

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Evolução e determinantes da produtividade total dos fatores da
agropecuária do semiárido brasileiro entre os anos censitários de 2006 e
2017**

Maria Josiell Nascimento da Silva

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração; Economia Aplicada

**Piracicaba
2024**

Maria Josiell Nascimento da Silva
Bacharela em Ciências Econômicas

**Evolução e determinantes da produtividade total dos fatores da agropecuária do
semiárido brasileiro entre os anos censitários de 2006 e 2017**

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **HUMBERTO FRANCISCO SILVA SPOLADOR**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Silva, Maria Josiell Nascimento da

Evolução e determinantes da produtividade total dos fatores da agropecuária do semiárido brasileiro entre os anos censitários de 2006 e 2017 / Maria Josiell Nascimento da Silva. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2024.

63 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Semiárido 2. Produtividade 3. Clima I. Título

DEDICATÓRIA

Esta pesquisa é dedicada à minha família, por todo esforço, apoio e amor incondicionais dedicados a mim e a minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Luciemir e Francisca Paula, por toda dedicação e empenho depositados para que eu tivesse acesso à educação e pelo apoio incondicional. Aos meus irmãos, Josianne e Joalison, por toda ajuda, incentivo, afeto e companheirismo. Ao meu marido, Rômulo, por toda cumplicidade, amor, apoio e incentivo nos anos que estamos juntos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Humberto Spolador, pelos ensinamentos, paciência, dedicação, generosidade e confiança. Aos meus professores, todos eles, da Esalq, da UFC, da URCA e da minha educação básica, todos contribuíram para que eu pudesse chegar nesta fase.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Francisco José Silva Tabosa e o Dr. José Garcia Gasques, pelas valiosas contribuições.

Agradeço à CAPES, pelo indispensável apoio financeiro.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. SEMIÁRIDO BRASILEIRO	11
2.1. Configuração geográfica do semiárido.....	11
2.2. Panorama agropecuário do semiárido brasileiro	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	21
4. METODOLOGIA.....	25
4.1. O modelo de fronteira estocástica	25
4.2. Análise de produtividade	26
4.3. Área de estudo	27
4.4. Fonte dos dados e variáveis utilizadas no modelo.....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. Estatísticas descritivas	33
5.2. Resultados do modelo empírico	35
5.3. Análise da decomposição da produtividade	40
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS	59

RESUMO

Evolução e determinantes da produtividade total dos fatores da agropecuária do semiárido brasileiro entre os anos censitários de 2006 e 2017

A produtividade da agropecuária é um tema de destaque no debate sobre o aumento populacional e a crescente demanda por alimentos, devido à sua importância para o crescimento do setor. Além disso, as mudanças climáticas tornam essa discussão ainda mais latente, em decorrência da sensibilidade da produção agrícola a variações no clima. O Brasil, por sua relevância no mercado global de produtos agropecuários, tem sido foco de diversos estudos que focam nesse tema, que também verificaram as expressivas taxas de crescimento da produtividade do segmento. Entretanto, esses bons resultados são concentrados em algumas regiões, expressando uma heterogeneidade no desempenho da agropecuária nacional. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é analisar com maior profundidade a produtividade da agropecuária do Semiárido, uma região que congrega atraso em relação ao desenvolvimento econômico nacional combinado com características físico-climáticas mais desafiadoras para a produção agropecuária, o que torna sua população mais vulnerável as mudanças climáticas. Para isso, estimou-se uma fronteira estocástica de produção, para utilizar seus parâmetros para calcular e decompor um índice de produtividade total dos fatores, tendo como principal fonte de dados os Censos Agropecuários de 2006 e 2017. Os resultados mostraram que a região estudada teve desempenho negativo da produtividade no período considerado, com isso sendo reportado para quase todos os estados que fazem parte do Semiárido, com exceção do estado de Sergipe. Esse desempenho da produtividade no Semiárido foi influenciado, sobretudo, pelo componente ambiental, que refletiu os efeitos da seca registrada entre 2012 e 2017. Outro componente que exerce bastante influência no comportamento das taxas de crescimento da produtividade é a eficiência técnica, que foi o fator determinante das taxas exibidas pelos municípios que registraram os maiores aumentos desse indicador. Com isso, os resultados deste trabalho sugerem que, para tornar essa região mais produtiva, é necessária uma combinação de ações do poder público e de agentes privados que resultem em gestão mais eficiente dos estabelecimentos, e de estratégias que ampliem a resiliência dos produtores da região às intempéries climáticas.

