentou R² ajustado de (0,456), com reduções estimadas de aproximadamente 12,2% associadas à temperatura e 14,5% à precipitação, enquanto o déficit hídrico apresentou aumento aproximado de 10,4%. Esse comportamento sugere que choques climáticos podem

estar associados ao aumento relativo de gastos públicos, refletindo pressões orçamentárias em contextos de estresse ambiental.

O resultado mais expressivo foi novamente observado para o FPM real per capita, cujo modelo apresentou o maior poder explicativo (R^2 ajustado de 0,523). Os coeficientes indicam reduções aproximadas de 17,5% associadas à temperatura e 26,2% à precipitação, enquanto o déficit hídrico apresentou aumento estimado de 17,4%.

Os principais achados dos modelos logarítmicos podem ser sintetizados no Quadro 6, que organiza a intensidade relativa da sensibilidade climática observada sob a forma funcional logarítmica, bem como a evidência predominante associada a cada indicador econômico. Essa síntese permite avaliar, de forma integrada, a robustez dos resultados em termos de magnitude percentual dos efeitos estimados.

Quadro 6 – Síntese interpretativa dos efeitos logarítmicos

Indicador econômico	Sensibilidade estimada	Evidência predominante
PIB real per capita	Baixa	Baixo ajuste e coeficientes pouco robustos
Receita corrente real per capita	Alta	Redução arrecadatória e resposta fiscal compensatória
Despesa corrente real per capita	Alta	Pressão orçamentária e aumento relativo de gastos
FPM real per capita	Muito Alta	Forte sensibilidade via transferências e mecanismos institucionais

Fonte: Elaboração própria (2026)

De forma integrada, os resultados sintetizados no Quadro 6 reforçam a consistência dos padrões identificados nas especificações anteriores, indicando que as associações entre variáveis climáticas e indicadores econômicos mostraram-se mais intensas na esfera fiscal do que sobre o produto agregado local, inclusive quando analisadas sob a forma funcional logarítmica. A estabilidade dos sinais e a recorrência da significância estatística sugerem que os canais fiscais e institucionais desempenham papel particularmente relevante na dinâmica econômica associada às variações climáticas observadas nos municípios do Amazonas.

Considerando os padrões identificados nas diferentes estruturas de modelagem, procede-se à incorporação de eventos climáticos extremos, buscando avaliar se choques severos introduzem efeitos adicionais em relação às variações climáticas contínuas.

3.3.4 Resultados para os modelos com *dummy* de eventos extremos

Com o objetivo de capturar os efeitos associados a eventos climáticos extremos recentes, foi incorporada às especificações econométricas uma variável *dummy* representando o período de seca severa observado entre 2023 e 2024. Tal estratégia permite isolar efeitos discretos e potencialmente não lineares, que podem não ser plenamente capturados pelas variações marginais das variáveis climáticas contínuas.

A partir dessa inclusão, procedeu-se à reestimação das especificações selecionadas, cujos resultados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Especificações com inclusão da *dummy* de seca extrema

Variável dependente	Especificação selecionada	Estimador	Temp. média (anom. z)	Precipitação (anom. z)	Proxy hídrica (anom. z)	<i>Dummy</i> seca extrema (2023–2024)	R ² ajustado
PIB real per capita	Temp. + déficit hídrico + <i>dummy</i>	Efeitos aleatórios	-752,972	–	807,229	449,998	0,049
Receita corrente real per capita	Temp. + déficit hídrico + <i>dummy</i>	Efeitos fixos	-693,002***	–	630,414***	1554,442***	0,221
Despesa corrente real per capita	Temp. + déficit hídrico + <i>dummy</i>	Efeitos fixos	-558,229***	–	554,043***	1277,418***	0,237
FPM real per capita	Temp. + precip. + déficit hídrico + <i>dummy</i>	Efeitos fixos	-412,795***	-259,572***	321,504*	1198,084***	0,368

Nota: Variáveis climáticas expressas como anomalias padronizadas (anom. z). Coeficientes interpretados como semi-elasticidades aproximadas (variação percentual associada a um aumento de 1 desvio-padrão). *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,10$.

Fonte: Elaboração própria (2026).

A consideração de eventos climáticos extremos não alterou substancialmente os sinais das variáveis climáticas contínuas, mas revelou efeitos adicionais relevantes associados ao choque climático severo observado no período recente. De forma geral, os resultados indicam que os eventos extremos exerceram impacto estatisticamente significativo sobretudo sobre as variáveis fiscais, enquanto o PIB real per capita manteve baixa sensibilidade estatística.

Para o PIB real per capita, o coeficiente associado à variável indicadora (449,998) não se mostrou estatisticamente significativo, mantendo o padrão observado nas especificações

anteriores, caracterizado por baixo poder explicativo dos modelos para o produto agregado municipal.

Nas variáveis fiscais, por outro lado, observou-se resposta robusta a esse componente adicional do modelo. Para a receita corrente real per capita, o coeficiente estimado foi positivo e estatisticamente significativo (1554,442), indicando que, em média, os municípios apresentaram um aumento de aproximadamente R\$ 1.554,44 por habitante na receita corrente real nos períodos classificados como de seca extrema, mantidas constantes as demais variáveis do modelo. Resultado semelhante foi observado para a despesa corrente real per capita, com coeficiente positivo e significativo (1277,418), sugerindo que os gastos públicos aumentaram, em média, cerca de R\$ 1.277,42 por habitante durante os episódios de seca extrema.

No caso do FPM real per capita, a variável indicadora apresentou coeficiente positivo e altamente significativo (1198,084), evidenciando que as transferências intergovernamentais aumentaram, em média, aproximadamente R\$ 1.198,08 por habitante nos anos classificados como extremos.

Os resultados sugerem que eventos climáticos extremos não se traduzem necessariamente em retração imediata do produto agregado municipal, mas produzem efeitos relevantes sobre a dinâmica fiscal dos municípios. Esse padrão sugere a ocorrência de respostas institucionais associadas a choques climáticos severos, caracterizados pela ampliação simultânea de gastos públicos e transferências intergovernamentais.

No contexto dos municípios amazonenses, esse comportamento pode estar associado à elevada dependência de transferências federais, à necessidade de resposta emergencial a eventos climáticos e à relevância da logística fluvial para o funcionamento da economia local.

Dessa forma, esse indicador capta um componente adicional dos choques climáticos, refletindo efeitos que não são plenamente explicados pelas variações contínuas das variáveis climáticas. O Quadro 7 apresenta uma sistematização da intensidade relativa dos efeitos estimados para cada indicador econômico, bem como a evidência predominante associada aos impactos de eventos climáticos extremos.

Quadro 7 – Síntese interpretativa dos efeitos de eventos extremos

Indicador econômico	Sensibilidade estimada	Evidência predominante
PIB real per capita	Baixa	Ausência de efeito estatístico robusto
Receita corrente real per capita	Alta	Aumento arrecadatório associado a resposta institucional
Despesa corrente real per capita	Alta	Expansão do gasto público em contexto de choque climático
FPM real per capita	Muito Alta	Intensificação das transferências intergovernamentais

Fonte: Elaboração própria (2026).

Os resultados evidenciam que a consideração de eventos climáticos extremos amplia a capacidade interpretativa dos modelos econométricos, ao permitir a identificação de efeitos não lineares associados a choques ambientais severos em determinado período.

De forma consistente com as evidências anteriores, observa-se que tais impactos se manifestam predominantemente na esfera fiscal, reforçando o papel dos mecanismos institucionais e das transferências intergovernamentais na resposta econômica dos municípios do Amazonas a eventos climáticos adversos.

A partir desses resultados, torna-se possível avançar para uma análise integrada das diferentes especificações estimadas, consolidando os padrões empíricos identificados ao longo das subseções anteriores. Nesse sentido, a subseção seguinte apresenta uma síntese comparativa dos resultados econométricos, permitindo uma avaliação conjunta da robustez e consistência dos achados.

