

**IMPACTOS DAS ADVERSIDADES CLIMÁTICAS NA QUALIDADE
INSTITUCIONAL E SUAS IMPLICAÇÕES NA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E NA
PRODUÇÃO SETORIAL DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

***IMPACTS OF CLIMATE ADVERSITIES ON INSTITUTIONAL QUALITY AND THEIR
IMPLICATIONS FOR TECHNOLOGICAL INNOVATION AND SECTORAL
PRODUCTION IN THE STATE OF PERNAMBUCO***

Vanessa Geisiane da Silva Souza 1

**Bacharel em Ciências Econômica pela Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE/UAST**

vanessa.geisiane@ufrpe.br

Sergiany da Silva Lima 2

**Doutorado em Economia pela Universidade Federal Fluminense – UFF, Docente do
curso de Bacharelado em Ciências Econômica da Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE/UAST**

sergiany.lima@ufrpe.br

Kleyton José da Silva Pereira de Siqueira 3

**Doutorado em Economia pelo PIMES-UFPE, Docente do curso de Bacharelado em
Ciências Econômica da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade
Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE/UAST**

kleyton.siqueira@ufrpe.br

Francisco José Alves de Castro 4

**Doutorado em Economia Política do Conhecimento e das Instituições pela Faculdade de
Economia da Universidade de Coimbra (FEUC), Docente do curso de Bacharelado em
Ciências Econômica da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade
Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE/UAST**

francisco.josec@ufrpe.br

Grupo de Trabalho (GT): GT06. Desenvolvimento rural, territorial e regional

Resumo: as adversidades climáticas do semiárido de Pernambuco, aliadas à escassez de recursos naturais, têm sido historicamente associadas ao subdesenvolvimento da região. No entanto, tais características não representam, em si, uma limitação à produção, mas sim uma condição mal gerida e desconsiderada no desenho institucional, contribuindo para perpetuar estruturas de atraso e dependência. O estudo se propõe a analisar os impactos das condições climáticas na qualidade das instituições e suas implicações na inovação tecnológica e na produção setorial do estado de Pernambuco. Utilizando um modelo Vetor Autorregressivo em Painel (PVAR), investiga-se a natureza endógena entre clima, instituições e desempenho econômico. Os principais resultados evidenciam que as condições climáticas exercem influência significativa sobre a vulnerabilidade institucional dos municípios pernambucanos, especialmente por meio dos efeitos do estresse hídrico e da variabilidade térmica, corroborando com a hipótese da pesquisa. Observou-se que em contextos de maior fragilidade institucional estão associados à redução do dinamismo econômico, com efeitos mais evidentes sobre os

setores agropecuário e de serviços. Os parâmetros tecnológicos não apresentam respostas estatisticamente significativas às variações institucionais ou climáticas, indicando um possível distanciamento entre os processos de inovação e os condicionantes estruturais regionais.

Palavras-chave: Semiárido; Vulnerabilidade institucional; Mudanças climáticas; Inovação tecnológica; Produção setorial.

Abstract: Climatic adversities in the semiarid region of Pernambuco, combined with the scarcity of natural resources, have historically been associated with the region's underdevelopment. However, such characteristics do not represent an inherent limitation to production, but rather a poorly managed condition that has been overlooked in institutional design, contributing to the perpetuation of structural backwardness and dependency. The study aims to analyze the impacts of climatic conditions on institutional quality and their implications for technological innovation and sectoral production in the state of Pernambuco. Using a Panel Vector Autoregressive (PVAR) model, the research investigates the endogenous relationship between climate, institutions, and economic performance. The main findings indicate that climate conditions significantly influence the institutional vulnerability of municipalities, particularly through the effects of water stress and thermal variability, supporting the research hypothesis. It was observed that contexts marked by greater institutional fragility are associated with reduced economic dynamism, especially in the agricultural and service sectors. Technological parameters did not show statistically significant responses to institutional or climatic variations, suggesting a possible disconnect between innovation processes and regional structural constraints.

Keywords: Semiarid region; Institutional vulnerability; Climate change; Technological innovation; Sectoral production.

1. INTRODUÇÃO

As adversidades climáticas do semiárido, combinada à escassez de recursos naturais e restrição de água tem sido historicamente apontadas como os principais entraves ao desenvolvimento econômico da região (Silva *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2021; Costa; Sant'Anna; Young, 2023; Jardim *et al.*, 2021; Marengo; Torres; Alves, 2017; Marengo *et al.*, 2019). O que até então não tem ficado claro, é que a condição climática do semiárido desencadeia um efeito institucional, que compromete a alocação eficiente dos investimentos e o desenvolvimento de novas tecnologias de convivência com a seca. Em outras palavras, significa dizer que o potencial de crescimento das economias semiáridas também tem sido prejudicado por fatores comuns ao subdesenvolvimento regional do Brasil, como baixa qualidade institucional, infraestrutura inadequada e difusão tecnológica limitada (Nakabashi; Pereira, 2023; Lima; Urraca Ruiz, 2020; Schettini; Azzoni, 2018; Díaz Dapena *et al.*, 2017).

Pernambuco, assim como outros estados do Nordeste brasileiro contidos no Semiárido nacional, são fortemente afetados por desastres climáticos e ambientais (CEPED, 2020). O semiárido nordestino possui uma das áreas com maior nível de aridez do país. Cerca de 89%

do seu território está sujeito às condições inerentes aos ecossistemas semiáridos: precipitação média anual inferior a 800 mm, Índice de Aridez de Thornthwaite até 0,50 e risco de seca de 60%. As condições geoclimáticas dos municípios do semiárido são naturalmente desfavoráveis ao desenvolvimento econômico. Os altos índices de aridez da região, combinado às intensas ondas de calor e eventos extremos, agravado pelos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, têm tornado o semiárido altamente vulnerável às mudanças climáticas em curso (Marengo; Torres; Alves, 2017; Oliveira, 2019).

Nesse contexto, esse estudo se propõe a analisar os impactos das condições climáticas na qualidade das instituições e suas implicações na inovação tecnológica e na produção setorial do estado de Pernambuco. As instituições do semiárido podem estar influenciando endogenamente a tecnologia e o desenvolvimento setorial da região, que estão entre as principais causas do atraso econômico persistente internacional (Acemoglu; Johnson; Robinson, 2001; 2012; North, 1989). Por essa razão, esse estudo visa explorar a natureza endógena das relações entre clima, instituições, inovação tecnológica e crescimento econômico.

O principal método empregado nessa pesquisa é o Vetor Autorregressivo com dados em painel usando um estimador de Momentos Generalizados. A relação de endogeneidade será controlada usando a metodologia de Vetor Autorregressivo em Painel (PVAR) com efeito fixo, para entender os impactos dos choques climáticos sobre a vulnerabilidade institucional e sua relação endógena com o crescimento econômico. Uma estratégia semelhante a essa foi realizada por Zhao e Liu (2023), usando PVAR, para entender os efeitos do Clima na produção setorial em regiões africanas. A contribuição da nossa pesquisa se mostra mais significativa, por se propor a explorar a endogeneidades das relações entre clima, instituições, tecnologias e crescimento econômico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Teoria do Crescimento Econômico e Instituições

As teorias do crescimento econômico oferecem diferentes explicações para as desigualdades de renda entre os países. Para Solow (1957) as disparidades de renda entre os países poderiam ser explicadas no diferencial de capital físico e no progresso tecnológico. Para Lucas (1988) e Romer (1990), a diferença per capita estaria atrelada a desigualdade educacional

e na capacidade dos países em inovar. Tal combinação: investimentos em infraestrutura, educação e inovação, refletiram no crescimento econômico.

É a partir da influência de North (1990), que as diferenças econômicas vão ser explicadas pela qualidade das instituições. Até então negligenciadas, as instituições passam a ocupar uma posição central nas teorias do crescimento econômico, para compreender as diferenças de renda entre os países.

Para North (1990) as instituições são as “regras do jogo”, mudanças institucionais moldam a forma como as sociedades evoluem ao longo do tempo e, portanto, essencial para explicar mudanças históricas. Acemoglu; Johnson; Robinson (2001; 2005; 2012), argumentam que a liberdade econômica, na forma de mercados livres e governos que se concentram na manutenção dos direitos de propriedade, são considerados incentivadores do crescimento econômico. Instituições estáveis e bem estruturadas — como direitos de propriedade seguros, sistemas jurídicos eficazes e políticas regulatórias claras — promovem um ambiente propício para investimentos, inovação e a expansão de mercados.

Assim como existe uma tendência positiva entre o desempenho das instituições e o desenvolvimento econômico, há também uma relação simultânea: o próprio crescimento econômico pode favorecer melhorias institucionais (Almeida; Esperidião; Moura, 2024). À medida que uma economia se desenvolve, gera recursos e demandas que incentivam a criação de instituições mais eficientes e transparentes, capazes de sustentar e ampliar esse progresso. Corradini (2021), argumenta que crescimento gera pressões populares e de corporações por um melhor desempenho governamental. Almeida; Esperidião; Moura (2024) relatam que a dinâmica do crescimento econômico na América Latina, influencia a qualidade das instituições políticas.

2.2 Revisão empírica Internacional

Estudos pioneiros, como os de Sachs (2001), argumentam que fatores geográficos, incluindo clima e recursos naturais, influenciam diretamente o desenvolvimento econômico. Por essa razão, as regiões semiáridas, marcadas por limitações hídricas e frequentes choques climáticos, tendem a apresentar as maiores dificuldades em alcançar desenvolvimento sustentado. A relação entre instituições e desenvolvimento econômico tem sido amplamente explorada nas teorias de crescimento, consolidando a ideia de que as instituições desempenham

um papel endógeno no processo de desenvolvimento. Instituições sólidas exercem influência direta e significativa no crescimento econômico (Acemoglu; Johnson; Robinson, 2001).