Palavras-chave: Semiárido, Produtividade, Clima

ABSTRACT

Evolution and determinants of the Brazilian semiarid agricultural total factors productivity between 2006-2017

Agricultural productivity is a prominent topic in the literature referent to population growth and the rising demand for food, due to its importance for this sectoral growth. Furthermore, climate change makes this discussion even more latent, due to the sensitivity of agricultural production to variations in the climate. Brazil, considering its relevance in the international commodities markets, has been the focus of several studies that focus on this topic, which also verified the significant growth rates of agricultural productivity. However, these positive results are concentrated in some specific regions, demonstrating the heterogeneity in the agricultural performance. In this sense, the objective of this research is to analyze the productivity of agriculture in the Semiarid region, a region that lags behind in terms of national economic development combined with more challenging edaphoclimatic characteristics for agricultural production, which makes its population more vulnerable to climate change. Therefore, a stochastic production frontier was estimated to use its parameters to calculate and decompose the total factor productivity index, using the Agricultural Censuses of 2006 and 2017 as the main source of data. The results showed that the region had negative productivity performance in the period considered, with the exception of the state of Sergipe. This productivity performance in the Semiarid region was influenced, first, by the environmental components, which reflected the effects of the drought recorded between 2012 and 2017. Another component that influenced the productivity growth rates is technical efficiency, which was the determining factor in the rates displayed by the municipalities that presented the greatest increases in this indicator. Therefore, the results of this research suggest that, to make this region more productive, it is necessary to combine actions by public authorities and private agents that result in more efficient management of establishments, and strategies that increase the production resilience in the region under adverse weather conditions.

Keywords: Semi-arid, Productivity, Climate

1. INTRODUÇÃO

A produtividade da agropecuária é um tema essencial na pauta de discussão sobre o desenvolvimento econômico sustentável, visto que a demanda por alimentos é crescente e a capacidade para aumentar o uso de recursos, como terra e água, é limitada. Devido à importância que este componente tem para a continuidade do crescimento da produção (De Negri e Cavalcante, 2014), muitos estudos se dedicaram a mensurar e compreender os fatores que poderiam impulsionar seu crescimento. No Brasil, a análise realizada por Gasques *et al.* (2020) corrobora isso, ao constatar a participação de 63,1% da produtividade no crescimento do produto da agropecuária nacional entre 1970 e 2017, onde este cresceu a uma taxa de 3,22% ao ano nesse período.

Com esse desempenho, o Brasil figura entre os países com as maiores taxas de crescimento da produtividade agrícola mundial (Gasques *et al.*, 2022). Porém, para continuar ocupando uma posição de destaque, é preciso aumentar ou manter essas taxas, o que pode ser cada vez difícil no cenário atual de alterações no clima, que tem uma influência maior na agricultura de países em desenvolvimento (Mohapatra *et al.*, 2022).

Os efeitos das mudanças no clima podem ser ainda mais intensos em regiões com uma vulnerabilidade climática acentuada, como é o caso do Semiárido brasileiro. De acordo com os estudos de Marengo (2008) e Marengo Torres e Alves (2017), os agricultores familiares do semiárido estão suscetíveis a uma grave redução de suas atividades devido à ameaça de redução da disponibilidade de água na região perante o atual cenário de mudanças climáticas. Marengo e Bernasconi (2015) enfatizaram que, no longo prazo, a projeção é de que o semiárido brasileiro sofra com redução das chuvas, aumento das temperaturas e secas mais frequentes, podendo tornar-se uma região árida.