3.3.5 Síntese comparativa dos resultados

A consolidação dos resultados das diferentes especificações estimadas, contemporâneas, defasadas, logarítmicas e com inclusão de eventos climáticos extremos, permite avançar da análise individual dos modelos para uma interpretação comparativa dos padrões empíricos identificados. Essa abordagem evidencia que a resposta econômica às variações climáticas não é uniforme entre os indicadores analisados, revelando diferenças estruturais entre o produto agregado e as variáveis fiscais.

Com esse objetivo, o Quadro 8 (pág. 79) apresenta uma síntese comparativa dos principais resultados observados, organizando a intensidade relativa da sensibilidade

econômica para cada indicador, bem como os padrões predominantes identificados ao longo das diferentes especificações.

Quadro 8 – Comparação dos padrões empíricos entre especificações econométricas

Dimensão analisada	Especificações contemporâneas (t)	Especificações defasadas (t-1)	Especificações logarítmicas	Eventos extremos (dummy)	Evidência geral
Capacidade explicativa	Maior ajuste relativo	Redução do ajuste	Maior R ² ajustado	Aumento do ajuste em variáveis fiscais	Melhor desempenho em t e log
PIB real per capita	Baixa aderência	Baixa persistência	Baixo ganho	Baixa aderência (sem significância)	Resultado não robusto
Receita corrente real per capita	Alta sensibilidade	Persistência parcial	Alta consistência	Alta sensibilidade	Forte canal fiscal
Despesa corrente real per capita	Alta sensibilidade	Persistência parcial	Alta consistência	Alta sensibilidade	Pressão orçamentária
FPM real per capita	Altíssima sensibilidade	Persistência relevante	Altíssima consistência	Altíssima sensibilidade	Canal institucional dominante
Proxy hídrica dominante	Déficit hídrico	Umidade do solo (parcial)	Déficit hídrico	Complementar ao déficit hídrico	Diferença entre efeito imediato e persistente
Consistência dos sinais	Elevada nas variáveis fiscais	Mantida parcialmente	Elevada	Mantida nas variáveis fiscais	Robustez estrutural
Interpretação geral	Efeitos contemporâneos predominantes	Redução de capacidade explicativa	Robustez funcional	Efeitos adicionais de choques extremos	Predominância do canal fiscal

Nota: *t* refere-se ao período contemporâneo; *t* – 1 indica defasagem temporal de um período; modelos logarítmicos referem-se às especificações com variável dependente em logaritmo natural.

Fonte: Elaboração própria (2026).

A leitura do quadro evidencia elevada consistência nos padrões empíricos identificados ao longo das diferentes especificações econométricas. De forma geral, observa-se que a capacidade explicativa dos modelos é mais elevada nas especificações contemporâneas e logarítmicas, enquanto os modelos defasados apresentam redução relativa de ajuste, indicando menor poder explicativo quando consideradas as variáveis climáticas em períodos anteriores. A inclusão de eventos extremos, por sua vez, contribui para o aumento do ajuste nas variáveis fiscais, sem alterar substancialmente os padrões gerais observados.

O comportamento do PIB real per capita manteve-se caracterizado por baixa aderência em todas as especificações, com reduzida capacidade explicativa, baixa persistência temporal e ganhos limitados nas versões logarítmicas. De forma consistente, esse resultado permanece mesmo com a consideração de choques extremos, reforçando a evidência de que o produto agregado municipal apresenta baixa sensibilidade às variáveis climáticas analisadas.

Para as variáveis fiscais, observa-se um padrão distinto e mais consistente. A receita corrente real per capita apresentou alta sensibilidade nas especificações contemporâneas, com persistência parcial nos modelos defasados e elevada consistência nas especificações logarítmicas. A consideração de choques extremos reforça esse comportamento, indicando a presença de efeitos adicionais associados a episódios climáticos severos e consolidando a evidência de um forte canal de resposta fiscal.

Padrão semelhante é observado para a despesa corrente real per capita, que apresenta alta sensibilidade contemporânea, persistência parcial ao longo do tempo e elevada consistência nas especificações logarítmicas. Esse comportamento se mantém diante da ocorrência de eventos extremos, sugerindo intensificação da pressão orçamentária nos municípios analisados.

O FPM real per capita se destaca como o indicador de maior sensibilidade entre todas as dimensões analisadas. Os resultados indicam altíssima sensibilidade nas especificações contemporâneas, persistência relevante nos modelos defasados e elevada consistência nas versões logarítmicas. Esse padrão é reforçado quando considerados episódios extremos, sugerindo que tais eventos estão associados à ampliação da resposta das transferências intergovernamentais e consolidam esse canal como o principal mecanismo de ajuste econômico.

No que se refere às proxies climáticas, observa-se que o déficit hídrico predomina como variável de maior desempenho nas especificações contemporâneas e logarítmicas, enquanto a umidade do solo se destaca nas especificações defasadas, sugerindo diferenciação entre efeitos imediatos e persistentes. Nesse contexto, os choques extremos apresentaram associações complementares, captando efeitos adicionais que não são plenamente explicados pelas variações contínuas das condições climáticas.

A análise da consistência dos sinais indica que os resultados se mantêm mais estáveis nas variáveis fiscais, enquanto o PIB apresenta maior instabilidade e menor robustez inferencial. De maneira consistente, as evidências apontam para a predominância de efeitos contemporâneos nas especificações lineares, persistência parcial nos modelos defasados e robustez funcional nas especificações logarítmicas, sendo esses padrões complementados pelos efeitos associados a episódios climáticos extremos.

Os resultados sugerem predominância do canal fiscal como principal dimensão associada aos efeitos climáticos observados nos municípios do Amazonas, com destaque para o papel das transferências intergovernamentais. A análise integrada das diferentes especificações econométricas reforça a robustez desse padrão, indicando que tanto variações marginais quanto eventos extremos contribuem para a dinâmica observada, ainda que com intensidades distintas.

Esses achados fornecem base empírica sólida para a análise dos mecanismos de transmissão dos choques climáticos, a qual é aprofundada na seção seguinte.

3.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A interpretação dos resultados econométricos requer a explicitação dos critérios de mensuração adotados para as variáveis climáticas e econômicas, uma vez que tais escolhas metodológicas condicionam diretamente o significado econômico dos coeficientes estimados. No presente estudo, as variáveis climáticas foram operacionalizadas como anomalias padronizadas em relação à normal climatológica municipal estimada para o período de 1958 a 1987. Dessa forma, os coeficientes associados a essas variáveis devem ser interpretados como a variação média dos indicadores econômicos decorrente de desvios climáticos expressos em unidades de desvio-padrão em relação a um regime climático histórico de referência, e não como variações em níveis absolutos de temperatura, precipitação ou condições hídricas.

Essa abordagem encontra respaldo na literatura empírica sobre economia das mudanças climáticas, que enfatiza que os impactos econômicos decorrem, sobretudo, de choques climáticos relativos, isto é, desvios em relação às condições às quais os agentes econômicos estão adaptados, e não de níveis médios do clima. Estudos como os de Dell, Jones e Olken (2012; 2014), bem como Burke, Hsiang e Miguel (2015), demonstram que perturbações no padrão climático historicamente observado afetam a produtividade, a renda e o desempenho econômico de diferentes regiões, especialmente em contextos de maior vulnerabilidade estrutural. De forma convergente, o IPCC (2023) destaca que a intensificação das mudanças climáticas pode se refletir em alterações na frequência, na intensidade e na distribuição de condições climáticas extremas em relação aos padrões históricos, reforçando a relevância analítica das anomalias climáticas para a investigação de repercussões econômicas.

No que se refere às variáveis econômicas, estas foram expressas em termos reais e per capita, o que implica que os coeficientes estimados refletem variações no poder de compra médio por habitante, descontados os efeitos inflacionários e ajustados pelas diferenças

populacionais entre os municípios. Essa padronização permite uma análise mais precisa das dinâmicas econômicas locais, evitando distorções decorrentes tanto da variação do nível geral de preços quanto das heterogeneidades demográficas, sendo prática consolidada em estudos empíricos que investigam impactos econômicos de choques exógenos (Callahan; Mankin, 2022; Dell; Jones; Olken, 2014).

