

**Impactos das condições climáticas, institucionais e tecnológicas na produção setorial do
Semiárido do Brasil**

***Impacts of climatic, institutional, and technological conditions on sectoral production in
the Brazilian Semi-arid region***

Sergiany da Silva Lima 1

Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada
(UFRPE/UAST). Serra Talhada, PE. Brasil

Vanessa Geisiane da Silva Souza 2

Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil

Kleyton José da Silva Pereira de Siqueira 3

Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada
(UFRPE/UAST). Serra Talhada, PE. Brasil

Francisco José Alves de Castro 4

Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada
(UFRPE/UAST). Serra Talhada, PE. Brasil

Felipe Alves Reis 5

Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada
(UFRPE/UAST). Serra Talhada, PE. Brasil

GT7. Desenvolvimento rural, territorial e regional

Resumo: Esse estudo analisa a vulnerabilidade induzida por fatores climáticos, institucionais e tecnológicos sobre a produção setorial do Semiárido brasileiro. A principal hipótese é que a produção da agropecuária, serviços e indústria são afetadas pelas tecnologias, instituições e climas adversos, porém, com diferentes intensidades de respostas. Para isso foi empregada um Vetor Autorregressivo em Paineis (PVAR) com controle de efeito fixo, estimado por GMM. O agrupamento médio dos parâmetros climáticos, institucionais e tecnológicos entre o Semiárido e o resto do país, confirmam essas evidências, descrevendo o Semiárido como o mais vulnerável aos eventos extremos do clima, com maiores vulnerabilidades tecnológicas e institucionais. O modelo PVAR encontra poucas evidências de impactos heterogêneos na produção setorial, mas verifica a presença de efeitos do clima sobre as instituições, especialmente sobre a *proxy* de democracia. A análise de decomposição de variância demonstra que os efeitos sobre a produção setorial são fortemente autoexplicativos, porém com influência crescente dos parâmetros de democracia, instituições, clima e tecnologias. Por essa razão, as funções de impulso respostas exibem baixa sensibilidade de impacto sobre a produção setorial. Mesmo assim, os efeitos crescentes das instituições, clima e tecnologias ajudam a definir a trajetória de evolução setorial da região. Os maiores efeitos dos fatores de instituições e clima se dão no setor agropecuário, seguido pelo setor de serviços.

Palavras-Chave: Vetor Autorregressivo em Paineis; Vulnerabilidades econômicas; Crescimento Econômico.

Abstract: This study analyzes the vulnerability induced by climatic, institutional, and technological factors on the sectoral production of the Brazilian Semi-Arid region. The main hypothesis is that agricultural, service, and industrial production are affected by technologies, institutions, and adverse climates, but with different intensities of response. To this end, a Panel Vector Autoregressive (PVAR) model with fixed-effects control, estimated by GMM, was employed. The average clustering of climatic, institutional, and technological parameters between the Semi-Arid region and the rest of the country confirms these findings, describing the Semi-Arid region as the most vulnerable to extreme climate events, with greater technological and institutional vulnerabilities. The PVAR model finds little evidence of heterogeneous impacts on sectoral production, but verifies the presence of climate effects on institutions, especially on the proxy for democracy. Variance decomposition analysis demonstrates that the effects on sectoral production are strongly self-explanatory, but with increasing influence from the parameters of democracy, institutions, climate, and technologies. For this reason, the impulse response functions exhibit low sensitivity to impact on sectoral production. Even so, the growing effects of institutions, climate, and technologies help define the trajectory of sectoral evolution in the region. The greatest effects of institutional and climate factors are felt in the agricultural sector, followed by the service sector.

Keywords: Panel Vector Autoregression; Economic Vulnerabilities; Economic Growth.

1. Introdução

O Semiárido brasileiro, particularmente no Nordeste, tem sido historicamente marcado por um conjunto de desafios que limitam seu potencial de desenvolvimento econômico e social. Entre esses desafios, as adversidades climáticas, caracterizadas por longos períodos de estiagem, irregularidade das chuvas e elevada evapotranspiração, associadas à escassez de recursos naturais e à restrição hídrica, figuram como fatores amplamente reconhecidos pela literatura como barreiras estruturais ao progresso regional (Silva et al., 2022; Silva et al., 2021; Costa e Young, 2021; Jardim et al., 2021; Marengo et al., 2017; Marengo et al., 2019). Contudo, embora esses elementos ambientais sejam evidentes, um aspecto menos explorado e de importância crescente para a compreensão do atraso relativo da região diz respeito ao chamado “efeito institucional” induzido pelo clima.

Esse efeito pode ser entendido como o impacto indireto das condições climáticas adversas sobre a qualidade e a eficiência das instituições locais. Em contextos de vulnerabilidade ambiental persistente, há uma tendência de que políticas públicas se tornem excessivamente reativas e de curto prazo, voltadas para mitigar emergências climáticas imediatas, em detrimento de estratégias de desenvolvimento de longo prazo. Tal dinâmica compromete a alocação eficiente de investimentos, reduz a capacidade de planejamento e enfraquece a criação e difusão de tecnologias voltadas à convivência sustentável com a seca. Em outras palavras, as economias do Semiárido não são apenas prejudicadas pelas limitações naturais impostas pelo clima, mas também pela combinação de fatores típicos do subdesenvolvimento regional no Brasil, como baixa qualidade institucional, infraestrutura precária e limitada capacidade de inovação tecnológica.

O presente estudo se propõe a investigar de forma integrada a natureza da vulnerabilidade econômica do Semiárido brasileiro, considerando a interação entre fatores climáticos, institucionais e tecnológicos. Especificamente, busca-se estimar o impacto das condições ambientais adversas sobre a produção setorial do semiárido nacional. Para lidar com a complexidade e a simultaneidade dessas relações, adota-se a metodologia de Vetor Autorregressivo em Painel (PVAR), que permite captar tanto os efeitos diretos dos choques climáticos quanto a endogeneidade entre variáveis institucionais e crescimento econômico (Acemoglu; Johnson; Robinson, 2001; 2012).

O emprego dessa abordagem metodológica não apenas assegura maior robustez às inferências, mas também possibilita compreender como os efeitos do clima sobre as instituições repercutem, em cadeia, sobre o desempenho econômico. Essa estratégia se inspira em trabalhos

como o de Zhao e Liu (2023), que aplicaram PVAR para avaliar os efeitos climáticos na produção setorial de regiões africanas. No entanto, a presente pesquisa avança ao explorar, de forma inédita no contexto brasileiro, a relação endógena entre clima, qualidade institucional, inovação tecnológica e crescimento econômico no Semiárido. Assim, pretende-se contribuir para o debate sobre desenvolvimento regional e políticas públicas, oferecendo evidências que auxiliem na formulação de estratégias mais eficazes para romper o ciclo de vulnerabilidade e estimular um crescimento sustentável na região.

2. Revisão da Literatura

2.1. Crescimento econômico e instituições

A relação entre instituições e crescimento econômico tem se consolidado como um dos eixos centrais da literatura contemporânea do desenvolvimento. A partir das contribuições da Nova Economia Institucional, instituições passaram a ser compreendidas como o conjunto de regras formais e informais que estruturam os incentivos econômicos e moldam o comportamento dos agentes (North, 1990), influenciando diretamente o desempenho econômico de longo prazo (Osińska, 2025). Estudos pioneiros como os de North (1990; 1989) registram que instituições eficientes reduzem custos de transação, aumentam a previsibilidade das interações econômicas e criam incentivos para investimento e inovação.