Para além das características físico-climáticas da região, a histórica desigualdade regional brasileira se expressa em todos os segmentos, inclusive na agropecuária. O processo de modernização desse setor não ocorreu de maneira uniforme no país, deixando a região nordestina, onde se localiza a maior parte do Semiárido, à margem desse processo, e isso é refletido na baixa taxa de incorporação de tecnologia pelos produtores da região, o que limita os ganhos de produtividade e, conseqüentemente, de desenvolvimento desse território.

Como os estudos e debates sobre a produtividade do setor agropecuário no Brasil se dão, essencialmente, em torno do agregado nacional ou das regiões com maior volume produzido, o objetivo geral desta tese é analisar a produtividade da agropecuária da região semiárida nos anos recentes, pois apesar de esta não ser uma região associada ao sucesso do

setor primário nacional, congrega características que merecem uma atenção direcionada, especialmente em um contexto de mudanças climáticas. De maneira mais específica, esta pesquisa se propõe a examinar o comportamento das taxas de crescimento da produtividade do setor agropecuário da região semiárida nos anos de 2006 e 2017, analisando quais componentes que mais influenciam a sua dinâmica.

Para atingir esse objetivo, foram utilizados dados dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017 para coletar as informações ao nível de municípios sobre os estabelecimentos agropecuários do Semiárido, e outras bases de dados que disponibilizam informações que caracterizam o ambiente físico-climático da região. Desta forma, foi calculado um índice de produtividade total dos fatores a partir da estimação de um modelo de fronteira de produção estocástica. Esse índice foi decomposto em cinco componentes, progresso técnico, ambiente, eficiência de escala, eficiência técnica e ruído estatístico, o que permite a identificação de qual desses fatores mais contribui com o desempenho da produtividade.

Esta pesquisa se destaca entre as demais já realizadas por estudar uma região que apresenta uma maior vulnerabilidade climática, que afeta diretamente as suas atividades agropecuárias, e concentra uma grande parcela da pobreza do país. Essas características não são favoráveis ao crescimento da produtividade, mas é justamente isso que enseja a necessidade de compreender mais a fundo o comportamento desse indicador na região. O planejamento das políticas públicas de desenvolvimento terá de ser cada vez mais localizado e atento à necessidade de cada lugar, mas isso só possível se as especificidades forem conhecidas e estudadas. É nesse ponto que esta pesquisa pretende avançar, ampliar o conhecimento a respeito da produtividade da agropecuária do Semiárido, analisando os principais fatores que contribuem com seu crescimento e os que a limitam, para contribuir com as estratégias de desenvolvimento da região.

Para tanto, este trabalho está dividido em quatro seções, além desta introdução e das considerações finais. A segunda seção se dedica a fazer um panorama sobre o Semiárido brasileiro, trazendo sua configuração geográfica e um retrato da agropecuária da região. A terceira seção é uma revisão de literatura, que traz um apanhado de trabalhos que se dedicaram a estudar a produtividade do setor agrícola em diferentes níveis geográficos. Posteriormente, tem-se a seção de metodologia, que detalha os procedimentos utilizados e a fonte dos dados. Finalmente, a quinta seção apresenta os resultados encontrados e a discussão sobre a evolução da produtividade no período estudado.

2. SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Esta seção destaca uma breve revisão acerca configuração do Semiárido brasileiro, compreendendo os critérios de delimitação geográfica para a região. Além disso, um panorama da agricultura no semiárido será apresentado tendo como pano de fundo a complexa relação da agricultura com o meio físico e a grande dimensão do territorial do Brasil, e suas diferenças climatológicas, o que impacta diretamente nas condições de produção e suas rentabilidades.