Segundo Sachs (2003) existem três determinantes principais, sendo eles: instituições, geografia, e integração econômica. As instituições desempenham um papel predominante em relação à geografia e à integração econômica. A geografia se mostra significativa apenas de forma indireta, por meio de sua influência sobre as instituições. Rodrik; Subramanian; Trebbi (2004), estimam a contribuição das instituições, da geografia e comércio na determinação da renda global. Os resultados indicam que a qualidade das instituições se sobrepõe as demais variáveis analisada. De acordo com os referidos autores “uma vez que as instituições são controladas, as medidas convencionais de geografia têm, na melhor das hipóteses, efeitos diretos fracos sobre a renda, embora tenham um forte efeito indireto ao influenciar a qualidade das instituições”.

Pesquisas como Engerman; Sokoloff, (2002), Easterly; Levine (2003) e Rodrik; Subramanian; Trebbi (2004), argumentam empiricamente que as desigualdades de renda per capita, existem não por causa das suas restrições climáticas e geográfica, mais devido instituições incapazes de fomentar e mitigar as causas do seu subdesenvolvimento por meio de políticas de desenvolvimento. O Semiárido Pernambucano pode ser um exemplo disso, suas características de semiaridez, podem não ser um empecilho ao desenvolvimento. Essa compreensão sugere que os efeitos da geografia não são determinísticos, mas mediados pela qualidade das instituições (Rodrik; Subramanian; Trebbi, 2004).

Dell; Jones; Olken (2014) sugerem que eventos climáticos extremos exacerbam desigualdades socioeconômicas, enfraquecendo a capacidade institucional. A vulnerabilidade ambiental tem implicações sobre a capacidade do Estado em atuar de forma eficaz. Cevik; Jalles (2023) observa que regiões altamente vulneráveis enfrentam desafios na governança local, frequentemente devido à fragilidade das políticas de mitigação e adaptação a desastres naturais. A vulnerabilidade ambiental pode alimentar círculos viciosos que comprometem o fortalecimento institucional.

Para Acemoglu, Johnson e Robinson (2012), a geografia explica os padrões de renda per capita entre países predominantemente ou exclusivamente por meio da escolha institucionais, com pouco efeito direto da geografia sobre a renda. A sua principal tese é que, em uma perspectiva de longo prazo, as instituições desempenham um papel fundamental como determinantes do crescimento econômico regional. Estudos empíricos reforçam essa visão ao

evidenciar uma correlação positiva entre o nível de desenvolvimento institucional e o produto interno bruto (PIB) per capita, indicando que países com instituições mais sólidas tendem a alcançar maior crescimento e prosperidade econômica (Rodríguez-Pose, 2013; Acemoglu; Johnson; Robinson, 2001; 2005; 2012).

Nawaz (2015) examinaram o impacto das instituições no crescimento por meio de um painel de 56 países, constata que melhoria na qualidade institucional leva à aceleração do crescimento e que diferentes países requerem diferentes conjuntos de instituições para alcançar níveis superiores de desenvolvimento, identificando um efeito causal positivo da qualidade institucional no crescimento econômico. Corradini (2021), encontra o mesmo resultado para uma análise do painel-VAR das regiões NUTS-3 da Itália.

Acquah *et al* (2023), buscaram capturar o impacto que as instituições têm sobre o nível e a taxa de crescimento do PIB per capita, para uma amostra de países, empregando o método do Score de Propensão Generalizada. O estudo aponta que as instituições são importantes especialmente em países de baixa e média renda, e nem todas as instituições são iguais para o desenvolvimento econômico. Eles documentaram que existe uma não linearidades nos efeitos causais que diferentes instituições têm sobre o crescimento e a presença de efeitos limiares.

Almeida; Esperidião; Moura (2024), usam um Modelo Autorregressivo de Vetor de Painel (PVAR) para uma amostra de 42 países, constataram que a taxa média de crescimento responde positivamente a choques exógenos no desempenho institucional, vislumbrando que choques nas instituições políticas têm um pequeno efeito nas economias avançadas, enquanto choques nas instituições econômicas exerce uma forte influência. Para as economias da América latina, constataram que melhorias nas instituições econômicas e políticas promovem crescimento, e que a dinâmica do crescimento econômico influencia a qualidade das instituições políticas (Almeida; Esperidião; Moura, 2024).

2.3 Revisão empírica brasileira

No caso da economia brasileira, estudos como Menezes-Filho *et al.* (2006), Naritomi; Soares; Assunção (2012), Nakabashi; Pereira; Sachsida (2013), Pereira; Romero; Medeiros (2021), Nakabashi (2020; 2022) e Nakabashi; Pereira, (2023) apresentam as instituições como fator determinante do desenvolvimento, exercendo um papel relevante no processo de crescimento e desenvolvimento econômico. Nakabashi (2022), parafasia que a qualidade institucional é responsável pelo avanço da produtividade e da acumulação dos fatores de

produção, seja por meio da fomentação, ou indiretamente por fatores adversos. A principal compreensão dessa literatura é que o motor do crescimento econômico é o fator institucional, assim como em seus precursores (Engerman; Sokoloff, 2002; Acemoglu; Johnson; Robinson, 2012; 2005; 2001).

Pereira; Romero; Medeiros (2021), investigaram a relação entre instituições, crescimento da demanda e produtividade dos municípios brasileiros, com base na Lei de Kaldor-Verdoorn. Eles associam o crescimento da produtividade ao aumento da demanda, usando o Indicador da Qualidade das Instituições Municipais (IQIM) e o coeficiente de Gini fundiário, com controles para dependência espacial. Foram testados os efeitos diretos e indiretos de instituições, capital humano e físico, além do crescimento da demanda, na produtividade industrial. O estudo concluiu que a interação entre instituições, capital humano e crescimento da demanda é fundamental para explicar diferenças regionais no desempenho econômico de longo prazo no Brasil.

Nakabashi (2022), explora o efeito da qualidade institucional, capital humano e físico, considerando diferenças regionais e tamanho populacional, no nível de desenvolvimento dos municípios brasileiros, verificando o impacto do arcabouço institucional em relação a diferentes indicadores de desenvolvimento econômico, como o PIB per capita, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M), e o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM). Nakabashi (2022) também utiliza como proxy das instituições o Indicador da Qualidade das Instituições Municipais (IQIM). Os resultados mostram que a qualidade institucional tem impacto significativo no desenvolvimento econômico, especialmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, enquanto seu efeito é menos relevante no Nordeste. Municípios mais populosos são mais sensíveis à influência institucional, enquanto os menos populosos dependem mais do capital humano.

3 METODOLOGIA

O estudo se propõe analisar a relação entre a qualidade das instituições e condições climáticas dos municípios e suas implicações na produção setorial do estado de Pernambuco, explorando a natureza endógena das relações entre clima, instituições, inovação tecnológica e crescimento econômico. A relação de endogeneidade será controlada usando a metodologia de Vetor Autorregressivo em Painel (PVAR), para entender os impactos dos choques climáticos sobre a vulnerabilidade institucional e a relação endógena das instituições com o crescimento

econômico (Acemoglu; Johnson; Robinson, 2001; 2005; 2012). Os dados utilizados terão como base o período de 2003 a 2021. O tempo de análise consiste na disponibilidade do Produto Interno Bruto municipal da série retropolada do IBGE.

3.1 MODELO EM PAINEL DO VETOR AUTORREGRESSIVO (PVAR)

3.1.1 Raiz unitária e ordem de integração

A ordem de integração de uma variável longitudinal, ou temporal, é dada pelo número de diferenças necessárias para torná-la estacionária. A raiz unitária pode se manifestar no intercepto e tendência, e no distúrbio da variável em painel. Por esse motivo, são verificadas todas as possíveis fontes de tendências não estacionárias. Os testes para raiz unitária em painel são os seguintes: Levin-Lin-Chu (Levin; Lin; Chu, 2002), Breitung (Breitung, 2001), Im-Pesaran-Shin (Im; Pesaran; Shin, 2003), Fisher ADF (Maddala; Wu, 1999), Fuller ADF (Dickey; Fuller, 1981) e Fisher PP (Choi, 2001).

Cada testes possui suas especificidades, porém todos chegam a uma conclusão sobre a presença ou ausência de raiz unitária. Quanto maior for o número de confirmações sobre a ordem de integração de uma variável, mais robusto é o resultado. Assim, se uma variável longitudinal é definida pelos referidos testes como não estacionária em nível, mas estacionária em primeira diferença nas três possibilidades de tendência, se diz que a série é integrada de ordem um [$I(1)$]. Aquelas que se tornam estacionárias apenas em segunda diferença, se diz que são integradas de ordem dois [$I(2)$] e assim sucessivamente até a ordem de integração d [$I(d)$].

3.1.2. Teste de Cointegração Vetorial

Uma vez verificado que todas as séries são integradas da mesma ordem, geralmente $I(1)$, o passo subsequente consiste em investigar a existência de relações de equilíbrio de longo prazo. Esse vínculo é avaliado por meio de testes de cointegração, que têm por objetivo verificar se uma combinação linear das séries resulta em uma série estacionária, mesmo que cada série individualmente não o seja. A presença de cointegração sugere que as variáveis compartilham uma tendência comum e evoluem de forma coordenada no longo prazo. Entre os testes destacam-se o Teste de cointegração de Johansen (Johansen, 1988; 1991) e o Teste de cointegração de Engle-Granger (Engle; Gran-Ger, 1987).

Os testes partem da hipótese nula de que não existe cointegração entre as séries. A rejeição dessa hipótese indica que há ao menos uma relação de equilíbrio no longo prazo entre as variáveis. Os testes podem ser realizados sob diferentes especificações, como com ou sem tendência e com intercepto. A identificação da cointegração é fundamental para análises que envolvem séries temporais ou dados em painel, pois assegura que os vínculos entre as variáveis não sejam meramente ocasionais ou espúrios. Assim como nos testes de raiz unitária, quanto maior o número de confirmações da presença de cointegração entre os diferentes testes, maior a confiabilidade dos resultados obtidos.

3.1.3. Teste de Defasagem Ótima

A determinação da defasagem ótima define quantos períodos passados devem ser considerados na dinâmica das variáveis. A escolha apropriada das defasagens garante que o modelo capture adequadamente os efeitos defasados, evitando tanto a omissão de informações relevantes quanto o excesso de parâmetros. Para isso, utilizam-se critérios de informação, como o *Akaike Information Criterion* (AIC) (Akaike, 1969), *Bayesian Information Criterion* (BIC) (Schwarz, 1978) e *Hannan-Quinn* (HQ) (Hannan; Quinn, 1979), que equilibram a qualidade do ajuste com a parcimônia do modelo. A defasagem que minimiza o valor desses critérios é considerada a mais adequada.