Sob essa perspectiva, os resultados obtidos devem ser compreendidos como evidência dos efeitos econômicos associados a desvios climáticos em relação a um padrão histórico de referência, incidindo sobre indicadores econômicos ajustados em termos reais per capita. Tal enquadramento permite interpretar os coeficientes estimados como respostas econômicas a perturbações no regime climático historicamente observado, em um cenário de intensificação das mudanças climáticas, no qual tais desvios tendem a se tornar mais frequentes e pronunciados.

A análise conjunta das diferentes especificações econométricas revela um padrão relativamente consistente, no qual os efeitos das variáveis climáticas se manifestam de maneira diferenciada entre os indicadores econômicos analisados. De forma geral, os impactos estimados mostraram-se mais pronunciados nas variáveis fiscais, especialmente receita corrente real per capita, despesa corrente real per capita e FPM real per capita, enquanto os resultados associados ao PIB real per capita apresentaram menor magnitude e, em alguns casos, menor robustez estatística.

Esse comportamento aproxima-se das evidências apresentadas por Tavares (2021) e Chung (2020), que destacam a relevância das finanças públicas locais como dimensão sensível aos efeitos de eventos climáticos extremos. No caso dos municípios amazonenses, os resultados sugerem que os choques climáticos tendem a repercutir de forma mais imediata sobre a dinâmica fiscal do que sobre a atividade econômica agregada, ao menos no horizonte temporal analisado.

No que se refere às variáveis climáticas, verifica-se que as anomalias de temperatura média e precipitação apresentam, de forma predominante, coeficientes negativos, indicando que desvios positivos em relação ao padrão climático histórico estão associados à redução dos indicadores econômicos analisados. Esse resultado é coerente com evidências empíricas que apontam que choques climáticos adversos tendem a afetar negativamente o desempenho econômico, sobretudo em regiões mais vulneráveis (Callahan; Mankin, 2022; Dell; Jones; Olken, 2012).

Por outro lado, as especificações que incorporam o déficit hídrico como proxy climática apresentaram, em diversos casos, coeficientes positivos, resultado que demanda

interpretação cautelosa. Considerando que o déficit hídrico representa uma medida integrada de estresse climático associada à disponibilidade de água no sistema solo-atmosfera, seu comportamento pode refletir não apenas efeitos diretos sobre a atividade econômica, mas também respostas institucionais e fiscais desencadeadas por tais eventos.

Nesse contexto, a associação positiva observada entre déficit hídrico e variáveis fiscais sugere que parte da resposta econômica aos eventos de seca ocorre por meio da ampliação relativa da atuação do setor público, especialmente via transferências intergovernamentais e reorganização do gasto municipal. Tal dinâmica mostra-se particularmente plausível em municípios com elevada dependência de recursos externos e limitada capacidade arrecadatória própria, características recorrentes no interior do Amazonas, em particular do Fundo de Participação dos Municípios (FPM), conforme apontado por Mendonça, Ferreira e Costa (2019).

A configuração observada nas especificações econométricas sugere, ainda, que os efeitos econômicos associados aos choques climáticos operam por mecanismos distintos no contexto amazônico, envolvendo dimensões hidrológicas, fiscais e produtivas. Entre esses mecanismos, o canal hidrológico assume papel particularmente relevante, uma vez que a dinâmica econômica regional está fortemente condicionada ao regime dos rios, à dependência do transporte fluvial e às limitações de infraestrutura logística.

Diferentemente de outras regiões, em que os impactos climáticos são frequentemente analisados a partir de variáveis como temperatura e precipitação de forma isolada, na Amazônia alterações nas condições de disponibilidade hídrica podem afetar diretamente a navegabilidade, o abastecimento de insumos, a circulação de mercadorias e a mobilidade populacional. Sob essa perspectiva, *proxies* hidrológicas como o déficit hídrico mostram-se particularmente relevantes para a compreensão dos impactos econômicos regionais, interpretação compatível com estudos que destacam a centralidade do regime hidrológico na dinâmica socioeconômica amazônica (Marengo et al., 2018; Nobre et al., 2016).

O canal fiscal também se mostrou relevante para a compreensão dos padrões identificados. A forte participação das transferências intergovernamentais na composição das receitas municipais confere ao setor público papel central na mediação dos impactos climáticos. Em contextos de maior estresse ambiental, é plausível observar ampliação de gastos voltados à mitigação de impactos e manutenção de serviços essenciais, bem como alterações na composição das receitas públicas, com aumento relativo da participação de recursos externos.

No caso do PIB real per capita, os coeficientes estimados apresentaram comportamento mais difuso e menor robustez estatística. Esse resultado pode estar relacionado

a características estruturais da economia amazonense, como a elevada concentração da atividade econômica na capital, a heterogeneidade produtiva entre os municípios do interior e a própria dificuldade de captar, em especificações contemporâneas, impactos indiretos ou defasados sobre cadeias produtivas, logística e disponibilidade de insumos. Tal comportamento é consistente com a literatura que aponta que os efeitos econômicos das variações climáticas tendem a ser heterogêneos e condicionados pelas características institucionais e produtivas de cada território (Dell; Jones; Olken, 2014).

As diferentes estratégias de especificação econométrica mantiveram relativa estabilidade nos padrões identificados nos modelos centrais, reforçando a consistência analítica das associações estimadas. Nas especificações com defasagem temporal, observou-se que parte dos efeitos climáticos não se manifesta de forma exclusivamente contemporânea, apresentando persistência ao longo do tempo. Esse comportamento mostra-se plausível no contexto amazônico, em que alterações nas condições hidrológicas podem gerar impactos graduais sobre logística, abastecimento, mobilidade e execução orçamentária municipal.

As especificações em forma logarítmica, por sua vez, contribuíram para verificar a estabilidade funcional dos resultados. Embora tenham ocorrido alterações na magnitude dos coeficientes estimados, os sinais predominantes e os padrões gerais observados permaneceram relativamente consistentes com os modelos em nível, sugerindo que as associações identificadas não decorrem exclusivamente da escala das variáveis utilizadas.

De maneira complementar, os modelos com variáveis *dummy* para eventos extremos permitiram avaliar possíveis efeitos não lineares associados a anos de maior severidade climática. As estimativas indicaram que episódios classificados como extremos tendem a intensificar os impactos sobre determinados indicadores econômicos e fiscais, evidência compatível com a literatura recente que caracteriza as mudanças climáticas como fenômeno associado à ampliação da frequência e intensidade de eventos extremos, cujos efeitos econômicos tendem a se manifestar de forma desproporcional em regiões mais vulneráveis (IPCC, 2023).

A análise desenvolvida ao longo da pesquisa apresenta importantes pontos de convergência com a literatura nacional e internacional dedicada à investigação dos impactos econômicos das mudanças climáticas. De maneira geral, as evidências encontradas reforçam a compreensão de que choques climáticos estão associados a efeitos economicamente relevantes sobre territórios vulneráveis, afetando tanto a atividade econômica quanto a capacidade de resposta das finanças públicas locais. Nesse aspecto, os resultados dialogam com os achados de Dell, Jones e Olken (2012), que identificam efeitos adversos de choques climáticos sobre o

desempenho econômico, especialmente em contextos marcados por maior fragilidade estrutural e menor capacidade adaptativa.

Tal comportamento também converge com estudos que destacam a relevância da dimensão fiscal na transmissão dos impactos climáticos sobre economias locais. Trabalhos como os de Tavares (2021) e Chung (2020) argumentam que eventos climáticos extremos estão associados a pressões significativas sobre a capacidade financeira e administrativa dos governos subnacionais, aspecto particularmente relevante no contexto amazônico em razão da elevada dependência de recursos públicos e da limitada capacidade arrecadatória de parte dos municípios analisados.