2.1. Configuração geográfica do semiárido

A delimitação da região semiárida é estabelecida por instituições federais e passa por revisões, o que culmina, por vezes, na inclusão ou exclusão de municípios, resultando em uma região com características diferentes ao longo do tempo. Essas atualizações têm como objetivo a revisão dos indicadores que caracterizam a região, alinhando-os com a evolução das pesquisas da área, assim como verificar se, em decorrência da variabilidade climática, determinados municípios antes não enquadrados nos critérios de região semiárida, passaram a possuir as características de semiaridez, ou o contrário, municípios que antes eram classificados como pertencentes a região perca essa característica (BRASIL, 2021).

A primeira delimitação do Semiárido foi definida em 1989, levando em conta apenas a média pluviométrica anual inferior a 800 mm dentro da área de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Em 2001, com a SUDENE extinta, o Ministério da Integração Nacional (MI) assumiu a atribuição de fazer e atualizar a delimitação da região. Em 2005 houve uma atualização do Semiárido, delimitado com base em três critérios ao invés de um só, são eles: precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm; índice de aridez igual ou inferior a 0,50, considerando o período entre 1961 e 1990, e risco de seca superior a 60%. O município localizado na área de atuação da SUDENE que atender a pelo menos um desses critérios está apto a ser classificado como semiárido. A aplicação desses critérios enquadrou 1.133 municípios espalhados por 9 estados, 8 do Nordeste (com exceção do Maranhão) e Minas gerais (BRASIL, 2005; IBGE, 2014). Esses três critérios considerados na delimitação de 2005 permanecem sendo utilizados até a versão mais atual de revisão, que foi feita em 2021.

Em 2017 houve uma nova atualização na composição do Semiárido brasileiro, que passou a contar com 1.262 municípios dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do

Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. Essa configuração territorial é a considerada para elaboração e análise deste trabalho e pode ser visualizada na Figura 1. Os critérios para delimitação do Semiárido, como já mencionado, foram a precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; o índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e; o percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano. A janela temporal analisada pela revisão feita em 2017 compreende o período de 1981 a 2010 (BRASIL, 2021).

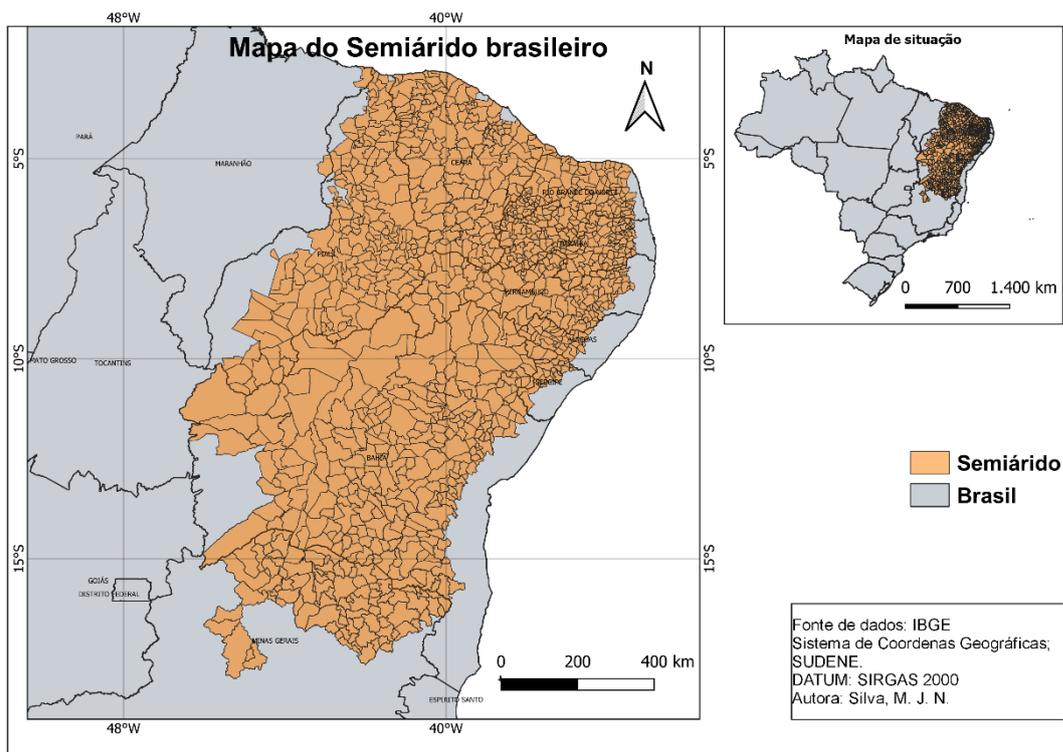


Figura 1. Mapa do Semiárido brasileiro.