3.1.4. Modelagem em painel do vetor autorregressivo (PVAR)

O modelo Vetor Autorregressivo em Painel (PVAR) permite analisar a dinâmica conjunta entre múltiplas variáveis endógenas, levando em consideração a heterogeneidade entre unidades do painel e as relações dinâmicas ao longo do tempo. A estimação do modelo é realizada por meio do método dos Momentos Generalizados (GMM), conforme proposto por Abrigo; Love (2016) técnica amplamente utilizada para lidar com problemas de endogeneidade, viés de simultaneidade e autocorrelação nas defasagens. A abordagem GMM permite o uso de defasagens passadas como instrumentos válidos, sendo especialmente útil quando a série temporal disponível é curta, mas o número de unidades do painel é razoavelmente elevado.

A modelagem PVAR pressupõe um vetor de variáveis estacionárias em diferença. Essa característica sugere que a estimação das relações de curto prazo, são estáveis e não viesadas. Por essa razão, a especificação empírica do modelo deve se dar em primeira diferença, uma vez que a maioria das variáveis são $I(1)$. A estimação do PVAR requer ainda um teste de defasagem

ótima para verificar os efeitos autorregressivos das relações endógenas (Tiryaki; Andrade, 2017; Abrigo; Love, 2016). Nesses termos, a equação do modelo PVAR (01), deve ser estimada com defasagens $l = 1, \dots, p$, do modelo com efeito fixo usando o estimador de Momentos Generalizados (ABRIGO; LOVE, 2016).

$$y_{i,t} = \mu_i + \sum_{l=1}^p \alpha_l y_{i,t-l} + \varepsilon_{i,t} \quad (01)$$

Em que o subscrito i corresponde aos municípios do Brasil, enquanto o subscrito de t corresponde ao tempo da análise. Em termos matemáticos, $i = 1, \dots, N$, com $t = 2003, \dots, 2021$. As implicações das instituições e tecnologias sobre a produção setorial devem revelar as diferentes formas pelas quais, o clima e as instituições influenciam a eficiência dos investimentos e nos diferentes setores e municípios da economia pernambucana.

O referido modelo PVAR será usado para testar as seguintes hipóteses:

Hipótese 1: Choques nas mudanças climáticas exercem efeitos sobre a qualidade das instituições, agravando a vulnerabilidade institucional de Pernambuco;

Hipótese 2: A produção da agricultura, serviços e indústria são afetadas pelas tecnologias, instituições e climas adversos, porém, com diferentes intensidades de respostas aos choques de vulnerabilidade em Pernambuco.

3.2 Variáveis e fonte dos dados

A renda *per capita* setorial dos municípios (y_i) utilizada nesse estudo está disponível na base dados do IBGE, e será deflacionada a preços constantes. Os parâmetros Tecnológico, institucional e climático estão disponíveis em diferentes bases oficiais do Brasil. As variáveis tecnológicas têm como *proxy* a formação profissional de indivíduos ligados a atividades econômicas intensivas em tecnologia (ARAÚJO, CAVALCANTE, ALVES, 2009). Essa *proxy*, é encontrada na Relação Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho e Emprego (Rais/MTE), de acordo com os grupos ocupacionais do PoTec, sendo: engenheiros mecânicos - CBO 202, engenheiros civis. - CBO 214 e engenheiros agrônomos e de pesca – CBO 222.

Para os dados institucionais, tomar-se-á como *proxy* as variáveis de Óbitos evitáveis em menores de 5 anos de idade, disponibilizadas na plataforma DATASUS e, comparecimento ao primeiro turno das eleições para prefeito e presidente, disponibilizados no Ipeadata. Esses dados

estão amparados na literatura de desenvolvimento institucional de North (1989), Blomberg *et al* (2006) e, Acemoglu; Johnson; Robinson (2001; 2012). As variáveis de comparecimento as eleições, são disponibilizados a cada dois anos pelo Tribunal Superior Eleitoral, devido ao período em que ocorre as eleições entre prefeitos e presidentes. Assumindo que o número de eleitores não sofre mudanças radicais no curto prazo, assim como o comparecimento às urnas, será interpolado o número de eleitores para o ano que a informação for ausente. A variável de população residente estimada, disponível no IBGE, será tomada como referência para controlar discrepâncias entre municípios grandes e pequenos.

Os dados relacionados as variáveis climáticas, estão disponíveis no *TerraClimate*, que reúne um conjunto de dados mensais sobre o clima e balanço hídrico para as superfícies terrestres do planeta. As variáveis utilizadas na construção da *proxy* climática incluem o índice de Severidade de Seca (PDSI), utilizado para estimar a intensidade dos padrões de circulação dos indutores de seca de longo prazo, o Índice de Aridez e a Temperatura Máxima.

Quadro 1: Definição das variáveis e fonte dos dados

Variáveis		Definições das variáveis	Período	Fonte
Produção setorial	Agrícola	Produção no setor agropecuário	2003-2022	IBGE
	Indústria	Produção no setor industrial	2003-2022	IBGE
	Serviço	Produção no setor de serviços	2003-2022	IBGE
<i>Tecnologia</i>	<i>Eng</i>	Engenheiros (CBOs 202, 214 e 222)	2003-2022	Rais/MPE
<i>Instituições</i>	<i>Morte</i>	Óbitos por causas evitáveis para menores de 5 anos	2003-2022	DATASUS
	<i>Eleição</i>	Comparecimento ao primeiro turno das eleições para eleições prefeitos e presidentes, interpolado	2003-2022	Ipeadata
<i>Clima</i>	<i>IA</i>	Índice de Aridez	2003-2022	TerraClimate
	<i>TMAX</i>	Temperatura Máxima	2003-2022	TerraClimate
	<i>PDSI</i>	Índice de Severidade da Seca de Palmer	2003-2022	TerraClimate

Fonte: Elaboração própria.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Características estatísticas

A análise empírica consiste na estimação de um Vetor Autorregressivo em Painel (PVAR) com controle de efeito fixo, estimado por Mínimos Momentos Generalizados (GMM), conforme descrito em Abrigo e Love (2016). O modelo incorpora um conjunto reduzido e representativo de variáveis endógenas, ao relacionar às condições climáticas, a vulnerabilidades institucionais, inovação tecnológica e desempenho econômico setorial do estado de Pernambuco. Empregou-se o operador de primeira diferença em todas as variáveis para estimar os efeitos de curto prazo e garantir a estabilidade do modelo. Os testes de raiz unitária empregados identificaram variáveis estacionárias e integradas de ordem um, mas todas se mostraram estacionárias com uma diferença. Isso exclui o uso do Vetor de Correção de Erro, levando ao uso do PVAR. A especificação do modelo adotou uma defasagem ótima de três anos de atraso nas relações, em conformidade com as indicações dos critérios de ajuste de Akaike (AIC), Bayesiano (BIC) e Hana-Quinn (HQ). Os testes de autovalores do Círculo Unitário das equações estimadas, confirmam a estabilidade do modelo, assim como proposto por Abrigo e Love (2016).