A dinâmica identificada na pesquisa também pode ser interpretada à luz da literatura sobre justiça climática, que enfatiza a distribuição desigual dos impactos associados às mudanças climáticas entre diferentes territórios e populações. Conforme argumenta Page (2008), os efeitos econômicos e sociais dos eventos climáticos tendem a recair de maneira mais intensa sobre regiões marcadas por maior vulnerabilidade estrutural e menor capacidade adaptativa. No caso dos municípios analisados, características como dependência de transferências intergovernamentais, fragilidade fiscal e limitações logísticas sugerem que os impactos econômicos dos eventos climáticos extremos podem aprofundar desigualdades territoriais preexistentes. Essa interpretação aproxima-se também das discussões recentes sobre perdas e danos climáticos (*loss and damage*), nas quais organismos internacionais têm destacado que populações historicamente menos responsáveis pelas emissões globais frequentemente concentram parcela significativa dos impactos econômicos e sociais associados às mudanças climáticas (Carty; Walsh, 2022).

Ao mesmo tempo, os padrões identificados nesta pesquisa diferem de parte importante da literatura, que tende a enfatizar predominantemente os efeitos climáticos sobre indicadores agregados de produção e crescimento econômico. As evidências produzidas neste estudo sugerem que, entre os municípios analisados, os impactos climáticos assumem configuração fortemente mediada pela dinâmica hidrológica e fiscal regional.

Sob essa perspectiva, a associação positiva identificada para o déficit hídrico constitui um dos aspectos mais relevantes da análise. Embora, em uma leitura superficial, esse comportamento possa aparentar divergência em relação à hipótese de efeitos econômicos adversos decorrentes das mudanças climáticas, os coeficientes estimados sugerem que, em economias locais fortemente dependentes do setor público e de transferências externas, parte desses impactos pode se manifestar sob a forma de reconfiguração fiscal e ampliação relativa da circulação de recursos públicos.

Essa interpretação reforça a importância de considerar as especificidades territoriais na análise econômica das mudanças climáticas. No caso amazônico, a centralidade do regime hidrológico para o funcionamento da logística regional e da circulação econômica introduz elementos que não são plenamente captados por modelos construídos para outras realidades econômicas e espaciais. Dessa forma, as evidências apresentadas sugerem que *proxies* hidrológicas podem desempenhar papel particularmente relevante na compreensão dos impactos climáticos sobre economias amazônicas, sobretudo em municípios com maior isolamento geográfico e fragilidade institucional.

Tais evidências sugerem que modelos aplicados à análise econômica das mudanças climáticas em regiões amazônicas demandam maior sensibilidade às dimensões hidrológicas e institucionais locais, particularmente em municípios marcados por maior isolamento geográfico e fragilidade fiscal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo investigou as associações entre anomalias climáticas e indicadores econômicos dos municípios do estado do Amazonas no período de 2014 a 2024, a partir da construção de uma base de dados em painel composta por informações econômicas e climáticas em escala municipal. Inserida no campo da economia das mudanças climáticas, a pesquisa examinou como desvios nas condições térmicas e hidroclimáticas, em relação aos padrões históricos locais, se associaram a indicadores de atividade econômica e de finanças públicas municipais, em uma região marcada por elevada sensibilidade às oscilações climáticas e por significativas assimetrias econômicas e institucionais.

Os resultados obtidos ao longo das análises empíricas permitiram confirmar parcialmente a hipótese central da pesquisa, evidenciando associações economicamente relevantes entre variáveis climáticas e indicadores econômicos municipais, embora de forma distinta entre os diferentes indicadores analisados e entre as especificações econométricas empregadas. Em conjunto, os modelos estimados indicaram que as variáveis climáticas apresentaram maior capacidade explicativa sobre os indicadores fiscais municipais do que sobre o Produto Interno Bruto real per capita, sugerindo que os efeitos econômicos associados às alterações climáticas tendem a se manifestar de maneira particularmente sensível sobre a dinâmica das receitas, despesas e transferências públicas locais.

Verificou-se, contudo, que os efeitos estimados não apresentaram comportamento uniforme ou exclusivamente negativo em todas as especificações analisadas, reforçando a complexidade das relações entre variáveis climáticas e econômicas no contexto amazônico. Ainda assim, observou-se recorrência de associações estatisticamente relevantes entre os indicadores climáticos e a dinâmica econômica municipal, especialmente no âmbito fiscal e hidrológico. Esse resultado mostra-se coerente com a elevada dependência fiscal observada em grande parte dos municípios do interior do Amazonas, cujas estruturas econômicas apresentam limitada diversificação produtiva e forte participação das transferências intergovernamentais na composição das receitas públicas.

Entre as variáveis climáticas analisadas, as *proxies* hidrológicas apresentaram os resultados mais consistentes ao longo das diferentes especificações econométricas. Em especial, o déficit hídrico climático destacou-se como uma das variáveis com maior recorrência de significância estatística e melhor capacidade de ajuste dos modelos, reforçando a relevância dos mecanismos hidrológicos para a compreensão das associações entre condições climático-

hidrológicas e dinâmica econômica na Amazônia. Tal evidência sugere que, para além dos efeitos diretos da precipitação e da temperatura média, os impactos econômicos regionais tendem a ocorrer por meio de alterações mais amplas no regime hídrico, podendo influenciar condições de navegabilidade, abastecimento, mobilidade e funcionamento das atividades econômicas locais.

Os resultados também evidenciaram que os efeitos climáticos não se restringem exclusivamente ao período contemporâneo ao choque observado. As especificações com defasagem temporal indicaram persistência parcial dos impactos climáticos sobre determinados indicadores econômicos, sugerindo que eventos extremos podem produzir efeitos prolongados sobre a dinâmica fiscal e econômica municipal. Esse comportamento mostra-se plausível em um contexto regional no qual interrupções logísticas, dificuldades de abastecimento e limitações administrativas podem retardar os mecanismos de ajuste econômico e recuperação local após episódios severos de seca ou cheia.

As especificações com variáveis *dummy* para eventos extremos reforçaram ainda a existência de efeitos não lineares associados aos choques climáticos mais severos, especialmente nos anos recentes marcados pelas estiagens extremas observadas na região amazônica. Os resultados sugerem que episódios hidrológicos excepcionais tendem a produzir impactos econômicos distintos daqueles associados às oscilações climáticas regulares, indicando que a intensificação recente dos eventos extremos pode ampliar os riscos econômicos enfrentados pelos municípios amazonenses. Nesse sentido, os achados da pesquisa convergem com a literatura recente sobre emergência climática, ao evidenciar que a recorrência e a intensidade crescentes desses eventos possuem potencial para comprometer de forma persistente a estabilidade econômica e fiscal de regiões particularmente expostas às alterações climáticas.

Observou-se ainda que os impactos estimados não se distribuem de maneira uniforme entre os municípios e entre os próprios indicadores econômicos investigados. Enquanto algumas especificações apresentaram efeitos mais pronunciados sobre variáveis fiscais, outras indicaram respostas mais limitadas sobre o produto municipal, sugerindo que as associações estimadas entre condições climáticas e indicadores econômicos variam conforme as características produtivas, institucionais e territoriais de cada localidade. Esses resultados reforçam a importância de abordagens analíticas sensíveis às especificidades regionais, especialmente em um território marcado por profundas desigualdades estruturais e diferentes capacidades de adaptação.

Além dos resultados empíricos obtidos, a pesquisa também apresentou contribuições relevantes do ponto de vista metodológico e aplicado para o campo da economia das mudanças climáticas na Amazônia. Em primeiro lugar, destaca-se a construção e consolidação de uma base de dados municipal integrada, combinando indicadores econômicos e climáticos para os 62 municípios do estado do Amazonas ao longo do período de 2014 a 2024. A sistematização dessas informações exigiu procedimentos de extração, tratamento, padronização e integração de bases provenientes de diferentes fontes públicas, permitindo a formação de um painel longitudinal consistente e adequado à análise econométrica em escala municipal.

O processo de construção da base também incorporou a elaboração de indicadores climáticos em termos de anomalias padronizadas em relação a uma normal climatológica histórica municipal, permitindo analisar os desvios observados frente ao comportamento climático de longo prazo de cada localidade. Essa estratégia contribuiu para reduzir possíveis distorções associadas às diferenças estruturais do clima médio entre os municípios amazonenses, possibilitando maior comparabilidade das variáveis climáticas ao longo do painel analisado.