Pesquisas como as de Hall e Jones (1999) sustentam a robustez dessas implicações ao demonstrarem que diferenças institucionais explicam grande parte das disparidades de renda entre países. Do mesmo modo, Rodrik, Subramanian e Trebbi (2004) evidenciam que instituições desempenham papel mais incisivo para o desenvolvimento do que fatores geográficos e integração comercial.

De forma semelhante, análises empíricas conduzidas por Acemoglu, Johnson e Robinson (2001; 2012) demonstram que instituições inclusivas, capazes de garantir direitos de propriedade, limitar a concentração de poder político e estimular a participação econômica, são determinantes fundamentais do crescimento sustentado. Paralelamente, Glaeser et al (2004) enfatizam que o desenvolvimento institucional está frequentemente associado à acumulação de capital humano e à capacidade do Estado de implementar políticas públicas eficazes.

Similarmente, estudos como de Glaeser (2004) apresenta uma relação simultânea: o próprio crescimento econômico pode favorecer melhorias institucionais. De acordo com 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.

2.2 Crescimento Econômico e inovação tecnológica

A análise do crescimento econômico moderno tem como marco inicial o modelo neoclássico de Robert Solow (1956), que formalizou a relação entre capital, trabalho e progresso tecnológico. No modelo de Solow, o crescimento de longo prazo é determinado por um fator tecnológico exógeno, responsável por explicar a parcela residual da expansão do produto.

Para Romer (1990) e Lucas (1988) o progresso tecnológico não deve ser tratado apenas como um fator externo ao sistema econômico, mas como resultado de investimentos em pesquisa, inovação e capital humano. Nesse contexto, o papel da tecnologia passou a ser progressivamente reinterpretado pela literatura econômica como um elemento central do processo de desenvolvimento (Lima; Urraca-Ruiz, 2019).

A difusão tecnológica e a capacidade de absorção são determinantes para o crescimento econômico sustentável. Países que adotam estratégias para estimular a inovação e a transferência de tecnologia tendem a se aproximar das economias avançadas. As evidências reforçam a importância de políticas públicas voltadas para a qualificação da mão de obra e a modernização produtiva (Lima; Urraca-Ruiz, 2019).

3. Metodologia

3.1 Modelo em painel do Vetor Autorregressivo (PVAR)

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 $I(1)$ (HAO, 2022). A estimação do PVAR requer ainda um teste de defasagem ótima para verificar os efeitos autorregressivos das relações endógenas. Os testes de defasagem ótima são realizados para a relação estimada, com base em alguns critérios de ajustes, onde os mais conhecidos são: Akaike (AIC), Schwarz (SC) e Hana-Quinn (HQ). Nesses termos, a equação do modelo PVAR, logo abaixo, deve ser estimada com defasagens $l=1, p$, do modelo com efeito fixo usando o estimador de Mínimos Momentos Generalizados (ABRIGO; LOVE, 2016).

$$y_{i,t} = \mu_i + \sum_{l=1}^p A_l y_{i,t-l} + \varepsilon_{i,t}$$

Em que o subscrito i corresponde aos municípios do Nordeste, enquanto o subscrito de t corresponde ao tempo da análise. Em termos matemáticos, $i = 1, \dots, N$ dos diferentes grupos de análises, com $t = 2002, \dots, 2023$. 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 regiões da economia nacional.

O tempo de análise consiste na disponibilidade do Produto Interno Bruto Municipal da série retropolada do IBGE. A robustez dos resultados está associada ao tamanho do banco de dados, por isso, esse trabalho reúne todas as informações confiáveis disponíveis, incluindo os dados públicos mais recentes da produção agregada municipal e dos demais vetores de clima, instituições e tecnologias.

3.2 Variáveis e fonte dos dados

O vetor de vulnerabilidades: Tecnológica, institucional e climática estão disponíveis em diferentes bases oficiais do Brasil. A tecnologia é dimensionada pela *proxy* de qualificação profissional de pessoas empregadas em atividades intensivas em pesquisa e desenvolvimento (P&D), como apresentada em Araújo, Cavalcante e Alves (2009). As *proxies* de tecnologias estão disponíveis na base de dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), que inclui os grupos ocupacionais do PoTec, sendo: engenheiros mecâtrônicos (CBO 202), engenheiros civis (CBO 214) e engenheiros agrônomos e de pesca (CBO 222).

A qualidade das instituições é mensurada a partir de variáveis de democracia e mortalidade infantil evitável. Entende-se que municípios pouco democráticos e com altos índices de mortalidade infantil revelam a qualidade e a eficiência dos investimentos locais. Esses parâmetros institucionais de escolhas participativas, mortes evitáveis pode sugerir o nível de desenvolvimento das instituições locais, de maneira semelhante aos argumentos apresentados nas discussões de North (1989) e Acemoglu; Johnson; Robinson (2001; 2012). Os dados institucionais de democracia e mortes evitáveis para menores de 5 anos estão disponíveis nas bases de dados do Tribunal Superior Eleitoral (TSE) e DATASUS.

As *proxies* do clima são extraídas do banco de dados TerraClimate. As condições climáticas foram estudadas a luz de informações relacionadas a oferta natural de água e temperatura: Severidade da Seca (PDSI), Aridez e temperaturas máximas.

Com exceção dos dados climáticos, os dados tecnológicos e institucionais serão controlados pelo tamanho da população de residentes dos municípios brasileiros. Para controlar a discrepância dos parâmetros climáticos em relação aos demais, é empregado o método de logaritmo normalizado. Esse mesmo método é empregado pela PNUD no cálculo do IDH. Esse tratamento evita que o índice geral seja viesado por uma das suas dimensões por razões de grandeza das variáveis (Pinto *et al.*, 2013).

O modelo vai usar ainda uma *proxy* de controle na forma de investimentos em bens de capital, dada pela média do valor adicionado a produção setorial ponderada pela renda do capital em cada setor. A taxa de investimento (sk_i) é determinada pela razão entre a *proxy* de investimento e a renda agregada (SIQUEIRA, 2019; Lima, de Paulo, Souza, 2020). Os dados sobre o valor adicionado da produção setorial estão disponíveis na base de dados do IBGE, e a participação da renda do capital setorial pode ser encontrado em Santos e Spolador (2018). A *proxy* da taxa de investimentos (sk_i), é uma razão da renda do capital setorial na produção agregada.

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
Tecnologia	Eng	Engenheiros (CBOs 202, 214 e 222)	2003-2022	Rais/MPE
Instituições	Morte	Óbitos por causas evitáveis para menores de 5 anos	2003-2022	DATASUS
	Eleição	Comparecimento ao primeiro turno das eleições para eleições prefeitos e presidentes, interpolado	2003-2022	Ipeadata
Clima	IA	Índice de Aridez	2003-2022	TerraClimate
	TMAX	Temperatura Máxima	2003-2022	TerraClimate
	PDSI	Índice de Severidade da Seca de Palmer	2003-2022	TerraClimate

Fonte: Elaboração própria.