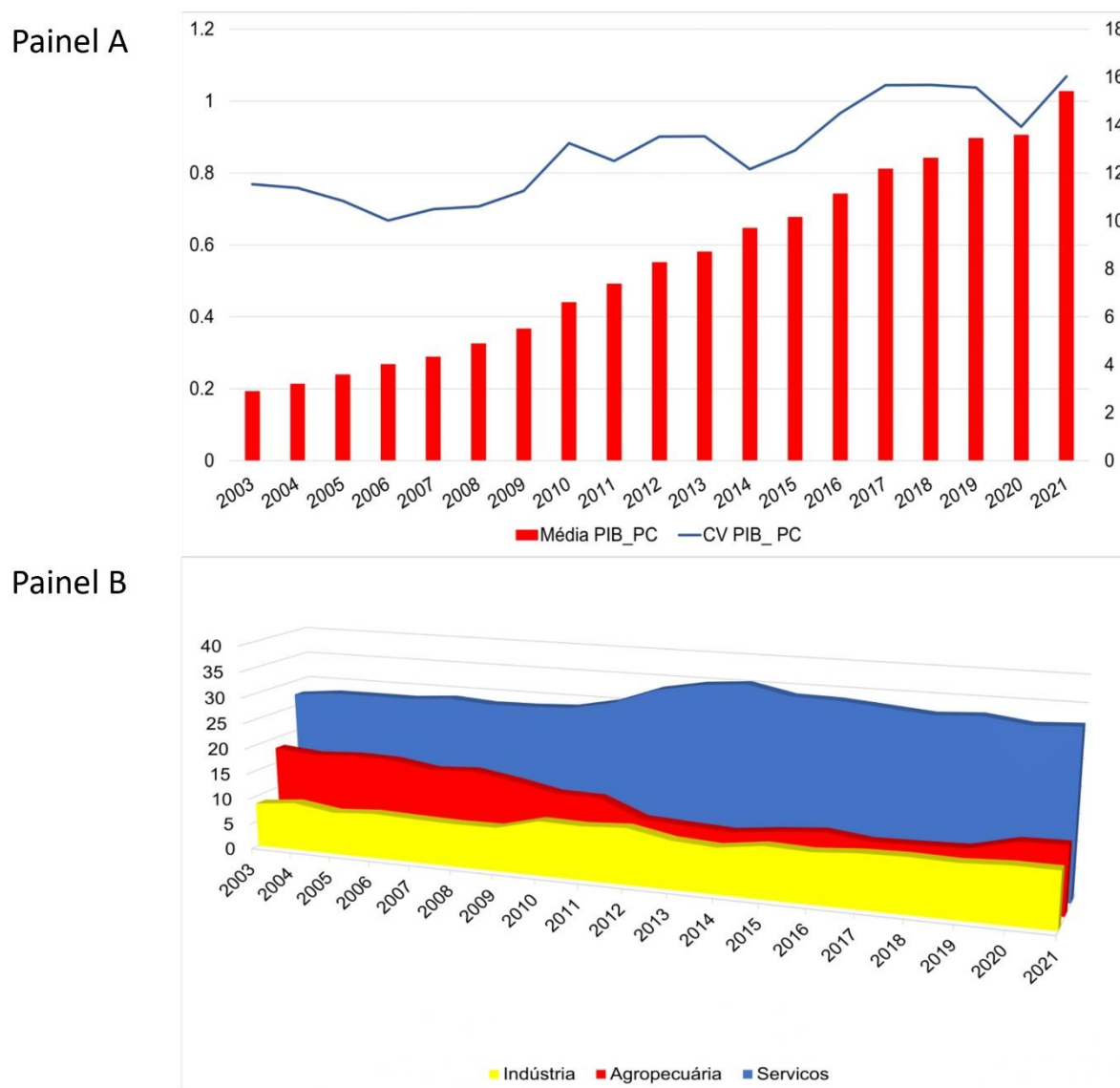
4.2 Estatísticas descritivas

Inicialmente, é apresentado uma análise descritiva das variáveis para compreender os padrões de desenvolvimento regional e suas interações com aspectos institucionais, produtivos e climáticos no estado de Pernambuco entre os anos de 2003 e 2021, com o objetivo de antecipar possíveis relações endógenas. Em seguida, são discutidos os resultados dos Testes de Causalidade de Granger, das Funções de Impulso-Resposta ortogonalizadas (IRFs) e Decomposição da Variância do Erro de previsão (FEVD), permitindo mapear os efeitos dinâmicos de choques climáticos e institucionais sobre a trajetória do desenvolvimento econômico regional.

A Figura 1 apresenta os painéis A e B com evolução do PIB per capita e a participação da produção setorial dos municípios de Pernambuco, no período de 2003 à 2021. No Painel A, é possível ver um aumento da desigualdade entre os municípios, especialmente a partir de 2016, indicado pelo aumento expressivo do coeficiente de variação. O Painel B, exibe uma queda contínua da participação da agropecuária e da indústria na produção setorial do estado,

perdendo espaço para o setor de serviços. Essa mudança estrutural, típica de economias periféricas, representa uma adaptação à escassez de investimentos produtivos e à baixa competitividade industrial. A perda de relevância da agropecuária, mesmo em uma região com vocação rural, pode estar associada a adaptação pressionada pelos eventos climáticos extremos.

Figura 1- Evolução dos valores médios do PIB per capita e a participação setorial.

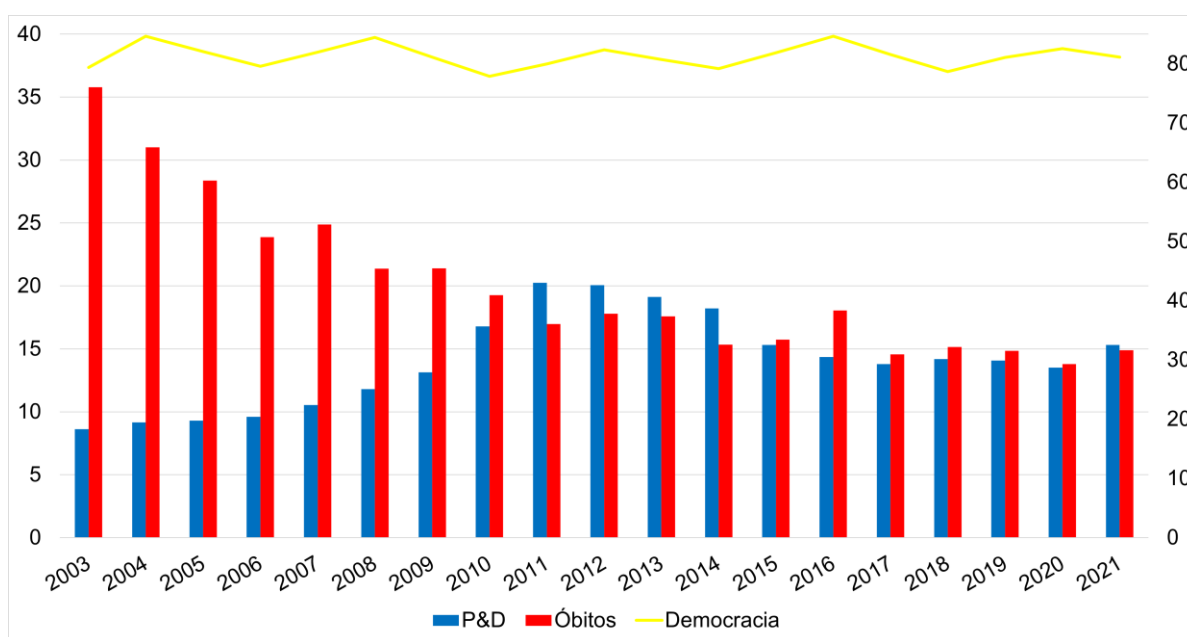


Fonte: elaboração própria.

Na Figura 2 a vulnerabilidade institucional e tecnológica é representada pelas variáveis de mortalidade infantil (óbitos evitáveis), democracia (comparecimento às urnas em relação ao eleitorado) e investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D). A redução significativa dos óbitos evitáveis até 2009 sinaliza avanços pontuais na oferta de serviços públicos básicos, mas

essa melhoria estagnou a partir de 2010. A proxy de P&D mostra crescimento até 2013, mas não sustenta uma tendência consistente de fortalecimento tecnológico no estado. O índice de democracia se mantém estável, indicando ausência de grandes oscilações no engajamento eleitoral, o que pode refletir estabilidade institucional. A combinação desses indicadores evidencia que os ganhos institucionais ocorreram com limitações, sem capacidade de gerar mudanças estruturais.

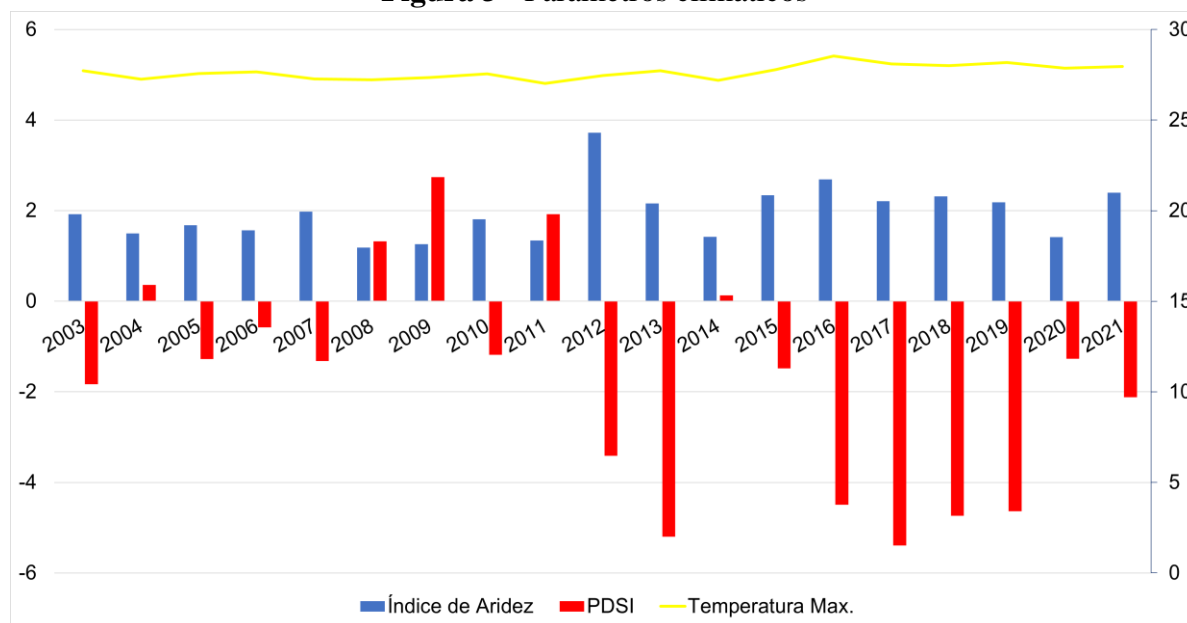
Figura 2 - Parâmetros tecnológicos e Institucionais.



Fonte: elaboração própria.

A Figura 3 sintetiza os principais indicadores climáticos: o Índice de Aridez, o Índice de Severidade da Seca (PDSI) e a Temperatura Máxima. Os resultados apontam uma intensificação dos eventos extremos, com secas severas recorrentes, refletida pelo aumento da Severidade de Seca (PDSI) e da Temperatura Máxima. Os anos com maior severidade de seca foram também aqueles com maior aridez. O que significa dizer que as secas recorrentes influenciam o nível de aridez do estado. Esses padrões climáticos contribuem diretamente a vulnerabilidade climática e limitam a capacidade de resposta da economia local, ampliando as barreiras ao desenvolvimento.

Figura 3 - Parâmetros climáticos



Fonte: elaboração própria.

Esses achados estão em consonância com Cunha; Braga (2022), que ressalta o aumento contínuo da temperatura média no Semiárido, com destaque para o crescimento do número de dias muito quentes e a intensificação das ondas de calor, fatores que prejudicam o balanço hídrico, elevam a evapotranspiração e agravam a aridez da região, tornando a agricultura de sequeiro cada vez mais vulnerável e comprometendo o desenvolvimento socioeconômico.

Segundo Cunha; Braga (2022), embora as altas temperaturas e a escassez hídrica já sejam características naturais do Semiárido, os resultados observados apontam para uma intensificação desses fenômenos, que reverbera as mudanças climáticas em curso. A elevação acentuada da temperatura, combinada ao aumento da frequência e severidade das secas, indica que os impactos climáticos atingirão de forma mais agressiva a região semiárida, ampliando seus níveis de vulnerabilidade e aprofundando os desafios socioambientais já existentes.