Como desdobramento técnico-operacional decorrente do próprio processo de construção da base de dados utilizada na dissertação, desenvolveu-se ainda o Produto Técnico-Tecnológico intitulado “Manual Técnico de Construção de Bases de Dados Aplicadas”. O manual sistematiza os procedimentos de obtenção, tratamento, integração e atualização de dados econômicos e climáticos em ambiente computacional R, buscando ampliar a replicabilidade metodológica da pesquisa e oferecer suporte a pesquisadores, estudantes e instituições interessados na construção de bases de dados aplicadas à análise econômica e climática em escala subnacional.

A pesquisa também contribui ao explorar variáveis climáticas ainda pouco utilizadas em estudos econômicos aplicados à realidade amazônica, especialmente *proxies* hidrológicas relacionadas ao déficit hídrico, à umidade do solo e ao índice de severidade de seca de Palmer (PDSI). A incorporação dessas variáveis possibilitou ampliar a compreensão dos mecanismos pelos quais as alterações climáticas afetam a dinâmica econômica regional, particularmente em uma região cuja organização territorial e econômica mantém forte relação com o comportamento do regime hidrológico. Nesse sentido, a dissertação avança ao demonstrar que a utilização exclusiva de medidas convencionais, como precipitação e temperatura, pode não capturar integralmente os canais de transmissão econômica associados às mudanças climáticas na Amazônia.

Outro aspecto relevante da dissertação refere-se à utilização combinada de análise de correlação canônica, modelos de dados em painel, especificações com defasagem temporal, transformações logarítmicas e variáveis *dummy* para eventos extremos, permitindo abordar o fenômeno climático sob diferentes perspectivas analíticas e ampliar a robustez dos resultados obtidos. Essa estratégia possibilitou avaliar não apenas efeitos contemporâneos, mas também persistências temporais e comportamentos não lineares associados aos eventos climáticos extremos recentes observados na região amazônica.

Sob a perspectiva das implicações econômicas e institucionais, os resultados obtidos sugerem que os impactos das mudanças climáticas sobre os municípios amazonenses extrapolam a dimensão ambiental e assumem relevância crescente para o planejamento econômico e fiscal regional. A maior sensibilidade observada nos indicadores fiscais municipais indica que eventos climáticos extremos podem comprometer a capacidade financeira e operacional das administrações locais, especialmente em municípios com reduzida capacidade de resposta e elevada dependência de recursos externos.

Os resultados também evidenciam a importância do monitoramento hidrológico para a gestão econômica da região amazônica. Alterações persistentes no regime hídrico tendem a produzir impactos sobre abastecimento, circulação de mercadorias, prestação de serviços públicos e funcionamento das atividades produtivas locais. Dessa forma, políticas voltadas ao fortalecimento da infraestrutura logística, ampliação da capacidade adaptativa municipal e desenvolvimento de sistemas de monitoramento e alerta climático podem desempenhar papel relevante na mitigação dos efeitos econômicos associados aos eventos extremos.

Ao mesmo tempo, os resultados reforçam a necessidade de formulação de políticas públicas territorialmente sensíveis, capazes de considerar diferenças estruturais relacionadas à composição econômica, capacidade institucional e exposição climática dos municípios da região. Nesse sentido, a incorporação da dimensão climática ao planejamento público municipal e regional tende a assumir importância crescente diante da intensificação dos eventos extremos observados nos últimos anos.

Embora os resultados obtidos forneçam evidências relevantes acerca das associações entre condições climático-hidrológicas e indicadores econômicos nos municípios do estado do Amazonas, no contexto mais amplo dos riscos associados às mudanças climáticas, algumas limitações inerentes à pesquisa devem ser consideradas. A utilização de dados anuais, embora adequada à disponibilidade e à padronização das informações econômicas municipais, reduz a capacidade de captar efeitos climáticos de curtíssimo prazo e oscilações intra-anuais potencialmente relevantes, sobretudo em uma região marcada por ciclos hidrológicos e

variações dos regimes fluviais que ocorrem em periodicidade inferior a um ano. Além disso, indicadores como o Produto Interno Bruto municipal apresentam limitações relacionadas à periodicidade de divulgação, à defasagem temporal e à menor sensibilidade para capturar dinâmicas econômicas locais mais imediatas. Outrossim, o período empírico analisado e a utilização de anomalias anuais não permitem identificar, de forma autônoma, tendências de mudança climática de longo prazo nem atribuir os desvios climáticos observados a causas específicas.

Também devem ser consideradas as limitações associadas à própria complexidade das relações entre clima e economia. Ainda que os modelos econométricos empregados permitam controlar heterogeneidades não observadas e explorar diferentes especificações de robustez, não se pode descartar integralmente a existência de relações endógenas, fatores omitidos ou mecanismos indiretos que influenciem simultaneamente as variáveis climáticas e econômicas analisadas. Do mesmo modo, as *proxies* hidrológicas utilizadas, embora relevantes para representar condições de seca, disponibilidade hídrica e estresse climático, constituem aproximações indiretas das dinâmicas regionais, especialmente diante da dificuldade de obtenção de informações fluviométricas históricas consistentes, em escala municipal e com cobertura homogênea para todo o estado do Amazonas.

Adicionalmente, reconhece-se como limitação metodológica o uso exclusivo da base Scopus na busca estruturada. Embora apresente ampla cobertura internacional, essa escolha pode ter restringido a identificação de estudos em outras bases, especialmente pesquisas nacionais, literatura cinzenta ou trabalhos com enfoque regional, de modo que abordagens metodológicas ou evidências complementares podem não ter sido plenamente contempladas.

As especificidades econômicas e institucionais dos municípios analisados também impõem limitações à interpretação homogênea dos efeitos estimados, uma vez que diferenças relacionadas à infraestrutura, estrutura produtiva, capacidade administrativa e inserção territorial podem influenciar de maneira distinta os impactos associados às alterações climáticas. Soma-se a isso a limitada disponibilidade de dados fiscais e econômicos mais desagregados, com periodicidade e cobertura histórica consistentes em nível municipal, restringindo análises mais detalhadas sobre determinados setores e dimensões específicas da atividade econômica local. Assim, os resultados obtidos devem ser interpretados à luz das particularidades que caracterizam os municípios amazonenses e das restrições inerentes à disponibilidade de dados em escala subnacional.

Essas limitações, contudo, não reduzem a relevância dos achados da pesquisa, mas evidenciam a complexidade inerente à investigação empírica dos impactos econômicos das

mudanças climáticas em contextos territoriais amplos e heterogêneos. Ao mesmo tempo, indicam possibilidades para o avanço de investigações futuras sobre a temática.

Nesse contexto, pesquisas posteriores poderão aprofundar a análise dos impactos climáticos sobre os municípios amazônicos mediante a utilização de dados em maior frequência temporal, como séries mensais ou trimestrais, permitindo captar de forma mais precisa efeitos de curto prazo associados a eventos extremos. Da mesma forma, abordagens espaciais e modelos econométricos com dependência espacial podem contribuir para investigar possíveis efeitos de transbordamento entre municípios e regiões hidrologicamente conectadas.

Também se mostram promissoras investigações voltadas aos efeitos setoriais das mudanças climáticas, especialmente sobre atividades mais sensíveis às oscilações hidrológicas e térmicas, como agricultura, pesca, extrativismo, logística e comércio regional. Em paralelo, estudos futuros podem incorporar indicadores mais detalhados de capacidade adaptativa municipal, buscando compreender de maneira mais aprofundada os fatores que condicionam diferentes níveis de resiliência econômica frente aos choques climáticos.

Além disso, a ampliação da disponibilidade de dados climáticos, hidrológicos e econômicos em escala subnacional tende a criar oportunidades para o desenvolvimento de modelos mais sofisticados de previsão, monitoramento e avaliação de riscos climáticos na Amazônia. Nesse cenário, a integração entre técnicas de ciência de dados, sensoriamento remoto e econometria aplicada poderá fortalecer a produção de evidências empíricas voltadas ao planejamento público e à formulação de estratégias de adaptação climática regional.