4. Resultados

4.1 Características estatísticas

A análise empírica baseia-se na estimação de um Vetor Autorregressivo em Panel (PVAR) com controle de efeitos fixos, estimado por Mínimos Momentos Generalizados (MMG), conforme a abordagem de Abrigo e Love (2016). O modelo utiliza um conjunto reduzido, porém representativo, de variáveis endógenas, integrando condições climáticas, vulnerabilidades institucionais, inovação tecnológica e desempenho econômico setorial. Todas as variáveis foram transformadas por operador de primeira diferença, de modo a captar os

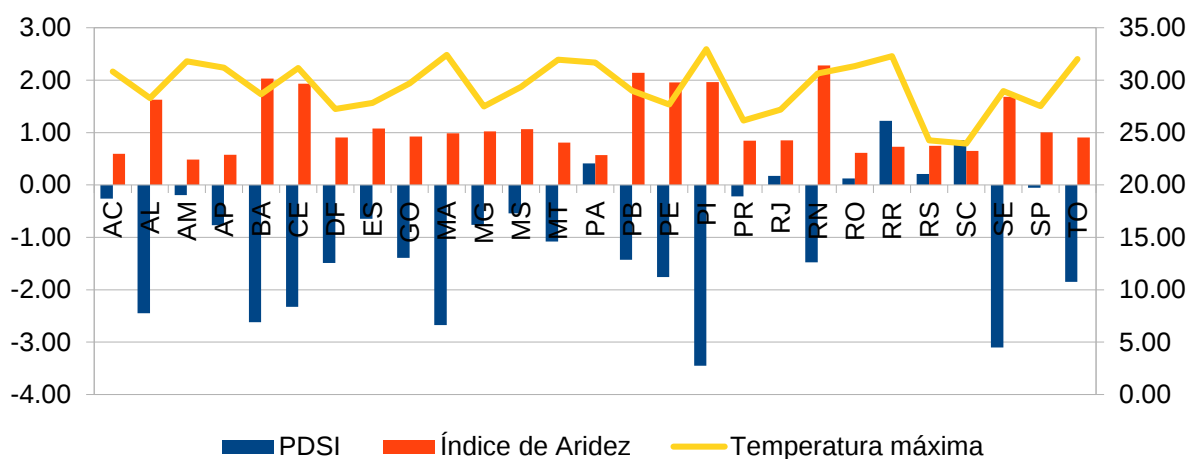
efeitos de curto prazo e garantir a estabilidade do sistema. Os testes de raiz unitária indicaram que as variáveis são integradas de ordem (1).

A especificação adotou três defasagens anuais, conforme os critérios de informação de Akaike (AIC), Bayesiano (BIC) e Hanna-Quinn (HQ). A estabilidade do modelo foi confirmada pelos testes de autovalores no Círculo Unitário, em conformidade com Abrigo e Love (2016). O modelo apresentara os Testes de Causalidade de Granger, das Funções de Impulso-Resposta ortogonalizadas (IRFs) e da Decomposição da Variância do Erro de Previsão (FEVD) assim como em Abrigo e Love (2016).

4.2 Estatísticas descritivas

A Figura 1 apresenta os parâmetros climáticos em todos os estados do Brasil, uma média para o período de 2003 à 2021. É visível que a temperatura máxima, o Índice de Aridez e o Índice de Severidade de Seca (PDSI) apresenta os piores indicadores nos municípios do Nordeste, onde se concentra maior parte do Semiárido nacional. Em contraste aos Estados do Sul do Brasil apresentam características menos intensas e mais desejáveis do ponto de vista de melhores condições para o desenvolvimento econômico sustentável.

Figura 1: Parâmetros Climáticos médios dos Estados brasileiro (2002-2023)



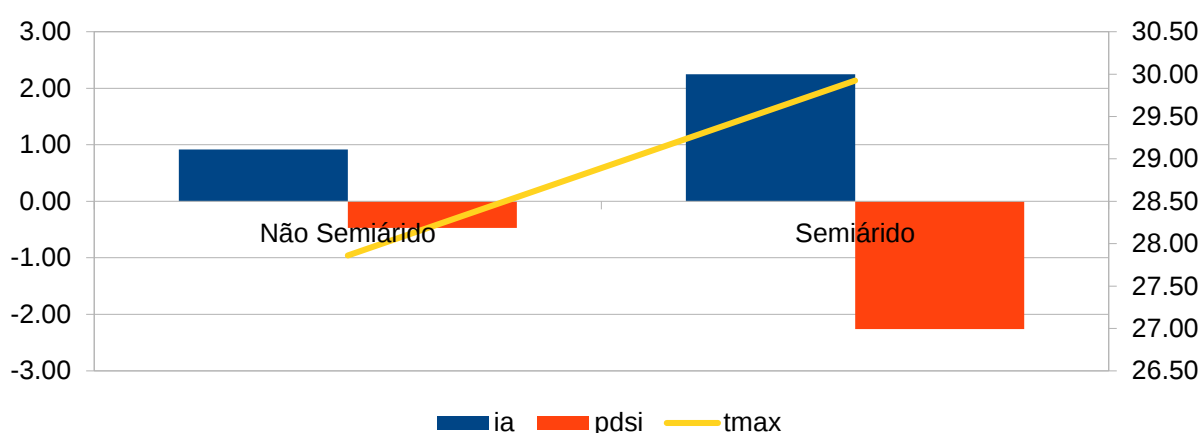
Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que o PDSI é negativo na maior parte dos estados do Nordeste e em algumas unidades do Sudeste e Centro-Oeste, indicando condições de seca persistente ou moderada, com destaque para casos mais críticos como Sergipe, Bahia e Ceará. O Índice de Aridez é mais elevado nos estados de clima Semiárido ou com baixa umidade relativa, sugerindo maior vulnerabilidade hídrica. Já a Temperatura Máxima apresenta picos mais elevados em estados

como Mato Grosso, Tocantins, Piauí e Rio Grande do Norte, ultrapassando 30 °C em média, o que pode agravar os efeitos da seca e da aridez.

A Figura 2, apresenta como as variáveis climáticas se comportam regionalmente. Fora do Semiárido, o Índice de Aridez (IA) apresenta valores positivos e moderados, sugerindo menor escassez hídrica, enquanto o índice de severidade de seca de Palmer (PDSI) indica secas presentes, mas de intensidade relativamente baixa. A temperatura máxima nessa região também se mantém em patamares inferiores aos observados no Semiárido.

Figura 2: Parâmetros Climáticos médios do semiárida e não semiárida do Brasil (2002-2023)

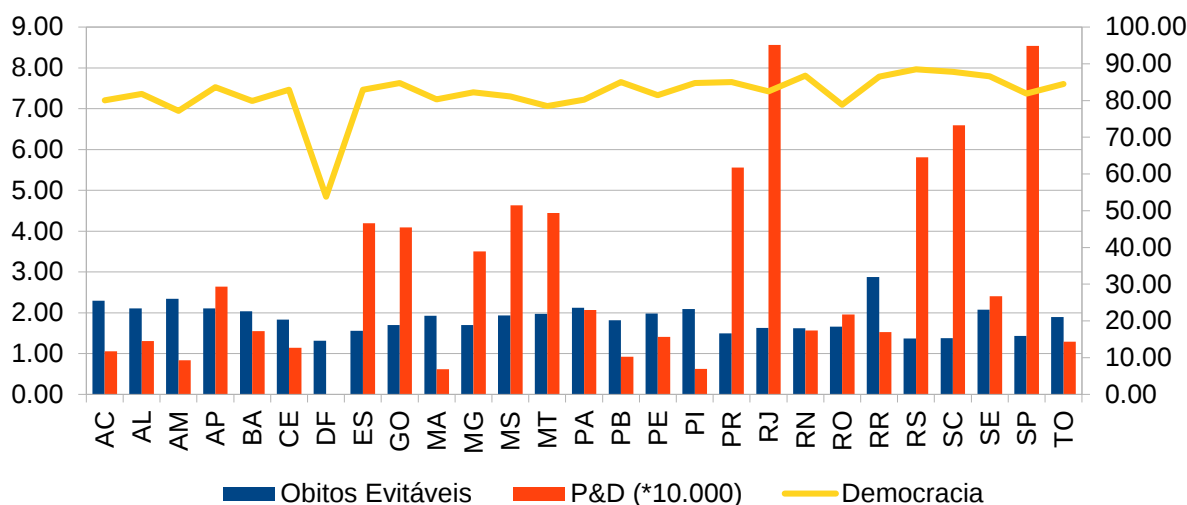


Fonte: Elaboração própria.