4.3. Estimativas de endogeneidades e impactos na produção agregada

A Tabela 1 apresenta os resultados do teste de causalidade de Granger do impacto das condições climáticas na vulnerabilidade institucional. São encontradas evidências robustas de interdependência entre clima e instituições. A democracia é significativamente influenciada pelo Índice de Aridez (IA) e Severidade da Seca (PDSI), sugerindo que condições climáticas afetam o funcionamento institucional. Ainda assim, não foram encontradas evidências de que a Temperatura Máxima causa a democracia. No sentido inverso, a democracia exerce influência

significativa sobre as variáveis climáticas (IA, PDSI e a temperatura máxima), corroborando com a hipótese de que a qualidade institucional tem papel relevante na resiliência e mitigação das mudanças climáticas em curso.

Com relação a variável de óbitos evitáveis, não foi encontrada causalidade estatisticamente significativa a partir do Índice de Aridez, Temperatura Máxima e PDSI. As evidências sobre mortalidade infantil se mostraram insuficientes para uma conclusão.

Tabela 1: Causalidade de Granger ($p < 0,05$) para Pernambuco.

Variável dependente ↓ Variável testada →	Democracia	Óbitos	IA	PDSI	Temperatura Max.
Democracia	-	Sim	Sim	Sim	Não
Óbitos	Não	-	Não	Não	Não
IA	Sim	Não	-	Sim	Sim
PDSI	Sim	Sim	Sim	-	Sim
Temperatura Max.	Sim	Não	Sim	Sim	-

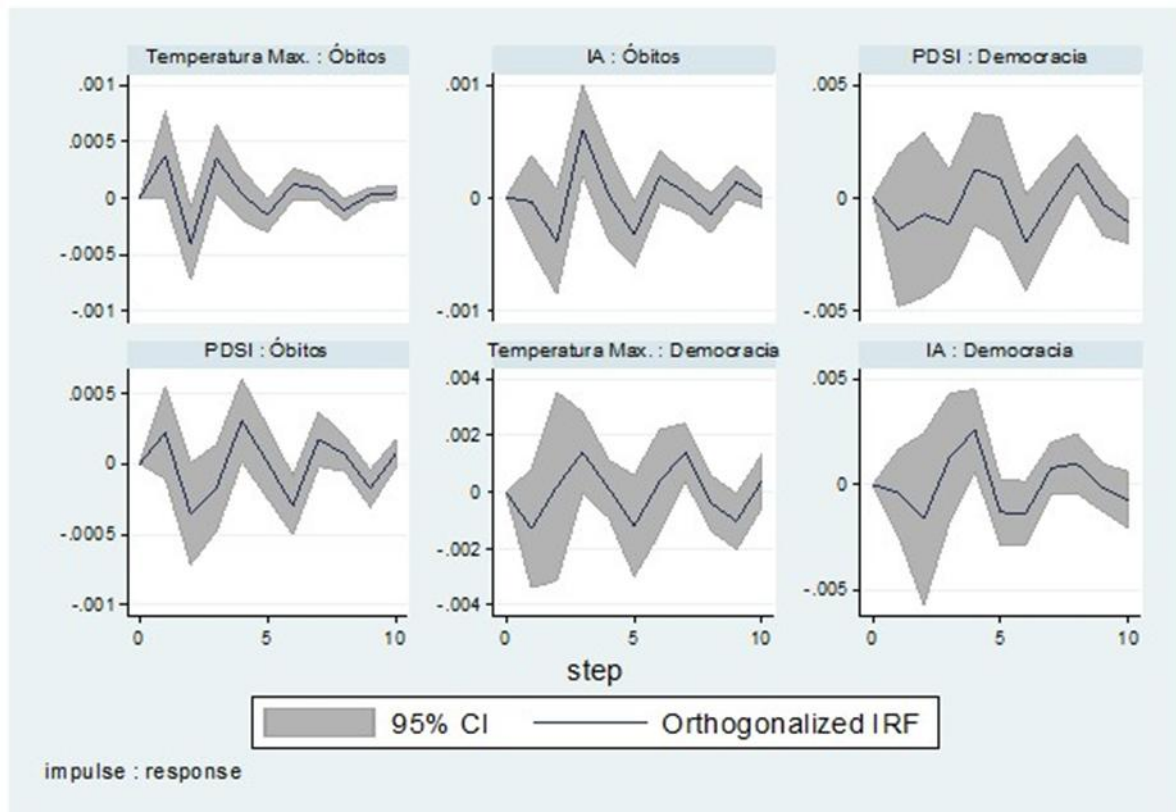
Fonte: elaboração própria.

A função de impulso resposta demonstra que um choque positivo das variáveis climáticas sobre a vulnerabilidade institucional geraria efeitos iniciais negativos, com um aumento na taxa de mortalidade infantil e uma queda na taxa de democracia, como apresentado na Figura 2. Observa-se que choques positivo na Temperatura Máxima provocam uma resposta inicial positiva na variável de óbitos evitáveis, embora essa resposta se dissipe rapidamente e permaneça com efeitos cíclicos. Choques no Índice de Aridez (IA) geram um aumento mais consistente na mortalidade infantil, sugerindo que a intensificação da aridez pode agravar vulnerabilidade institucional.

Em relação à variável democracia, os choques climáticos também produzem efeitos relevantes. Um aumento abrupto na Temperatura Máxima provoca uma queda significativa e imediata nos níveis de democracia, com efeitos negativos que persistem por alguns períodos, o que pode ser interpretado como indício de que eventos climáticos extremos comprometem a estabilidade institucional. De forma semelhante, choques positivos no Índice de Aridez produzem uma resposta negativa inicial sobre a democracia, estatisticamente significativa,

reforçando a hipótese de que condições ambientais adversas impactam negativamente a governança local. Já os choques no PDSI apresentam respostas visivelmente oscilantes tanto para óbitos quanto para democracia.

Figura 4 - Impulso Resposta



Fonte: elaboração própria.

A análise de decomposição de variância (Tabela 2), demonstra que os efeitos da vulnerabilidade climática sobre o desempenho institucional têm uma relação fraca, porém com influência crescente do Índice de Aridez e PDSI, com maior impacto sob a democracia, que é fortemente autoexplicativa por si própria. com relação aos óbitos evitáveis, a maior parte de sua variância é explicada por sua própria inércia (98%). Os parâmetros institucionais vão sentir o choque a partir do segundo ano, se estabilizando após o sétimo e oitavo período.

As variáveis climáticas são relativamente mais interdependentes, em um processo menos autoexplicativo, sentem o choque logo no primeiro ano.

Tabela 2: Decomposição da variância (PVAR)

Variável Resposta	Ano do Choque	Ano da Estabilidade	Observações principais
Democracia	Ano 2	Ano 7–8	Autoexplicada (> 96%), mas com influência crescente de IA e PDSI.
Óbitos	Ano 2	Ano 8–9	Quase totalmente autoexplicada. Influência pequena e lenta de PDSI, IA e Temperatura Max.
IA	Ano 1	Ano 8–9	Autoexplicada (> 80%), com influência de PDSI.
PDSI	Ano 1	Ano 7–8	Influência mútua e expressiva AI.
Temperatura Max.	Ano 1	Ano 7-8	Influência mútua e expressiva de PDSI e IA. Processo menos autoexplicativo.

Fonte: elaboração própria.

Em contraste com as expectativas iniciais, sobre a hipótese de que a vulnerabilidade institucional exerce influência causal sobre a produção agregada e a inovação tecnológica no estado de Pernambuco, os resultados do modelo PVAR, indicam que essa relação não se sustenta empiricamente (Tabela 3). Os desequilíbrios institucionais, representados pelas variáveis de democracia e mortalidade infantil, não causam Granger o crescimento do PIB per capita e os investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), o que leva à rejeição da hipótese de causalidade entre essas dimensões. A estimação PVAR indica apenas uma correlação estatisticamente significativa ($p < 0,005$) entre mortalidade infantil, democracia e o PIB per capita. A inovação tecnológica (P&D) não apresentou relações de causalidade, reforçando sua natureza exógena no modelo.

Esse resultado pode indicar a existência de uma lacuna entre os esforços tecnológicos realizados e a realidade climática dos municípios, como sugerem Acquah *et al*, (2023) ao destacarem que diferentes tipos de instituições produzem efeitos distintos sobre o crescimento econômico. Em outras palavras, a simples presença de capital humano técnico não garante, por si só, o dinamismo inovador local, especialmente em regiões marcadas por vulnerabilidade institucional e descontinuidade nas políticas públicas.

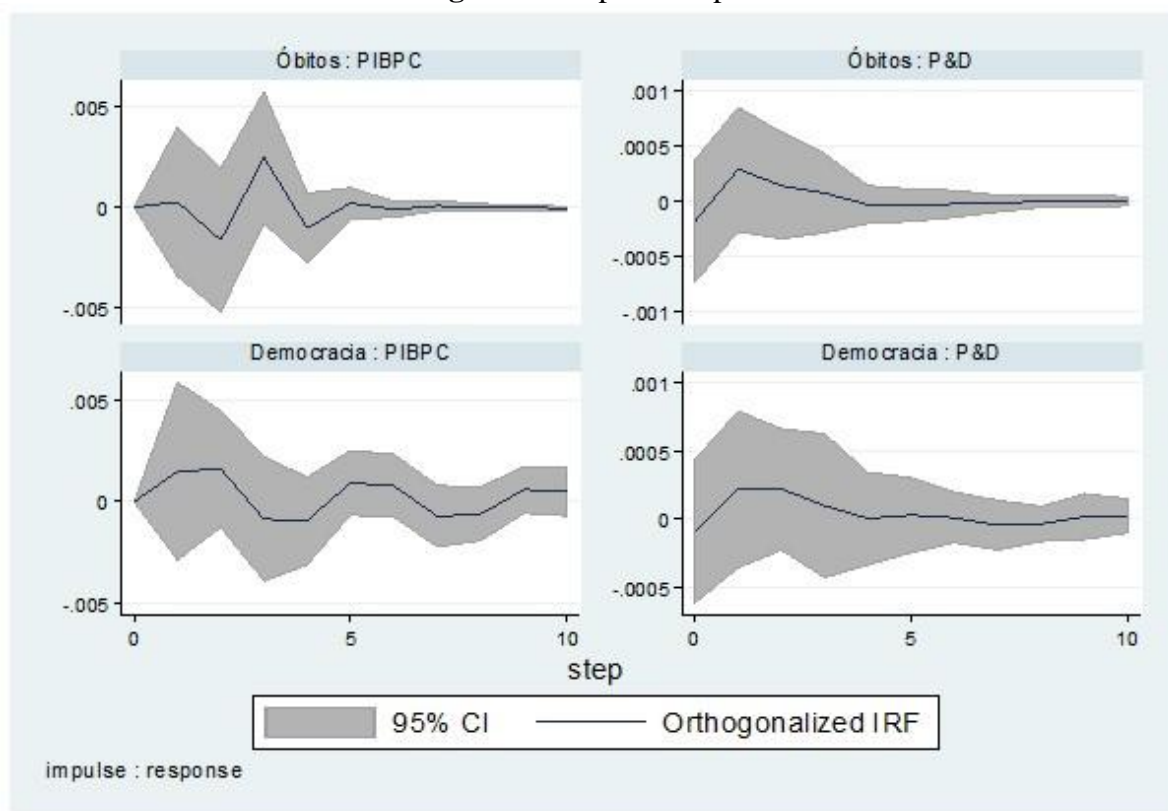
Tabela 3 - Casualidade de Granger ($p < 0,05$) para Pernambuco.