Diante da intensificação recente dos eventos climáticos extremos observados na Amazônia, compreender os mecanismos pelos quais as mudanças climáticas afetam a dinâmica econômica dos municípios torna-se tarefa cada vez mais relevante para o planejamento territorial e para a formulação de políticas públicas orientadas por evidências. Em um contexto regional particularmente sensível às alterações do regime climático, o fortalecimento da capacidade analítica e do monitoramento climático-econômico assume papel estratégico para a construção de respostas mais eficazes diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas nas próximas décadas.

REFERÊNCIAS

ABATZOGLOU, John T. *et al.* TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. **Scientific Data**, v. 5, n. 1, p. 170191, 9 jan. 2018.

AGOSTINI MARTINI, Ricardo; CAMPELLO GALLO, Maria Eduarda. Economic Impacts of Natural Disasters in Brazilian Municipalities and the Focus of the BNDES PER Program. **Revista Economia Ensaios**, v. 39, n. 1, 31 jul. 2024.

ARAUJO, Paulo Henrique Cirino *et al.* Uma análise do impacto das mudanças climáticas na produtividade agrícola da região Nordeste do Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 45, n. 3, p. 46–57, 9 maio 2016.

ARELLANO, Manuel; BOND, Stephen. 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, abr. 1991.

ARRHENIUS, Svante. On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. **Philosophical Magazine and Journal of Science**, 5. v. 51, p. 237–276, 1896.

ASSAD, Eduardo Delgado; ASSAD, Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes. Mudanças do clima e agropecuária: impactos, mitigação e adaptação. Desafios e oportunidades. **Estudos Avançados**, v. 38, n. 112, p. 271–292, 2024.

BACCIOTTI, Rafael; MARÇAL, Emerson Fernandes. Taxa de desemprego no Brasil em quatro décadas: retopolação da PNAD contínua de 1976 a 2016. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 50, n. 3, p. 513–534, set. 2020.

BALTAGI, Badi H. **Econometric analysis of panel data**. Third edition ed. Chichester, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.

BANCO MUNDIAL. **Roteiro para ações climáticas na América Latina e no Caribe: 2021–2025**. , 2022. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/38001/Portuguese.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2025

BARANZINI, Andrea *et al.* Carbon pricing in climate policy: seven reasons, complementary instruments, and political economy considerations. **WIREs Climate Change**, v. 8, n. 4, p. e462, jul. 2017.

BARICHIVICH, Jonathan *et al.* Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. **Science Advances**, v. 4, n. 9, p. eaat8785, 7 set. 2018.

BOUNDREAUX, Donald J.; MEINERS, Roger. Externality: Origins and Classifications. 2019.

BROECKER, Wallace S. Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming? *Science*, v. 189, n. 4201, p. 460–463, 8 ago. 1975.

BURKE, Marshall; HSIANG, Solomon M.; MIGUEL, Edward. Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, v. 527, n. 7577, p. 235–239, nov. 2015.

CALLAHAN, Christopher W.; MANKIN, Justin S. Globally unequal effect of extreme heat on economic growth. *Science Advances*, v. 8, n. 43, p. eadd3726, 28 out. 2022.

CARLETON, Tamma A.; HSIANG, Solomon M. Social and economic impacts of climate. *Science*, v. 353, n. 6304, p. aad9837, 9 set. 2016.

CARTY, Tracy; WALSH, Lyndsay. **Footing the Bill: Fair finance for loss and damage in an era of escalating climate impacts.** [S.l.]: Oxfam, 6 jun. 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10546/621382>>. Acesso em: 9 maio. 2026.

CESÁRIO, Deysiane Karoline de Paula *et al.* A ESTIAGEM NA AMAZÔNIA E OS IMPACTOS NO POLO INDUSTRIAL DA ZONA FRANCA DE MANAUS. 20 jan. 2024.

CHEN, H.; WANG, J.; HUANG, J. Policy support, social capital, and farmers' adaptation to drought in China. *Global Environmental Change*, v. 24, n. 1, p. 193–202, 2014.

CHUNG, Christine Sgarlata. Rising Tides and Rearranging Deckchairs: How Climate Change Is Reshaping Infrastructure Finance and Threatening to Sink Municipal Budgets. *Georgetown Environmental Law Review (GELR)*, v. 32, n. 165, 2020.

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE (CEPAL). **A economia da mudança climática na América Latina e no Caribe: uma visão gráfica.** , 2019. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44486/1/S1801217_pt.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2025

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE (CEPAL). **A economia da mudança climática na América Latina e no Caribe, 2023: necessidades de financiamento e ferramentas de política para a transição a economias de baixo carbono e resilientes ao clima.** 2023.

COOK, John *et al.* Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters*, v. 8, n. 2, p. 024024, 1 jun. 2013.

CRUZ, J. L.; ROSSI-HANSBERG, E. The Economic Geography of Global Warming. *Review of Economic Studies*, v. 91, n. 2, p. 899–939, 2024.

DE OLIVEIRA, Angela Maria Gonçalves. Políticas de acesso ao ensino fundamental no estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Política e Administração da Educação - Periódico científico editado pela ANPAE**, v. 40, n. 1, 19 dez. 2024.

DE SILVA, M. M. G. T.; KAWASAKI, A. Socioeconomic Vulnerability to Disaster Risk: A Case Study of Flood and Drought Impact in a Rural Sri Lankan Community. **Ecological Economics**, v. 152, p. 131–140, 2018.

DELFORGE, D. *et al.* **The EM-DAT Emergency Events Database Archive.** , 2025a. . Acesso em: 20 abr. 2026

DELFORGE, Damien *et al.* EM-DAT: the Emergency Events Database. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 124, p. 105509, jun. 2025b.

DELL, Melissa; JONES, Benjamin F.; OLKEN, Benjamin A. Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century. **American Economic Journal: Macroeconomics**, v. 4, n. 3, p. 66–95, 1 jul. 2012.

DELL, Melissa; JONES, Benjamin F.; OLKEN, Benjamin A. What Do We Learn from the Weather? The New Climate-Economy Literature. **Journal of Economic Literature**, v. 52, n. 3, p. 740–798, 1 set. 2014.

DELLINK, R.; LANZI, E.; CHÂTEAU, J. The Sectoral and Regional Economic Consequences of Climate Change to 2060. **Environmental and Resource Economics**, v. 72, n. 2, p. 309–363, 2019.

DUTRA, Marcelo José De Lima; PEREIRA, Henrique Dos Santos. Formação de municípios no Amazonas após a Constituição Federal de 1946: fragmentos de uma história interrompida e esquecida. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 20, n. 1, p. 51, 30 nov. 2017.

ELBARKY, Toka A. *et al.* A Framework for Assessing Institutional Capacities for Climate Change Adaptation. **Journal of Climate Change Action**, p. 12–26, 2024.

ELOI, Raylinne Rhanna de Souza. **Impactos da seca histórica: disponibilidade de alimentos na feira do produtor rural de Coari-Amazonas.** [S.l.]: Brasil, 23 ago. 2024.

EMBRAPA. **Extrativismo vegetal na Amazônia : história, ecologia, economia e domesticação.** [S.l.]: Alfredo Kingo Oyama Homma, 2014.

EMEDIEGWU, L. E.; WOSSINK, A.; HALL, A. The impacts of climate change on agriculture in sub-Saharan Africa: A spatial panel data approach. **World Development**, v. 158, 2022.

FAN, Q.; FISHER-VANDEN, K.; KLAIBER, H. A. Climate change, migration, and regional economic impacts in the United States. **Journal of the Association of Environmental and Resource Economists**, v. 5, n. 3, p. 643–671, 2018.

FÁVERO, Luiz. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com excel, SPSS e stata.** [S.l.]: Elsevier, 2017.

FERNANDES, Alice Munz *et al.* Desenvolvimento regional e mudanças climáticas: uma análise bibliométrica. **Desenvolvimento Socioeconômico em Debate**

, v. 10, n. 1, p. 174–188, 31 maio 2024.

FERNANDO, Roshen; LIU, Weifeng; MCKIBBIN, Warwick J. Global economic impacts of climate shocks, climate policy and changes in climate risk assessment. **SSRN Electronic Journal**, 2021.