O Semiárido apresenta um Índice de Aridez elevado, caracterizando um cenário de maior aridez. O PDSI exibe valores mais negativos, evidenciando secas mais intensas e persistentes. A Temperatura máxima é superior, o que intensifica o estresse hídrico e potencializa os efeitos das condições climáticas adversas. Esses resultados confirmam a maior vulnerabilidade climática do Semiárido, marcada por temperaturas mais altas, maior aridez e secas mais severas em comparação ao não-Semiárido.

Na Figura 3, revela disparidades marcantes entre os estados brasileiros, evidenciando uma forte heterogeneidade regional institucional e infraestrutura tecnológica. A vulnerabilidade institucional e inovação 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). De forma geral, os óbitos evitáveis apresentam variação relativamente homogênea, com maiores taxas nos estados do Norte e Nordeste. Em contrapartida, o Sul e o Sudeste registram valores mais baixos, sugerindo maior eficiência nos serviços de saúde e nas políticas preventivas.

Figura 3: Parâmetros institucionais e tecnológico médios dos Estado brasileiros (2002-2023)



Fonte: Elaboração própria.

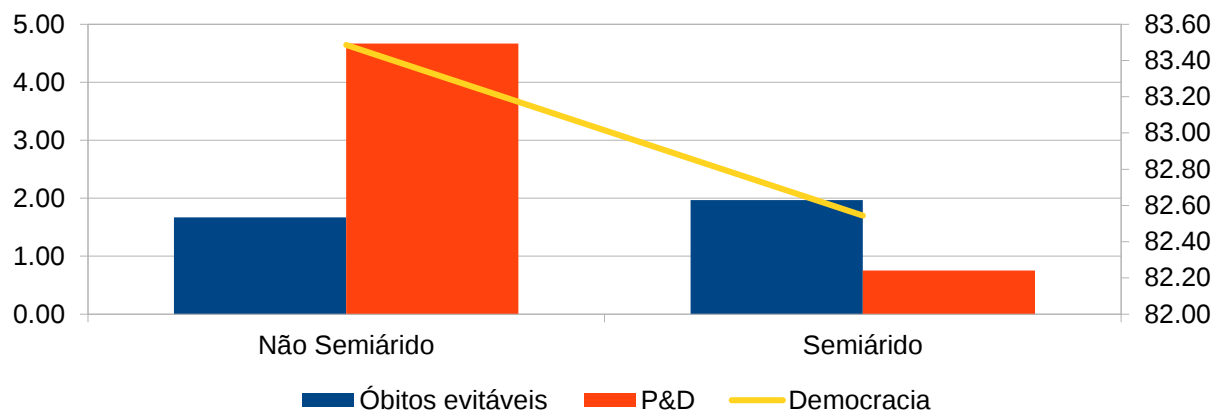
No que se refere ao investimento em P&D, a distribuição é fortemente concentrada nas regiões Sul e Sudeste, enquanto a maioria dos estados do Norte e Nordeste apresenta investimentos significativamente menores. Essa desigualdade reflete a concentração de polos industriais, universidades consolidadas e maior capacidade fiscal nessas regiões, reforçando a distância tecnológica entre as unidades federativas.

O índice de democracia mantém-se elevado e relativamente estável na maioria dos estados. No entanto, a relação entre democracia e os demais indicadores não é linear: estados com altos índices democráticos, como o Rio Grande do Norte, ainda registram mortalidade evitável elevada, enquanto outros, com níveis medianos de democracia, apresentam melhor resultado em saúde. Essa configuração sugere que a vulnerabilidade institucional e as dificuldades na redução da mortalidade evitável não se relacionam diretamente à qualidade democrática formal, mas sim à insuficiência de recursos tecnológicos e de inovação. As mortes evitáveis têm uma relação negativa com a inovação tecnológica. Os Estados com menores taxas de mortalidade infantil apresentam as maiores taxas de investimento em P&D.

No contexto nacional, a comparação reforça a persistência de desigualdades estruturais: a inovação e os investimentos em P&D estão fortemente concentrados no Sul e Sudeste, o que contribui para reduzir os óbitos evitáveis nessas regiões e ampliar a distância em relação aos estados do Nordeste e do Norte. Em contraste entre as regiões semiárida e não semiárida é evidente: o Semiárido apresenta indicadores piores de mortalidade infantil (Óbitos) e menor capacidade de investimentos em P&D, enquanto o não semiárido exibe maiores níveis de

inovação tecnológica, menor índices de óbitos evitáveis e melhores níveis democráticos, como exibido na Figura 4.

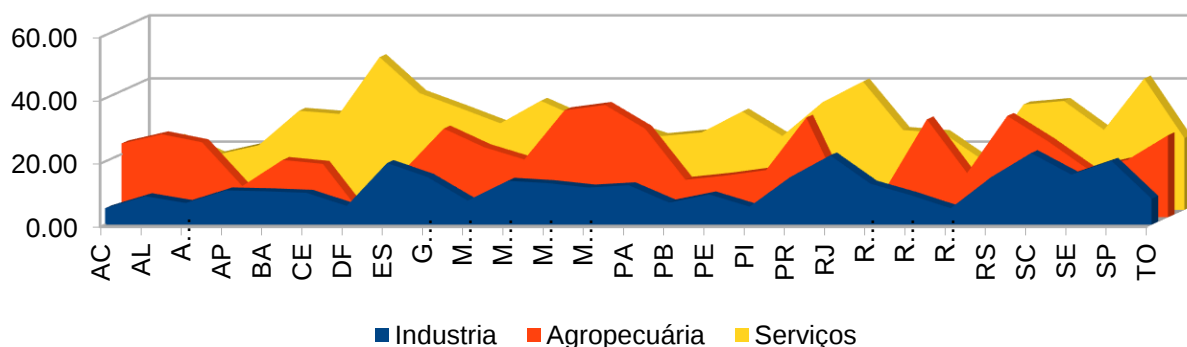
Figura 4: Parâmetros institucionais e tecnológicos médios da região semiárida e não semiárida do Brasil (2002-2023)



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 5 mostra a participação relativa da indústria, agropecuária e serviços no PIB dos estados brasileiros, evidenciando a forte heterogeneidade econômica do país. De forma geral, o setor de serviços predomina, com maior expressão no Distrito Federal, Rio de Janeiro e São Paulo, onde a concentração de atividades financeiras, comércio, administração pública e logística ultrapassa 50% do PIB. A agropecuária, por sua vez, apresenta maior representatividade em estados com base produtiva rural e menor diversificação industrial, como Mato Grosso, Tocantins, Rondônia e Acre, chegando a superar 30% da economia local. Já a indústria se destaca em Espírito Santo, Amazonas, São Paulo e Santa Catarina.