Variável dependente ↓ / Variável testada →	Democracia	Óbitos	P&D	PIBPC
Democracia	-	Sim	Não	Não
Óbitos	Não	-	Não	Sim
P&D	Não	Não	-	Não
PIBPC	Não	Não	Não	-

Fonte: elaboração própria.

As Funções de Impulso e Resposta (IRFs) permitem observar como choques inesperados na vulnerabilidade institucional impactam o crescimento agregado e a inovação tecnológica, como ilustrados na Figura 3. Nota-se que um choque positivo na variável óbitos gera um distúrbio no PIB per capita no curto prazo. Entretanto, esse impacto se mostra estatisticamente igual a zero, pois o intervalo de confiança inclui o zero em toda sua extensão. Esse resultado é confirmado pelo teste de causalidade de Granger, que indicou uma relação significativa entre óbitos e PIB per capita. Os IRFs são estatisticamente não significativos em relação a todas as variáveis.

Figura 5 - Impulso resposta.



Fonte: elaboração própria.

No que se refere à inovação tecnológica, um choque na vulnerabilidade institucional resulta em respostas pouco expressivas e estatisticamente não significativa em P&D. A trajetória das respostas possui um intervalo de confiança que incluem o zero durante todo o horizonte de previsão, o que reforça a interpretação de que a inovação tecnológica é uma variável exógena no modelo, não sendo diretamente influenciada pelas instabilidades institucionais.

Um choque positivo na democracia apresenta leve impacto sobre o PIB per capita nos primeiros períodos, embora sem significância estatística. Da mesma forma, sua influência sobre os investimentos em P&D é marginal. Esses resultados indicam que, embora haja correlações entre os parâmetros institucionais, tecnológicos e crescimento econômico, apenas parte dessas relações se traduz em efeitos dinâmicos relevantes. Os IRFs corroboram parcialmente os achados do teste de causalidade e reforçam a recusa da hipótese de que a vulnerabilidade institucional exerce influência direta sobre a produção agregada e inovação tecnológica no contexto analisado.

A decomposição da variância expressa os mesmos achados, as variáveis possuem forte inércia e baixa sensibilidade a choques externos, com uma predominância acentuada da dinâmica autorregressiva do modelo (Tabela 4). As variáveis respondem ao choque a partir do segundo período, com efeitos persistentes, se estabilizando entre o sétimo e oitavo ano.

Tabela 4: Decomposição da Variância (PVAR)

Variável Resposta ↓	Ano do Choque	Ano de Estabilidade	Observações
Democracia	Ano 2	6-7	Autoexplicada (> 99%). Efeitos externos insignificantes
Óbitos	Ano 1	8-9	Autoexplicada (> 98%), com influência fraca, porém crescente do PIB per capita.
P&D	Ano 2	7-8	Autoexplicada (> 97%), com influência fraca do PIB per capita.
PIB per capita	Ano 2	8-9	Autoexplicada (> 99%). Efeitos externos insignificantes

Fonte: elaboração própria.

Os resultados obtidos dialogam com a literatura sobre desenvolvimento regional, que aponta a importância das instituições como mediadoras dos efeitos adversos do clima. No contexto do semiárido de Pernambuco, isso se torna ainda mais evidente, dado o histórico de negligência institucional e a frequência de eventos climáticos extremos (Obermaier; Rosa, 2013).

4.4. Estimativas de endogeneidades e impactos na produção setorial

Quando analisamos o modelo que responde ao comportamento da produção setorial, encontramos maior abrangência da endogeneidade entre o clima, instituições e o desenvolvimento econômico no Estado de Pernambuco, como apresentado pelo teste de causalidade de Granger na Tabela 5. O desempenho dos setores da agropecuária, Indústria e Serviços é influenciado por condições climáticas, bem como pelas proxies institucionais. No entanto, a Inovação Tecnológica (P&D) não apresentou relações significativas de causalidade com nenhuma das demais variáveis do modelo.

O setor agropecuário mostrou-se particularmente sensível às influências externas, sendo significativamente afetado pelas variações nos setores industrial e de serviços, por mudanças nas condições institucionais e climáticas. A Indústria apresentou causalidade principalmente em relação as condições climáticas e taxa de óbitos evitáveis. O setor de serviços demonstrou forte interdependência com os demais setores e com as condições institucionais e climáticas, sendo significativamente influenciado pela indústria, taxa de democracia e a vulnerabilidade climática. A abrangência dessa causalidade evidencia o papel central do setor de serviços na articulação das demais atividades econômicas, ao mesmo tempo em que expõe a vulnerabilidade estrutural da agropecuária diante das variações econômicas e das condições climáticas adversas.

As condições climáticas tem forte relação de interdependência, com os setores econômicos e institucionais, tanto causa quanto exercem influência dinâmica. A vulnerabilidade institucional apresenta causalidade tanto nos setores econômicos, quanto nos desequilíbrios climáticos.

Tabela 5: Casualidade de Granger ($p < 0,05$) para Pernambuco.

Variável dependente ↓ Variável testada →	Democracia	Óbitos	IA	PDSI	Temperatura Max.	P&D	Serviço	Indústria	Agropecuária
Democracia	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Óbitos	Não	-	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não
IA	Sim	Não	-	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
PDSI	Sim	Sim	Sim	-	Sim	Não	Sim	Sim	Não
Temperatura Max.	Sim	Não	Sim	Sim	-	Não	Sim	Não	Sim
P&D	Não	Não	Não	Não	Não	-	Não	Não	Não
Serviços	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não	-	Sim	Não
Indústria	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	-	Não
Agropecuária	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	-

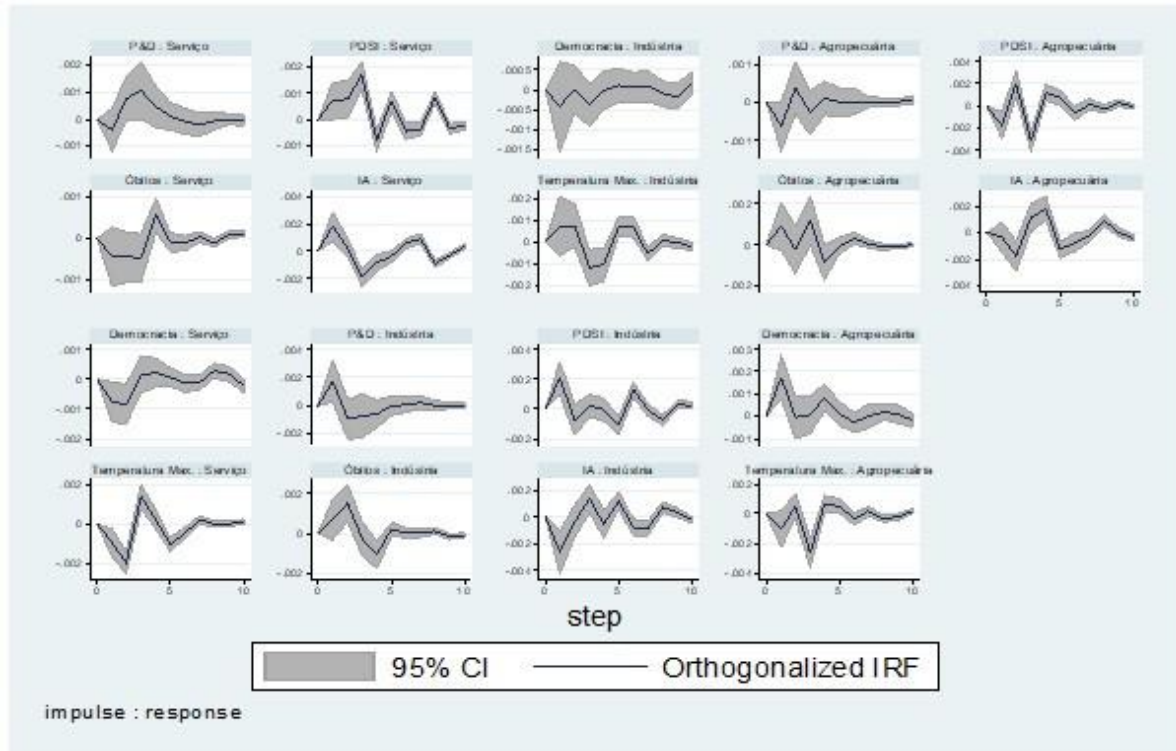
Fonte: Elaboração própria.

A análise das Funções de Impulso e Resposta exposto na Figura 6, permitem observar como choques exógenos podem influenciar a dinâmica da produção nos setores de serviços, indústria e agropecuária. De modo geral, os resultados apontam que choques positivos em P&D geram efeitos positivos e significativos, principalmente nos setores de serviços e indústria, com respostas rápidas e sustentadas no curto prazo. Isso sugere que esses setores apresentam maior capacidade de absorção tecnológica, enquanto a agropecuária reage de forma neutra ou levemente negativa, o que pode refletir barreiras estruturais à incorporação de inovações tecnológicas nesse setor.