FLEMING, James R. Joseph Fourier, the ‘greenhouse effect’, and the quest for a universal theory of terrestrial temperatures. **Endeavour**, v. 23, n. 2, p. 72–75, jan. 1999.

FREGONEZE, Gisleine Bartolomei *et al.* **Metodologia científica**. [S.l.]: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2023.

GAETA, Giuseppe Lucio *et al.* Economics research and climate change. A Scopus-based bibliometric investigation. **Sustainability Environmental Economics and Dynamics Studies (SEEDS)**, 2021.

GARDNER, Everette S. Exponential smoothing: The state of the art—Part II. **International Journal of Forecasting**, v. 22, n. 4, p. 637–666, out. 2006.

GARNELO, Luiza; SOUSA, Amandia Braga Lima; SILVA, Clayton De Oliveira Da. Regionalização em Saúde no Amazonas: avanços e desafios. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 4, p. 1225–1234, abr. 2017.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos E Técnicas De Pesquisa Social**. [S.l.]: Atlas, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos De Pesquisa**. 7. ed. São Paulo, SP: Editora Atlas Ltda, 2022.

GUIMARÃES, David Franklin Da Silva *et al.* **Socio-Economic Impacts of Extreme Floods on Agroextractive Socio-Ecological Systems in the Western Amazon**. Environmental and Earth Sciences, , 27 jun. 2024. Disponível em: <<https://www.preprints.org/manuscript/202406.1913/v1>>. Acesso em: 16 maio. 2025

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. **Econometria básica**. Quinta Edição ed. [S.l.]: Amgh, 2011.

HADDAD, Eduardo amaral; TEIXEIRA, Eliane. Economic impacts of natural disasters in megacities: The case of floods in São Paulo, Brazil. **Habitat International**, v. 45, n. P2, p. 106–113, 2015.

HADDAD, Eduardo Amaral *et al.* **IMPACTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL**. 2009.

HAIR, Joseph F. *et al.* **Análise Multivariada De Dados**. [S.l.]: Bookman, 2009.

HAUNSCHILD, Robin; BORNMANN, Lutz; MARX, Werner. Climate Change Research in View of Bibliometrics. **PLOS ONE**, v. 11, n. 7, p. e0160393, 29 jul. 2016.

HOLCOMBE, Randall G. A Theory of the Theory of Public Goods. **The Review of Austrian Economics**, v. 10, n. 1, p. 1–22, 1997.

HOYOS, N. *et al.* Impact of the 2010-2011 La Niña phenomenon in Colombia, South America: The human toll of an extreme weather event. **Applied Geography**, v. 39, p. 16–25, 2013.

HYNDMAN, Robin John; ATHANASOPOULOS, George. **Forecasting: Principles and Practice**. Melbourne, Australia: 3rd edition, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2010-2021: base de dados**. , 2023. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938>>. Acesso em: 20 maio. 2025

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área territorial - Brasil, Grandes Regiões, Unidades da Federação e Municípios**. , 2024. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html>>. Acesso em: 1 set. 2025

INTEGRATED RESEARCH ON DISASTER RISK. **Peril Classification and Hazard Glossary**. Beijing: Integrated Research on Disaster Risk (IRDR), 2014. Disponível em: <https://www.irdrinternational.org/knowledge_pool/publications/13>.

IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>>.

KAUL, Inge; GRUNBERG, Isabelle; STERN, Marc A. **Global public goods: international cooperation in the 21st century**. [S.l.: S.n.].

LADISLAU, D. S. *et al.* Ornamental fishing in the region of Barcelos, Amazonas: socioeconomic description and scenario of activity in the view of “piabeiros”. **Brazilian Journal of Biology**, v. 80, n. 3, p. 544–556, set. 2020.

LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas De Pesquisa**. [S.l.]: Atlas, 2002.

LENTON, Timothy M. *et al.* Tipping elements in the Earth’s climate system. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 6, p. 1786–1793, 12 fev. 2008.

LIMA, Letícia Santos de *et al.* Severe droughts reduce river navigability and isolate communities in the Brazilian Amazon. **Communications Earth & Environment**, v. 5, n. 1, p. 370, 12 jul. 2024.

LIU, L. J. *et al.* Environmental and economic impacts of trade barriers: The example of China–US trade friction. **Resource and Energy Economics**, v. 59, 2020.

Long-Run GDP Growth Framework and Scenarios for the World Economy. : OECD Economics Department Working Papers. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <https://www.oecd.org/en/publications/long-run-gdp-growth-framework-and-scenarios-for-the-world-economy_227205684023.html>. Acesso em: 19 abr. 2026.

MACH, Katharine J. *et al.* Unleashing expert judgment in assessment. **Global Environmental Change**, v. 44, p. 1–14, maio 2017.

MARENGO, Jose A. *et al.* Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, p. 228, 21 dez. 2018.

MARENGO, José A.; SOUZA JR., Carlos M. Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia. 2018.

MCCLLOUD, Rachel F. *et al.* Evidence for Decision-Making: The Importance of Systematic Data Collection as an Essential Component of Responsive Feedback. **Global Health: Science and Practice**, v. 11, n. Supplement 2, p. e2200246, 18 dez. 2023.

MELO, André Vitor Pereira de *et al.* Crescimento econômico e mudanças climáticas: uma análise bibliométrica. In: ENCONTRO REGIONAL DE ECONOMIA – ANPEC NORDESTE. **Anais...** Fortaleza: 2024. Disponível em: <https://www.anpec.org.br/nordeste/2024/submissao/arquivos_identificados/086-3b837c0648ef468102735898e2894145.pdf>

MENDONÇA, Mauricio Brilhante; FERREIRA, Deósio Cabral; COSTA, André Ricardo Reis. Dependência financeira dos municípios amazonenses de transferências da União. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, v. 6, n. 2, p. 163, 26 mar. 2019.

MENEZES, Alberto Luzerno. **Gasoduto Urucu-Coari-Manaus: Impacto Ambiental e Socioeconômico no Município de Manacapuru-AM.** [S.l.]: Universidade Federal do Amazonas, 2011.

MENEZES, Júlia Alves *et al.* Mapping human vulnerability to climate change in the Brazilian Amazon: The construction of a municipal vulnerability index. **PLOS ONE**, v. 13, n. 2, p. e0190808, 14 fev. 2018.

Mind the gap between the economic effects of climate change and the reality. **International Journal of Energy Studies**, 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **PROJETO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA AO SETOR DE ENERGIA:** Estudos para a Elaboração do Plano DuoDecenal (2010 – 2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – PDGMT. [S.l.: S.n.].

NOBRE, Carlos A. *et al.* Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 39, p. 10759–10768, 27 set. 2016.

NORDHAUS, William D. Revisiting the social cost of carbon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 7, p. 1518–1523, 14 fev. 2017.

OLIVEIRA, Samira França; PRADO, Rachel Bardy; MONTEIRO, Joyce Maria Guimarães. Impactos das mudanças climáticas na produção agrícola e medidas de adaptação sob a percepção de atores e produtores rurais de Nova Friburgo, RJ. **Interações (Campo Grande)**, p. 1179–1201, 22 dez. 2022.

OLMSTEAD, S. M. Climate change adaptation and water resource management: A review of the literature. **Energy Economics**, v. 46, p. 500–509, 2014.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **A data-driven public sector: Enabling the strategic use of data for productive, inclusive and trustworthy governance:** OECD Working Papers on Public Governance. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <https://www.oecd.org/en/publications/a-data-driven-public-sector_09ab162c-en.html>. Acesso em: 16 maio. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Adoção do Acordo de Paris.** , 30 nov. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-08/Acordo-de-Paris.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2025

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. **Ensuring safety and health at work in a changing climate.** , 2024. . Acesso em: 16 maio. 2025

PAGE, Edward A. Distributing the burdens of climate change. **Environmental Politics**, v. 17, n. 4, p. 556–575, ago. 2008.