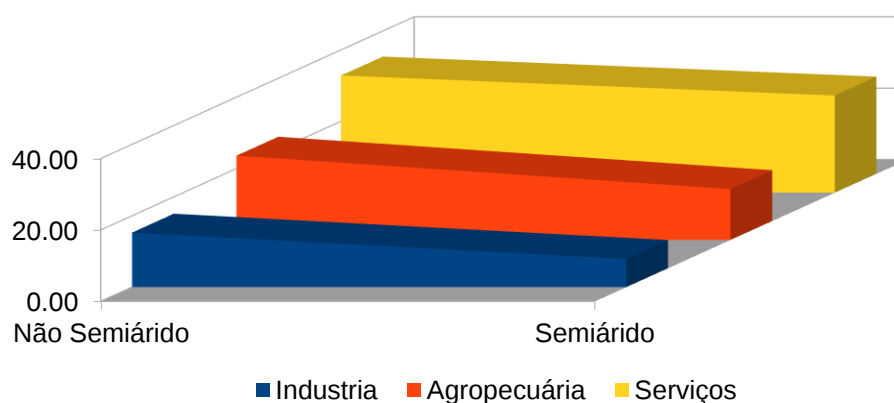
Figura 5: Participação média da produção setorial dos Estados brasileiro no PIB (2002-2023)



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 6 compara a composição setorial do PIB entre as regiões do Semiárido e não Semiárido do Brasil, destacando diferenças estruturais na base produtiva. Em ambos os recortes, o setor de serviços apresenta a maior participação, evidenciando seu papel central na economia regional. No Semiárido, a predominância dos serviços é mais expressiva, seguida pela agropecuária e, por último, pela indústria, que registra a menor contribuição. No não-Semiárido, embora os serviços também liderem, observa-se menor desequilíbrio entre os três setores, com indústria e agropecuária apresentando participação relativamente mais próxima.

Figura 6: Participação da produção setorial da região semiárida e não semiárida do Brasil



Fonte: Elaboração própria.

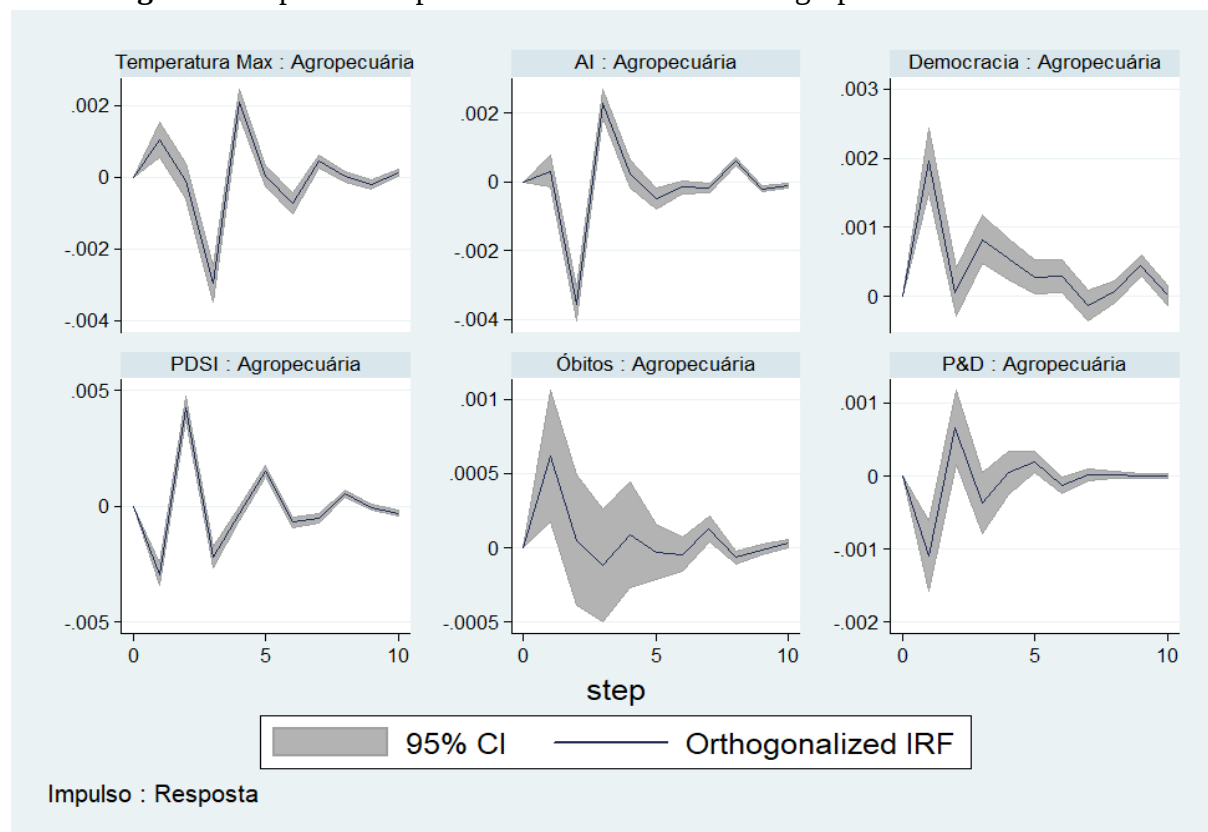
Embora o setor de serviços apresente maior participação relativa no Produto Interno Bruto brasileiro, a agropecuária permanece como atividade estruturante em diversas regiões do país, sobretudo naquelas com menor grau de industrialização. No Semiárido brasileiro, a atividade agropecuária constitui uma das principais bases da dinâmica econômica local. Entretanto, o desempenho produtivo do setor é condicionado por restrições climáticas estruturais, marcadas por elevados níveis de aridez, altas temperaturas e recorrência de secas, fatores que impõem limitações significativas à produtividade agrícola.

4.3.1 Impactos no setor agropecuário do Semiárido

Os principais impactos na produção agropecuária do Semiárido, estão relacionadas ao vetor de clima, decorrentes de choques em Temperatura máxima, Índice de Aridez (IA) e Severidades da seca (PDSI). Os choques de temperatura causam um efeito médio de 0,2%, que estabiliza em menos de 5 anos. Os parâmetros de mortalidade infantil evitável e investimentos em P&D não exibiram efeitos significativos, as funções de impulso e resposta desses

parâmetros exibiram intervalo de confiança em torno do zero da função. Esses resultados podem ser vistos na Figura 7.

Figura 7: Impulso e resposta dos determinantes do Agropecuária no Semiárido



Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE, DATASUS e IPEADATA

Assim como na função de impulso resposta, na casualidade de Granger os choques de óbitos eviráveis e de P&D não exibem impactos no setor agropecuário. Os impactos são restritos as condições climáticas: Temperatura Máxima, Índice de Aridez (IA) e a Severidade de seca (PDSI). A *proxy* de democracia exibe significância causal, porém com baixo impacto com base na função de impulso resposta. Os choques de óbitos e P&D exibem efeito causal Granger significativo a 5%, porém, com impacto restrito ao intervalo de confiança zero, da função de impulso e resposta. Os resultados de interdependência entre as variáveis climáticas, com implicações sobre as instituições, se sustentam para o Semiárido, especialmente em relação a democracia. Esses resultados podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1: Causalidade de Granger ($p < 0,05$) do setor agropecuário do Semiárido

Variável dependente ↓ Variável testada →	P&D	Democracia	Óbitos	IA	PDSI	Tem. Max	Agropecuário
Agropecuário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-
P&D	-	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não
Democracia	Não	-	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Óbitos	Não	Não	-	Não	($p = 0,083$)	Não	Sim
IA	Sim	Sim	($p = 0,092$)	-	Sim	Sim	Sim
PDSI	Sim	Sim	Não	Sim	-	Sim	Sim
Tem. Max	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	-	Sim

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE, DATASUS e IPEADATA.

De acordo com a Tabela 2, de decomposição de variância, o setor agropecuário do Semiárido sente os efeitos dos choques exógenos do vetor autorregressivo no segundo ano após o choque e os efeitos duram entre 6 e 7 anos, até alcançar novamente a estabilidade. O referido setor também se mostra quase completamente autoexplicado pela produção do setor. Cerca de 94% da variância da atividade da agropecuária é explicada pela própria produção do setor. Os outros 6%, é também explicado pelos parâmetros de clima e instituições.