Em relação às condições climáticas, os choques positivos no Índice de Aridez (IA), Severidade da Seca (PDSI) e Temperatura Máxima implicam respostas expressivas na produção setorial (Figura 6). A agropecuária demonstra maior sensibilidade a esses choques, respondendo negativamente à seca, o que é coerente com sua maior exposição ao risco climático. Já o aumento da Temperatura Máxima se destaca com efeitos negativos significativos sobre a produção, especialmente na indústria e na agropecuária, reforçando o papel do clima como fator de vulnerabilidade econômica para esses setores. As respostas positivas ao Índice de Aridez do setor de serviços, e a partir do segundo ano para indústria e agropecuária, indicando possível resiliência climática. O que confirma que as características de semiaridez dos municípios pernambucanos não é um empecilho a produção.

No que se refere aos parâmetros institucionais, o choque positivo na taxa de democracia mostra um efeito positivo mais evidente na agropecuária, sugerindo que ganhos de qualidade institucional favorecem a atividade econômica. Uma diminuição no número de óbitos, entendido aqui como um indicativo de fragilidade institucional, impacta negativamente o setor de serviços e um aumento da produção industrial e agropecuária.

Figura 6: Impulso Resposta



Fonte: Elaboração própria.

Como esperado, a maior parte da variância do erro de previsão dos parâmetros expressos no modelo é atribuída a sua própria inércia. No entanto, flutuações em outras variáveis têm um poder explicativo notável. As variáveis institucionais são autoexplicativas, assim como P&D, e os setores da indústria e agropecuária, com pouca influência da vulnerabilidade climática. O setor de serviços apresenta-se menos autoexplicativo, com influência mútua e expressiva do setor agropecuário e da Indústria, com influência crescente das condições climáticas. A resposta ao choque na produção

Os choques nas variáveis climáticas apresentam efeitos imediatos logo no primeiro período, com estabilização apenas entre os anos 7 e 9, demonstrando que os impactos climáticos possuem natureza persistente. Observa-se uma interdependência entre os parâmetros climáticos, com influência crescente da produção setorial, principalmente do setor agropecuário que exerce influência sobre todas as variáveis climáticas (PDSI, Índice de Aridez e Temperatura Máxima). Esses resultados se traduzem na relação da emissão de carbono e do desmatamento, que causam as mudanças climáticas em curso (Zribi et al, 2024). Choques positivos na produção causam aumento da Temperatura Máxima, da Severidade de Seca e Índice de Aridez.

Tabela 6: Decomposição da Variância (PVAR)

Variável Resposta ↓	Ano do Choque	Ano de Estabilidade	Observações
Democracia	Ano 1	8-9	Autoexplicada (>91%), com pouca influência do IA, Temperatura Max. e do setor de Serviços.
Óbitos	Ano 1	4-5	Autoexplicada (>97%). Efeitos externos insignificantes.
P&D	Ano 2	4-5	Autoexplicada (>97%), com pouca influência da Indústria.
Indústria	Ano 2	6-7	Autoexplicada (>93%), com pouca influência do setor de Serviços e IA.
Agropecuária	Ano 2	6-7	Autoexplicada (>92%), com pouca influência de IA, PDSI e o setor de Serviços
Serviços	Ano 2	7-8	Influência mútua e expressiva do setor agropecuário e da Indústria. Processo menos autoexplicativo, influência pequena e crescente de PDSI, IA e Temperatura Max.
IA	Ano 1	8-9	Autoexplicada (> 70%), com influência de PDSI, Temperatura Max., do setor Agropecuário e Serviço.
PDSI	Ano 1	8-9	Influência mútua e expressiva AI, com pouca influência, porém crescente do setor Agropecuário e Serviço.
Temperatura Max.	Ano 1	7-8	Influência mútua e expressiva de PDSI e IA. com pouca influência do setor Agropecuário. Processo menos autoexplicativo (>28%).

Fonte: elaboração própria

Outro achado que corrobora com os interesses da pesquisa está na relação da vulnerabilidade institucional sob a influência da vulnerabilidade climática. A decomposição da variância demonstra que as variáveis institucionais sofrem influência crescente das condições climáticas, ao longo do tempo. Esse padrão reforça a tese de Sachs (2003) e Rodrik, Subramanian e Trebbi (2004), de que a geografia, apesar de não ser determinante isoladamente, exerce influência relevante por meio de seus efeitos indiretos sobre as instituições.

O padrão de retroalimentação identificado entre clima e instituições, com impactos sobre a produção setorial, sugere a existência de um sistema de desenvolvimento regional condicionado — choques climáticos comprometem a estabilidade institucional e essa instabilidade, por sua vez, fragiliza os canais de investimento e inovação, agravando a vulnerabilidade da estrutura produtiva. Essa dinâmica circular, se traduzem na incapacidade de regiões com baixa qualidade institucional gerarem os incentivos adequados à transformação produtiva (Nakabashi; Pereira, 2023). Como apontam North (1990) e Acemoglu; Johnson; Robinson (2012), são as instituições que moldam os incentivos, as respostas aos choques e o caminho do desenvolvimento.

6. CONCLUSÕES

Esta pesquisa se propõe a analisar os impactos das condições climáticas na qualidade das instituições e suas implicações na inovação tecnológica e na produção setorial do estado de Pernambuco. Para isso, buscou-se investigar a forma pela qual a vulnerabilidade climática molda os padrões de desenvolvimento local. Por meio da aplicação de modelos PVAR, foi possível analisar essas relações dinâmicas, as endogeneidades e as causalidades entre instituições, clima, tecnologia e desenvolvimento econômico.

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que as condições climáticas exercem influência significativa sobre a vulnerabilidade institucional dos municípios pernambucanos, especialmente por meio dos efeitos do estresse hídrico e da variabilidade térmica, o que corrobora a primeira hipótese da pesquisa. Foi possível constatar que o Índice de Aridez (IA) e o Índice de Severidade da Seca (PDSI) afetam negativamente a qualidade institucional, principalmente a variável democracia. Isso implica que contextos de maior escassez hídrica e

instabilidade ambiental, comprometem a governança local e reduzem a capacidade de resposta institucional, frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Por outro lado, ao testar a hipótese de que a vulnerabilidade institucional influencia diretamente a inovação tecnológica e a produção agregada, os resultados não foram estatisticamente significativos, o que leva à rejeição parcial da segunda hipótese. A variável de inovação tecnológica, representada pelos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), se mostrou exógena ao modelo, indicando que seus determinantes devem ser exógenos a dinâmica climática e institucional analisada. A produção agregada também não respondeu de forma robusta aos choques institucionais, embora tenha apresentado correlação com a variável de mortalidade infantil.

Contudo, ao desagregar a análise para os setores agropecuário, industrial e de serviços, observou-se uma maior abrangência da endogeneidade entre clima, instituições e desenvolvimento econômico. Os setores produtivos demonstraram diferentes intensidades de resposta às variáveis institucionais e climáticas, com destaque para o setor agropecuário, mais sensível aos choques ambientais. O setor de serviços, que apresentou forte interdependência com as demais dimensões do modelo. A indústria, por sua vez, mostrou-se mais resiliente, mas ainda vulnerável aos efeitos da Temperatura Máxima. O P&D apresentou efeitos positivos na indústria e nos serviços, porém sem causalidade, reforçando sua natureza autônoma.

A análise da decomposição da variância reforçou os resultados encontrados, revelando que a maior parte das variáveis possui uma forte dinâmica autoexplicativa, mas com influências crescentes e mútuas entre clima, instituições e setores produtivos. Um dos achados mais relevantes da pesquisa está na confirmação de que os padrões de vulnerabilidade institucional estão sendo moldados pelas condições climáticas adversas, configurando um sistema de retroalimentação que compromete o desenvolvimento regional no longo prazo.

Dessa forma, pode-se afirmar que o objetivo geral da pesquisa foi alcançado, bem como os objetivos específicos, com exceção da relação direta entre instituições e inovação tecnológica, que se mostrou estatisticamente fraca. Ainda assim, os resultados contribuem para a compreensão das dinâmicas territoriais do semiárido pernambucano, indicando que as barreiras ao desenvolvimento da região não se resumem à escassez de recursos naturais, mas envolvem um complexo conjunto de interações entre variáveis estruturais, institucionais e ambientais. A ausência de respostas significativas da variável tecnológica, frente a

vulnerabilidade institucional e climática também aponta para um possível descolamento entre inovação e realidade regional. Isso reforça a necessidade de políticas públicas mais integradas e adaptadas às especificidades locais.

Como limitação, destaca-se a proxy utilizada para medir inovação, que pode não capturar todos os esforços tecnológicos relevantes nos municípios. Para estudos futuros, como sugestão para melhorar a proxy de tecnologia recomenda-se a combinação da mão de obra em atividades intensivas em P&D com a importação de produtos de alta complexidade tecnológica.

REFERÊNCIAS

ABRIGO, M. R. M., & LOVE, I. Estimation of Panel Vector Autoregression in Stata. *The Stata Journal*, 16(3), 778-804, 2016.

ACEMOGLU, D.; JOHNSON, S.; ROBINSON, J. The colonial origins of comparative development: An empirical investigation: Reply. **The American Economic Review**, 102.6, p. 3.077-3.110. 2012.

ACEMOGLU, D.; JOHNSON, S.; ROBINSON, J. Chapter 6 Institutions as a Fundamental Cause of Long-Run Growth. Editor(s): Philippe Aghion, Steven N. Durlauf. **Handbook of Economic Growth, Elsevier**. Volume 1, Part A, 2005. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1574-0684\(05\)01006-3](https://doi.org/10.1016/S1574-0684(05)01006-3).

ACEMOGLU, D.; JOHNSON, S.; ROBINSON, J. The colonial origins of comparative development: An empirical investigation. **American economic review**, v. 91, n. 5, p. 1369-1401, 2001.

ACQUAH, Esther *et al.* Institutions and economic development: new Measurements and evidence. **Empirical Economics**, 2023.