PEREIRA, Raimundo Emerson Dourado. Impactos socioambientais do projeto de exploração de petróleo e gás no município de Coari/AM: o caso da comunidade ribeirinha de Sao Pedro da Vila Lira. *In*: 29ª REUNIÃO BRASILEIRA DE ANTROPOLOGIA. **Anais...** Natal/RN: 2014. . Acesso em: 25 maio. 2025

PINDYCK, Robert S. Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us? **Journal of Economic Literature**, v. 51, n. 3, p. 860–872, 1 set. 2013.

PLASS, Gilbert N. The Carbon Dioxide Theory of Climatic Change. **Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography**, v. 8, n. 2, p. 140–154, 1 jan. 1956.

PRODANOV, Cleber Cristiano. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2ª edição ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2012.

QUANTE, Lennart *et al.* Global economic impact of weather variability on the rich and the poor. **Nature Sustainability**, v. 7, n. 11, p. 1419–1428, 13 set. 2024.

REICHERT, A.; HOLZ-RAU, C.; SCHEINER, J. GHG emissions in daily travel and long-distance travel in Germany – Social and spatial correlates. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 49, p. 25–43, 2016.

REIS, L. A.; DROUET, L.; TAVONI, M. Internalising health-economic impacts of air pollution into climate policy: a global modelling study. **The Lancet Planetary Health**, v. 6, n. 1, p. e40–e48, 2022.

RODRIGUES, Icaro Dos Santos *et al.* ANÁLISE COMPARATIVA DA ECONOMIA DO AMAZONAS: ANTES E DEPOIS DA IMPLEMENTAÇÃO DA ZONA FRANCA DE MANAUS – IMPACTOS, DESAFIOS E OPORTUNIDADES. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 12, p. 1128–1137, 4 dez. 2024.

SASS, Karina Simone. **Mudanças climáticas, secas e impactos econômicos: uma análise para a Região Metropolitana de São Paulo.** Doutorado em Economia das Instituições e do Desenvolvimento—São Paulo: Universidade de São Paulo, 22 nov. 2021.

SATHLER, Douglas; MONTE-MÓR, Roberto L.; CARVALHO, José Alberto Magno De. As redes para além dos rios: urbanização e desequilíbrios na Amazônia brasileira. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p. 11–39, 2009.

SECRETARIA DO TESOURO NACIONAL. **Relatórios Contábeis e Fiscais de Estados, DF e Municípios.** Siconfi: Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro., , 2026. Disponível em:

<<https://www.tesourotransparente.gov.br/visualizacao/meu-siconfi-extrator-de-dados-do-siconfi>>. Acesso em: 10 dez. 2025

SILVA, Marcia Zanievicz da; VENTURINI, Jonas Cardona; NEZ, Evando De. Quali x Quanti – Quanti x Quali: Desevendando Mitos e verdades sobre as Abordagens na Pesquisa em Ciências Contábeis. *In: XVIII USP INTERNATIONAL CONFERENCE IN ACCOUNTING. 18º USP International Conference in Accounting*. São Paulo: jul. 2018.

SILVA, Denison. **Trabalho e relações de trabalho na Mineração Taboca**. [S.l.]: Universidade de São Paulo, 2009.

SILVA DO NASCIMENTO, Ana Claudeise *et al.* DESIGUALDADES EDUCACIONAIS EM CONTEXTOS RURAIS NA AMAZÔNIA CENTRAL. **Contracorrente: Revista do Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Ciências Humanas**, v. 2, n. 22, p. 9–33, 13 dez. 2024.

SILVA, Lindomar de Jesus de Souza *et al.* AGRICULTURA FAMILIAR NO ESTADO DO AMAZONAS: UM PANORAMA A PARTIR DO CENSO AGROPECUÁRIO 2017. *In: 61º CONGRESSO DA SOBER. Anais do 61º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER)*. Piracicaba, São Paulo: Even3, 2023. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/Anais/sober2023/627315>>. Acesso em: 19 maio. 2025

SILVESTREIM, Eneida Guerra *et al.* Potenciais econômicos para o desenvolvimento sustentável do estado do Amazonas-AM. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e37611931922, 13 jul. 2022.

SOEST, Heleen L. *et al.* Analysing interactions among Sustainable Development Goals with Integrated Assessment Models. *Global Transitions*. 2019.

STERN, Nicholas H. **The Economics of Climate Change: The Stern Review**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Disponível em: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20100407172811/https://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm>. Acesso em: 12 nov. 2025.

STROBL, Eric; SKOUFIAS, Emmanuel; TVEIT, Thomas. **The Reallocation of District-Level Spending and Natural Disasters: Evidence from Indonesia**. [S.l.]: World Bank, Washington, DC, 2018.

TAN, J.; SU, X.; WANG, R. The impact of natural resource dependence and green finance on green economic growth in the context of COP26. **Resources Policy**, v. 81, 2023.

TANURE, Tarik Marques do Prado. **MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AGRICULTURA NO BRASIL: IMPACTOS ECONÔMICOS REGIONAIS E POR CULTIVO FAMILIAR E PATRONAL**. Doutorado—Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2020.

TAVARES, Aeicha Roldan. IMPACTO DOS DESASTRES NATURAIS SOBRE AS FINANÇAS MUNICIPAIS NO CEARÁ: UMA ANÁLISE COM DADOS EM PAINEL PARA O PERÍODO 2003-2016. 2021.

THE NETWORK OF CENTRAL BANK AND SUPERVISORS FOR GREENING THE FINANCIAL SYSTEM - NGFS. **Climate Scenarios for central banks and supervisors – Technical documentation.** [S.l.: S.n.]. Disponível em: <https://www.ngfs.net/sites/default/files/ngfs_climate_scenarios_technical_documentation__phase2_june2021.pdf>. Acesso em: 4 maio. 2025.

TOL, Richard S. J. The Economic Effects of Climate Change. **Journal of Economic Perspectives**, v. 23, n. 2, p. 29–51, 1 abr. 2009.

TYNDALL, John. The Bakerian Lecture: On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours, and on the Physical Connexion of Radiation, Absorption, and Conduction. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 15, p. 1–36, 1861.

UN ENVIRONMENT PROGRAMME FINANCE INITIATIVE. **Climate Risks in the Industrials Sector.** , abr. 2023. Disponível em: <<https://www.unepfi.org/themes/climate-change/climate-risks-in-the-industrials-sector/>>. Acesso em: 16 maio. 2025

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again).** [S.l.]: United Nations Environment Programme, 2023.

VAN BUUREN, Stef. **Flexible Imputation of Missing Data, Second Edition.** 2. ed. Second edition. | Boca Raton, Florida : CRC Press, [2019] | : Chapman and Hall/CRC, 2018.

VAZ, Bruno Ottoni Eloy; BARREIRA, Tiago Cabral. Metodologia de retropolação da pesquisa nacional por amostra de domicílios contínua de 1992 a 2012. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 51, n. 4, p. 759–782, out. 2021.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data.** Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2010.

WORLD BANK GROUP. **Report of the High-Level Commission on Carbon Pricing and Competitiveness.** Washington: [S.n.]. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/e49473de-ad98-5d26-8add-102687c9dc80/content>>. Acesso em: 4 maio. 2025.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Guide to Climatological Practices.** Genebra: World Meteorological Organization (WMO), 2023. Disponível em: <<https://library.wmo.int/idurl/4/60113>>. Acesso em: 20 fev. 2026.

YANG, P. *et al.* Social cost of carbon under shared socioeconomic pathways. **Global Environmental Change**, v. 53, p. 225–232, 2018.

ZHANG, Gan; ZHU, Wenjun. **Characteristics and Predictive Modeling of Short-term Impacts of Hurricanes on the US Employment.** arXiv, , 2023. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2307.13686>>. Acesso em: 16 maio. 2025

ZHOU, Jun *et al.* GRACE/GFO and Swarm Observation Analysis of the 2023–2024 Extreme Drought in the Amazon River Basin. **Remote Sensing**, v. 17, n. 16, p. 2765, 9 ago. 2025.

ZHOU, L.; TURVEY, C. G. Climate change, adaptation and China's grain production. **China Economic Review**, v. 28, p. 72–89, 2014.