Tabela 2: Decomposição de Variância do setor agropecuário no Semiárido

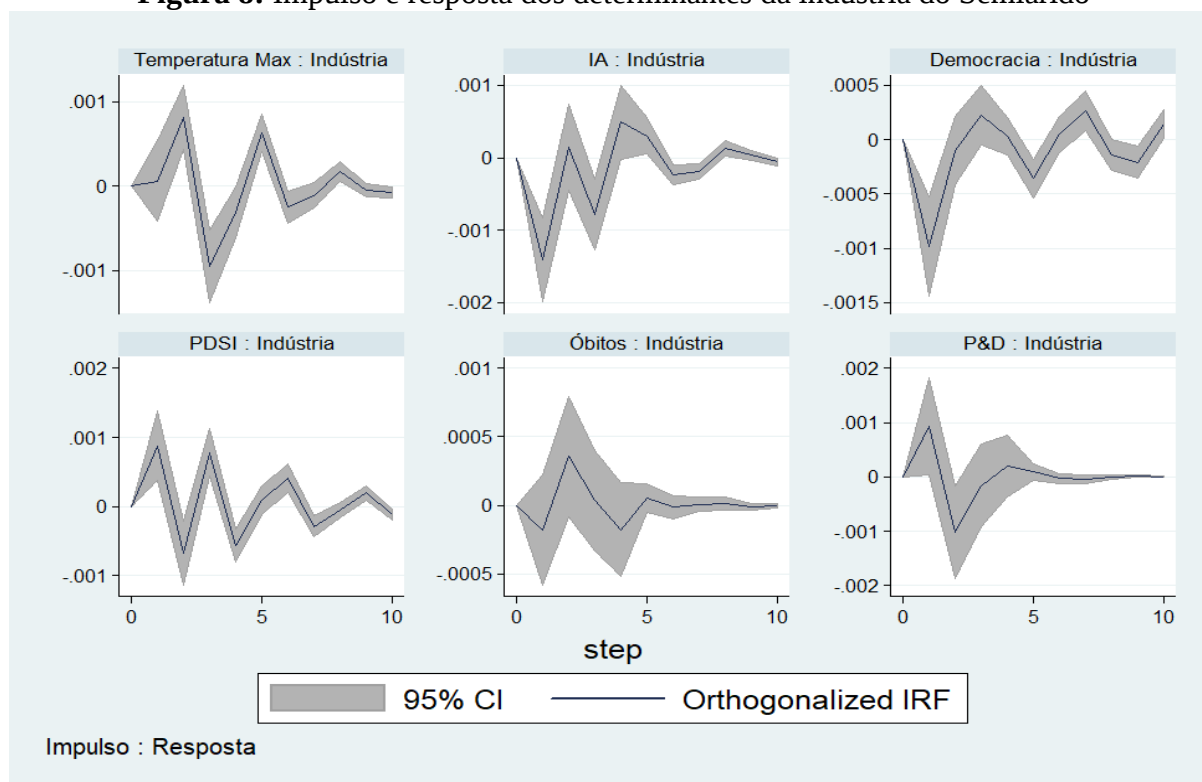
Variável Resposta	Ano do Choque	Ano da Estabilidade	Observações principais
Agropecuário	Ano 2	Ano 6–7	Autoexplicada (>94%). Pouca influência externa de Democracia, IA, PDSI.
P&D	Ano 2	Ano 5–6	Altamente autoexplicada (>99%). Impacto externo irrelevante.
Democracia	Ano 2	Ano 7–8	Fortemente autoexplicada, mas com influencia crescente de Óbitos, IA e PDSI.
Óbitos	Ano 2	Ano 6–7	Quase totalmente autoexplicada. Influência pequena e lenta do Agro e IA..
IA	Ano 1	Ano 6–7	Autoexplicada, mas com contribuições relevantes externas. Influência crescente de Agro, PDSI e Temp. Max.
PDSI	Ano 1	Ano 7–8	Influência externa relevante do IA, Agro e Temp. Max. Estabilização lenta.
Tem. Max	Ano 1	Ano 6–7	Influência mútua e expressiva do IA, PDSI e Agro. Processo menos autoexplicativo.

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE, DATASUS e IPEADATA.

4.3.2 Impactos no setor industrial do Semiárido

De forma semelhante, os impactos na produção industrial da região também se mostram associados aos eventos climáticos de: Temperatura máxima (Tmax), Aridez (IA) e Severidade da Seca (PDSI). Embora a baixa sensibilidades, os choques decorrentes do clima afetam a indústria com intensidade média de 0,1% estabilizando depois de 5 anos. As variáveis de instituições e P&D geram impactos quase que restritos ao intervalo de confiança zero. O impacto de democracia é pequeno e se dar exclusivamente no primeiro ano. Os impactos de Óbitos e P&D são nulos. Esses resultados podem ser vistos na Figura 8.

Figura 8: Impulso e resposta dos determinantes da indústria do Semiárido



Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE, DATASUS e IPEADATA

Entre os parâmetros de clima, somente Temperatura máxima e IA causam indústria. Nas instituições somente a democracia causa a indústria. Os investimentos em P&D também causam a indústria. Contudo, embora os efeitos causais do teste Granger, os impactos têm apresentado efeitos de curto prazo, principalmente, principalmente Óbitos e P&D. A democracia tem impacto significativo apenas no primeiro ano. Os demais resultados mostram uma relação significativa de interdependência entre as variáveis climáticas, com implicação sobre as instituições, especialmente sobre a *proxy* de democracia. Esses resultados podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3: Causalidade de Granger ($p < 0,05$) do setor industrial no Semiárido

Variável dependente ↓ Variável testada →	P&D	Democracia	Óbitos	IA	PDSI	Tem. Max	Indústria
Indústria	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	-
P&D	-	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não
Democracia	Não	-	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Óbitos	Não	Não	-	Não	Não	Não	Não
IA	($p = 0,051$)	Sim	($p = 0,054$)	-	Sim	Sim	Sim
PDSI	($p = 0,082$)	Sim	($p = 0,052$)	Sim	-	Sim	Sim
Tem. Max	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	-	Sim

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE, DATASUS e IPEADATA.

A Tabela 4, de decomposição de variância da indústria, se mostra semelhante aos resultados do setor agropecuário. Os efeitos dos choques exógenos do vetor autorregressivo são sentidos no segundo ano após o choque e os efeitos duram entre 7 e 8 anos. Cerca de 98% da variância da atividade é explicada pela própria atividade industrial. Os outros 2%, são explicados de maneira crescente pelos parâmetros de clima e instituições. Os parâmetros de clima são menos autoexplicados, dependendo em maior medida da variância dos demais fatores. Os parâmetros de instituições e tecnologia também se mostraram fortemente autoexplicado, em pelo menos 97%.