AKAIKE, Hirotugu. Fitting autoregressive models for prediction. **In: Selected Papers of Hirotugu Akaike**. New York, NY: Springer New York, 1969. p. 131-135.

ALMEIDA, Sivanildo José de; ESPERIDIÃO, Fernanda; MOURA, Fábio Rodrigues de. The impact of institutions on economic growth: Evidence for advanced economies and Latin America and the Caribbean using a panel VAR approach. **International Economics**, Vol. 178, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2024.100480>.

ARAÚJO, Bruno César Pino Oliveira de; CAVALCANTE, Luiz Ricardo; ALVES, Patrick Franco. Variáveis proxy para os gastos empresariais em inovação com base no pessoal ocupado técnico-científico disponível na Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). 2009.

BLOMBERG, S.; BROCK, Gregory D. Hess; AKILA, Weerapana. Economic Conditions and Terrorism. **European Journal of Political Economy**, 22(2), pp. 463–478, 2006.

BREITUNG, J. The local power of some unit root tests for panel data. **Econometrics**, Vol. 15, p. 161-177, 2001. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0731-9053\(00\)15006-6](https://doi.org/10.1016/S0731-9053(00)15006-6).

CEPED – CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ENGENHARIA E DEFESA CIVIL. (2020). Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil: 1995-2019/Banco Mundial. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery. **Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil**. (Organized by Rafael Schadeck). 2. ed. Florianópolis: FAPEU.

CEVIK, Serhan; JALLES, João Tovar. Eye of the Storm: The Impact of Climate Shocks on Inflation and Growth. **International Monetary Fund**, 2023.

CHOI, In. Unit root tests for panel data. **Journal of International Money and Finance**, Vol. 20, n°. 2, p. 249-272, 2001. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0261-5606\(00\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0261-5606(00)00048-6).

CORRADINI, Carlo. Local institutional quality and economic growth: A panel-VAR analysis of Italian NUTS-3 regions, **Economics Letters**, Vol. 198, 2021.

COSTA, Lucas; SANT'ANNA, André Albuquerque; YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann. Barren lives: drought shocks and agricultural vulnerability in the Brazilian Semi-Arid. **Environment and Development Economics**, v. 28, n. 6, p. 603-623, 2023.

CUNHA, Dênis Antônio da; BRAGA, Marcelo José. Mudanças climáticas e convivência com o Semiárido brasileiro. Viçosa/MG, 2022.

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, 2014.

DÍAZ DAPENA, A. *et al.* Convergence in Brazil: New evidence using a multilevel approach. **Applied Economics**, 49(50), 5050-5062, 2017.

DICKEY, David A.; FULLER, Wayne A. Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root. **Econometrica**, vol. 49, n°. 4, pp. 1057-72, 1981. Doi: <https://doi.org/10.2307/1912517>.

EASTERLY, William; LEVINE, Ross. Tropics, germs, and crops: how endowments influence economic development. **Journal of Monetary Economics**, Vol. 50, p. 3-39, 2003.

ENGERMAN, Stanley L.; SOKOLOFF, Kenneth L. Factor endowments, inequality, and paths of development among new world economics. **NBER Working Paper Series**, 2002.

ENGLE, Robert F.; GRAN-GER, Clive WJ. Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. **Econometrica: journal of the Econometric Society**, p. 251-276, 1987.

HANNAN, Edward J.; QUINN, Barry G. The determination of the order of an autoregression. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 41, n. 2, p. 190-195, 1979.

IM, Kyung So; PESARAN, M. Hashem; SHIN, Yongcheol. Testing for unit roots in heterogeneous panels. **Journal of Econometrics**, Vol. 115, n° 1, p. 53-74, 2003. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00092-7).

JARDIM, A. M. D. R. F. Spatiotemporal climatic analysis in Pernambuco state, Northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, 223, 105733, 2021.

JOHANSEN, S. Statistical analysis of cointegration vectors. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 12, n. 2-3, p. 231-254, 1988. Doi: [https://doi.org/10.1016/0165-1889\(88\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3).

JOHANSEN, S. Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. **Econometrica: journal of the Econometric Society**, p. 1551-1580, 1991.

LEVIN, Andrew; LIN, Chien-Fu; CHU, Chia-Shang James. Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. **Journal of Econometrics**, Vol. 108, n°1, p. 1-24, 2002. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(01\)00098-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(01)00098-7)

LIMA, Sergiany da Silva; URRACA RUIZ, Ana. Clubes de convergência e drivers de catching-up dos municípios brasileiros 2000-2010. **Nova economia**, v. 30, p. 455-481, 2020.

LUCAS, Jr; Robert. E. On the mechanics of economic development. **Journal of Monetary Economics**, V 22, pp. 3-42. North-Holland, Feb., 1988.

MADDALA, G. S.; WU, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, Vol. 61, p. 631-652. Doi: <https://doi.org/10.1111/1468-0084.0610s1631>.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; SOARES, W. R.; TORRES, R. R., ALVES; L. M.; BARROS BRITO, S. S.; MAGALHAES, A. R. Increase risk of drought in the semiarid lands of Northeast Brazil due to regional warming above 4 C. **Climate change risks in Brazil**, 181-200, 2019.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, 129, 1189-1200, 2017.

MENEZES-FILHO, N. *et al.* Instituições e diferenças de renda entre os estados brasileiros: uma análise histórica. **Proceedings of the 34th Brazilian Economics Meeting, Brazilian Association of Graduate Programs in Economics**, Salvador, Brasil, 2006.

NAKABASHI, Luciano; PEREIRA, A. E. Factors of production, productivity, institutions, and development: Evidence from Brazil. **Review of Development Economics**, 27(2), 1034-1055, 2023.

NAKABASHI, Luciano. A importância da qualidade institucional no desenvolvimento das regiões brasileiras. **Revista Brasileira de Economia**, Vol.74, Nº 4, p. 465–493, 2020.

NAKABASHI, Luciano. Qualidade Institucional e Desenvolvimento Econômico: Uma Análise para as Regiões Brasileiras de acordo com a População Municipal. **Análise Econômica**, Vol. 40, Nº 83, p. 1-37. Porto Alegre, 2022. DOI: dx.doi.org/10.22456/2176-5456.98810

NAKABASHI, Luciano; PEREIRA, Ana Elisa Gonçalves; SACHSIDA, Adolfo. Institutions and growth: a developing country case study. **Journal of Economic Studies**, Vol. 40, Nº 5, p. 614-634, 2013. DOI 10.1108/JES-09-2011-0111.

NAWAZ, Saima. Growth effects of institutions: A disaggregated analysis. **Economic Modelling**, Vol. 45, p. 118-126, 2015.

NARITOMI J.; SOARES R.R.; ASSUNÇÃO J.J. Institutional Development and Colonial Heritage within Brazil. **The Journal of Economic History**, Vol. 72, Nº 2, p. 393-422. 2012. Doi:10.1017/S0022050712000071.

NORTH, Douglass C. Institutions and economic growth: An historical introduction. **World development**, v. 17, n. 9, p. 1319-1332, 1989.

NORTH, Douglass C. Institutions, institutional change and economic performance. **Cambridge University**, 1990.

OBERMAIER, M; ROSA, L. P. Mudança climáticas e adaptação no Brasil: uma análise crítica. **EcoDebate: Cidadania & Meio Ambiente**, 2013.

OLIVEIRA, V. H. Natural disasters and economic growth in Northeast Brazil: evidence from municipal economies of the Ceará State. **Environment and Development Economics**, 24(3), 271-293, 2019.

PEREIRA, Hugo Carcanholo Iasco; ROMERO, João P.; MEDEIROS, Victor. Kaldor-Verdoorn's law and institutions: evidence from Brazilian municipalities. **Cambridge Journal of Economics**, Vol. 45, p. 511–536, 2021. Doi:10.1093/cje/beaa057

RODRIG, Dani; SUBRAMANIAN, Arvind; TREBBI, Francesco. Institutions rule: the primacy of institutions over geography and integration in economic development. **Journal of economic growth**, v. 9, p. 131-165, 2004.

ROMER, Paul M. Endogenous technological change. **Journal of Political Economy**, 1990.

SACHS, Jeffrey D. Tropical Underdevelopment. **NBER Working Paper Series**, 2001.

SACHS, Jeffrey D. Institutions don't rule: direct effects of geography on per capita income. **NBER Working Paper Series**, 2003.

SCHETTINI, D.; AZZONI, C. R. Productive efficiency and the future of regional disparities in Brazil. **Nova Economia**, v.28 n.2 p.347-384, 2018.

SCHWARZ, Gideon. Estimating the dimension of a model. **The annals of statistics**, p. 461-464, 1978.

SILVA, T. A.; Ferreira, J.; Calijuri, M. L.; dos Santos, V. J. do Carmo Alves, S., & de Siqueira Castro, J. (2021). Efficiency of technologies to live with drought in agricultural development in Brazil's semi-arid regions. **Journal of Arid Environments**, 192, 104538.

SILVA, T. R. B. F.; SANTOS, C. A. C. D.; SILVA, D. J. F.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; BRITO, J. I. B. Climate indices-based analysis of rainfall spatiotemporal variability in Pernambuco State, Brazil. **Water**, 14(14), 2190, 2022.

SOLOW, Robert M. A contribution to the theory of economic growth. **The quarterly journal of economics**, V. 70, N° 1, pp.65-94. Fev., 1956.

SOLOW, Robert M. Technical change and the aggregate production function. **The review of Economics and Statistics**, V. 39, N° 3, pp. 312-320.1957.

TIRYAKI, Gisele F.; ANDRADE, Cláudia Sá M. **Econometria na prática**. Rio de Janeiro: Editora Alta Livros, 2017. E-book. pág.179. ISBN 9786555201703.

Zhao, Yubin; LIU, Shuguang. Effects of climate change on economic growth: A perspective of the heterogeneous climate regions in Africa. **Sustainability**, v. 15, n. 9, p. 7136, 2023.

ZRIBI, Wissal; BOUFATEH, Talel; LAHOUEL, Bechir Bem; UROM; Christian. Uncertainty shocks, investor sentiment and environmental performance: Novel evidence from a PVAR approach. **International Review of Financial Analysis**, Vol. 93, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2024.103196>.