Tabela 4: Decomposição de Variância do setor industrial para o Semiárido

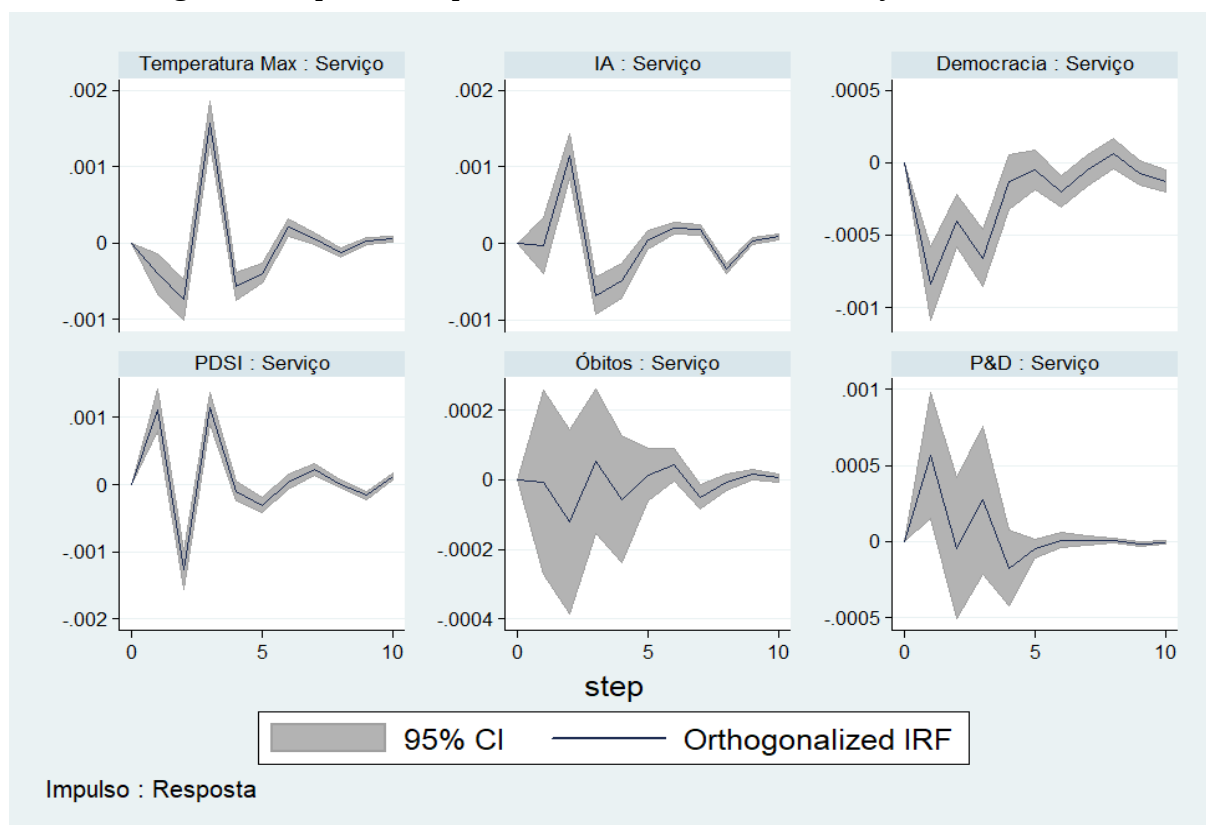
Variável Resposta	Ano do Choque	Ano da Estabilidade	Observações principais
Industria	Ano 2	Ano 7–8	Autoexplicada (>98%). Pouca influência externa, porém crescente de P&D, Democracia e IA.
P&D	Ano 1	Ano 4–5	Altamente autoexplicada (>97%). Impacto da indústria de mais de 2% e caindo.
Democracia	Ano 1	Ano 9–10	Fortemente autoexplicada (>96%), mas começa a ser influenciada por IA, PDSI e Temp. Max.
Óbitos	Ano 1	Ano 7–8	Quase totalmente autoexplicada (>99%). Influência insignificante de IA, PDSI e Temp. Max.
IA	Ano 1	Ano 6–7	Autoexplicada (>78%). Influência crescente de PDSI e Temp. Max.
PDSI	Ano 1	Ano 9–10	Autoexplicada (>50%). Fortemente influenciada de maneira crescente por IA e Temp. Max..
Temp. Max	Ano 1	Ano 8–9	Influência mútua e expressiva de várias variáveis. Processo menos autoexplicativo.

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE, DATASUS e IPEADATA.

4.3.3 Impactos no setor serviços do Semiárido

O clima novamente se mostra como um dos principais drivers de impacto nos Serviços do Semiárido, especialmente os choques decorrentes de Temperatura máxima, Aridez (IA) e Severidades da seca (PDSI). Os efeitos desses choques sobre a produção de serviços, possuem baixa intensidade, em torno de 0,2% para temperatura máxima, e estabilizam em torno de 7 anos. Os choques de democracia causam impacto em torno de 0,1% nos serviços da região. Os parâmetros de mortalidade infantil evitável e investimentos em P&D não exibiram efeitos significativos. As funções de impulso e resposta desses últimos parâmetros exibiram intervalo de confiança em torno do zero da função. Esses resultados podem ser vistos na Figura 9.

Figura 9: Impulso e resposta dos determinantes do Serviço no Semiárido



Fonte: Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE, DATASUS e IPEADATA

O setor de serviços do Semiárido é determinado, ou causado principalmente pelos parâmetros climáticos e institucionais. As *proxies* de Temperatura máxima, Índice de Aridez (IA) e Severidade de Seca (PDSI), assim como a *proxy* de democracia exibe significância causal, com impacto diferente de zero. Tanto a *proxy* de óbitos para instituições, quanto a *proxy* de P&D não exercem impactos no setor de serviços do Semiárido. Os demais resultados mostram que existe uma relação de interdependência entre as variáveis climáticas, com implicações sobre as instituições, especialmente sobre a *proxy* de democracia. Esses resultados podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5: Causalidade de Granger ($p < 0,05$) do setor de serviço do Semiárido

Variável dependente ↓ Variável testada →	P&D	Democracia	Óbitos	IA	PDSI	Tem. Max	Serviço
Serviço	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	-
P&D	-	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Democracia	Não	-	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Óbitos	Não	Não	-	Não	Não	Não	Não
IA	Não	Sim	Não	-	Sim	Sim	Sim
PDSI	Não	Sim	Não	Sim	-	Sim	Sim
Tem. Max	Não	Sim	Não	Sim	Sim	-	Sim

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE, DATASUS e IPEADATA.

A Tabela 6, de decomposição de variância dos serviços, os efeitos dos choques exógenos do vetor autorregressivo ocorrem no segundo ano após o choque e duram entre 7 e 8 anos. Algo próximo a 96% da variância da atividade é explicada pela própria atividade dos serviços. Os outros 4%, são explicados de maneira crescente pelos parâmetros de clima e instituições. Os demais parâmetros do vetor autorregressivo sentem o choque no primeiro ano, com estabilidade em tempos variados. Os parâmetros de clima são menos autoexplicados, dependendo em maior medida da variância dos demais fatores. Os parâmetros de democracia e P&D são pelo menos 96% autoexplicados.

Tabela 6: Decomposição de Variância do setor serviço para o Semiárido

Variável Resposta	Ano do Choque	Ano da Estabilidade	Observações principais
Serviços	Ano 2	Ano 7–8	Autoexplicada (>96%). Pouca influência externa, porém crescente de Democracia e PDSI.
P&D	Ano 1	Ano 7–8	Autoexplicada (>99%). Impacto dos serviços é baixo, mas crescente.
Democracia	Ano 1	Ano 7–8	Fortemente autoexplicada (>96%) , mas começa a ser influenciada por IA, PDSI, Temp. Max.
Óbitos	Ano 1	Ano 8–9	Quase totalmente autoexplicada (>99%) . Quase nenhuma influência externa.
IA	Ano 1	Ano 9–10	Autoexplicada (>74%). Influência razoável de PDSI e Temp. Max, porém crescente.
PDSI	Ano 1	Ano 9–10	Autoexplicada (>50%). Influenciada de maneira crescente por IA, Temp. Max. Democracia e serviços.
Temp. Max	Ano 1 (ia e pdsi)	Ano 9–10	Autoexplicada (>45%). Influenciada de maneira crescente por IA, Temp. Max. Democracia e serviços.

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE, DATASUS e IPEADATA.

4.4 Síntese dos Impactos na produção setorial do Semiárido

A hipótese central da pesquisa postulava que a produção agropecuária, dos serviços e da indústria seriam influenciadas por tecnologias, instituições e condições climáticas adversas, com intensidades distintas entre os diferentes setores do Semiárido do país. Contudo, os resultados indicam uma leve rejeição dessa hipótese: embora haja heterogeneidades setoriais, os impactos se revelam amplamente semelhantes, com poucas exceções importantes. Os maiores impactos da Severidade da Seca (PDSI) se deram sobre a produção agropecuária do Semiárido, com 0,30%. Esses resultados estão sintetizados na Tabela 7.

A decomposição de variância evidencia que a produção setorial é majoritariamente autoexplicada, mas com influência crescente dos fatores relacionados à democracia, instituições, clima e tecnologias. Por consequência, as funções de impulso-resposta indicam baixa sensibilidade de impacto imediato sobre a produção, embora confirmem que os efeitos cumulativos desses fatores moldam a trajetória de evolução setorial do Semiárido. Destacam-se, nesse sentido, os impactos mais expressivos das instituições e do clima no setor agropecuário do Semiárido, seguidos pelos serviços.

Tabela 7: Síntese dos Impactos setoriais no Semiárido do Brasil

Setores	Variáveis do modelo					
	P&D (%)	Democracia (%)	Óbitos (%)	IA (%)	PDSI (%)	Tem. Max (%)
Agrícola	Nulo	0.15	Nulo	-0.20	-0.30	-0.25
Indústria	0.10	-0.10	Nulo	-0.15	-0.10	-0.10
Serviço	0.05	-0.10	Nulo	-0.10	-0.10	-0.10

Fonte: Elaboração própria com base nas funções de impulso e respostas do PVAR.

Metodologicamente, o PVAR com controle de efeitos fixos consegue capturar as relações estáveis e não viesadas de curto prazo do vetor da produção setorial, clima, instituições, tecnologia e suas heterogeneidades regionais. O modelo confirma a existência de efeitos endógenos do clima sobre as instituições, em especial sobre a *proxy* de democracia. Já os resultados associados à mortalidade infantil não foram conclusivos, possivelmente em razão de a literatura institucional estar fundamentada em relações de longo prazo, o que pode ter limitado nosso teste (ACEMOGLU; JOHNSON; ROBINSON, 2001; 2012).

5. Considerações finais

Esse estudo analisa a vulnerabilidade induzida por fatores climáticos, institucionais e tecnológicos sobre a produção setorial do Semiárido brasileiro. Os testes de Autovalores do Círculo Unitário, das estimações, confirmam a estabilidade do modelo. Os testes de defasagem, definem como ótimo 3 anos de atraso, segundo os critérios AIC, MBIC e HQ. Os estados com as maiores severidades de seca (PDSI), são também os mais áridos (IA), de maior temperatura máxima. Eles ocorrem principalmente nos estados do Nordeste brasileiro, como Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Piauí. Essas características expõe o Nordeste como mais vulnerável aos eventos extremos El Niño e La Niña.

Sobre os parâmetros institucionais e tecnológicos, os melhores resultados de democracia, P&D e mortalidade infantil tem se mostrado nos estados do Sul e Sudeste, comparativamente aos estados do Nordeste do Brasil. Os melhores resultados estão nos estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo. Os resultados climáticos, institucionais e tecnológicos têm se mostrado coerentes com a distribuição espacial do PIB setorial, com vantagem especialmente para o Sul e Sudeste, com menores vulnerabilidades climáticas, institucionais e maiores vantagens de P&D. O agrupamento médio dos parâmetros climáticos, institucionais e tecnológicos entre o Semiárido e o resto do país, confirmam essas evidências, descrevendo o Semiárido como o mais vulnerável aos eventos extremos do clima, menos tecnológico e com maiores vulnerabilidades institucionais.

O modelo PVAR confirma os efeitos endógenos do clima sobre as instituições, especialmente sobre a *proxy* de democracia. As evidências sobre mortalidade infantil se mostraram insuficientes para uma conclusão. A análise de decomposição de variância demonstra que os efeitos sobre a produção setorial são fortemente autoexplicativos, porém com influência crescente dos parâmetros de clima e democracia. Por essa razão, as funções de impulso respostas exibem baixa sensibilidade de impacto sobre a produção setorial. Mesmo assim, os efeitos crescentes do clima e instituições ajudam a definir a trajetória de evolução setorial do Semiárido brasileiro.

Referências

Abrigo, M. R., & Love, I. (2016). Estimation of panel vector autoregression in Stata. *The Stata Journal*, 16(3), 778-804.

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.

_____. The colonial origins of comparative development: An empirical investigation. **American economic review**, v. 91, n. 5, p. 1369-1401, 2001.

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*, v. 178, p. 100480, 2024.

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.

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

Glaeser, E.L., La Porta, R., Lopez-de-Silanes, F. et al. Do Institutions Cause Growth?. **Journal of Economic Growth**, 9, 271–303 (2004).

Hao, Y. (2022). Effect of economic indicators, renewable energy consumption and human development on climate change: An empirical analysis based on panel data of selected countries. **Frontiers in Energy Research**, 10, 841497.

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

Lima, Sergiany da Silva et al. Economic vulnerability and its effects on conditional convergence clubs in the semi-arid region of Pernambuco, Northeast Brazil. **Papers in Regional Science**, v. 103, n. 3, p. 100025, 2024.

Lima, Sergiany da Silva; PAULO, Felipe Luiz Lima de; SOUZA, Maria Cristiane Lopez de. Convergência Condicional: uma análise dos Clubes De Convergência Municipais no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, V. 16, N°. 3, p. 45-58, Taubaté-SP, set-dez/2020.

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

Lima, Sergiany da Silva; RUIZ, Ana Urraca. Falling Behind, Forging Ahead e Catching Up: Uma Modelagem do Gap Tecnológico. **Textos de Economia**, v. 22, n. 2, p. 1-30, 2019.

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

Marengo, J. A., Cunha, A. P., Soares, W. R., Torres, R. R., Alves, L. M., de Barros Brito, S. S., & Magalhaes, A. R. (2019). 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.

Marengo, J. A., Torres, R. R., & Alves, L. M. (2017). Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, 129, 1189-1200.

Osińska, Magdalena; MALAGA, Krzysztof; LACH, Bartłomiej. Investigating relationships between economic freedom, growth, and development in CEE countries. **Journal of Institutional Economics**, v. 21, p. e16, 2025.

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.

Pinto, Daniela Gomes Coordenação; COSTA, Marco Aurélio Coordenação; MARQUES, Maria Luiza de Aguiar Coordenação. O índice de desenvolvimento humano municipal brasileiro. 2013.

Rodrik, 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.

Santos, P. F. A.; Spolador, H. F. S. Produtividade Setorial e Mudança Estrutural no Brasil: uma análise para o período 1981 a 2013. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro v. 72 n. 2 / p. 217–248 Abr-Jun 2018.

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., da Silva, R. M., & de Brito, J. I. B. (2022). Climate indices-based analysis of rainfall spatiotemporal variability in Pernambuco State, Brazil. **Water**, 14(14), 2190.

Siqueira, Kleyton José da Silva Pereira de. Produtividade e Eficiência dos Municípios Brasileiros: um olhar para as heterogeneidades regionais. DEPARTAMENTO DE ECONOMIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA (PIMES). Tese de Doutorado, 2019.

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.

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.