Fonte: elaborado pela autora com dados do IBGE (2018c) e BRASIL (2017).

Ainda de acordo com Brasil (2021), em 2017 foi estabelecido que os critérios técnicos de delimitação do Semiárido fossem revistos em 2021, e a cada década a partir de então. Após a nova revisão, em 2021, que considerou o período de 1991 a 2020 para análise dos critérios técnicos, foram identificados 1427 municípios enquadrados no Semiárido. Desses, 1212 já faziam parte da delimitação vigente e outros 215 foram adicionados. Dos 1262 municípios que integravam a região em 2017, 50 foram excluídos na atualização de 2021. A mais nova delimitação engloba 11 estados, são eles: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio

Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo.

2.2. Panorama agropecuário do semiárido brasileiro

A relevância do setor agropecuário brasileiro é indiscutível e seu reconhecimento internacional pelo volume de exportações e sua inserção em modernas cadeiras produtivas são uma expressão disso (FORNAZIER e VIEIRA FILHO, 2012). Ao mesmo tempo, parte dos produtores rurais brasileiros vivem em situação de pobreza, com baixo ou nenhum acesso a essa agricultura moderna que torna o Brasil um dos principais *players* do mercado internacional de commodities.

Uma importante medida dessa heterogeneidade agrícola são os índices de produtividade total dos fatores (PTF) que, como destacou Gasques *et al.* (2020), é uma informação essencial para se compreender as mudanças produtivas que vêm ocorrendo, e os determinantes do crescimento de longo prazo. Em uma análise por meio dos censos agropecuários, com um recorte temporal que começa em 1970 e vai até o mais atual, 2017, Gasques *et al.* (2020) mostraram diferenças regionais importantes dos índices de PTF da agricultura brasileira. Durante todo o período analisado, o crescimento da PTF agrícola do Brasil foi de 2,03% ao ano, tendo o Centro-Oeste e o Sul as maiores taxas anuais, com 3,82% e 2,43%, respectivamente. Enquanto isso, no Nordeste, que concentra a maior parte do território semiárido, a taxa de crescimento da PTF nesse mesmo período foi de 1,82% ao ano.

Nesse mesmo estudo, os autores trazem um recorte de comparação mais atual, analisando as taxas de crescimento da PTF entre 2006 e 2017. Nesse período, as diferenças das taxas de crescimento entre as regiões são ainda mais acentuadas. O Centro-Oeste, que é a região que exibe maior crescimento da PTF também nesse período, teve uma taxa de 3,82% ao ano, enquanto o Nordeste teve uma taxa de 0,08%, sendo a região que apresentou as menores taxas no período.

Para Vieira Filho, Santos e Fornazier (2013), esses diferenciais no desempenho agrícola entre as regiões brasileiras estão relacionados a fatores estruturais e produtivos. Os primeiros dizem respeito, por exemplo, à disponibilidade de água, infraestrutura de escoamento da produção, condições de acesso à tecnologia. O segundo fator se reflete na persistência de diferenças dos resultados da atividade agrícola, como o valor da produção. Os fatores estruturais acabam condicionando os produtivos.

Tendo isso como pano de fundo, a ideia aqui é apresentar um panorama do Semiárido brasileiro e da agropecuária da região, para que possa ser estabelecida uma compreensão geral sobre o seu cenário recente. Esse cenário será montado a partir de uma série de indicadores, entre eles a composição demográfica, os principais produtos agropecuários, valor da produção, estrutura dos estabelecimentos, recursos disponíveis, entre outros.

O Semiárido se estende pelos nove estados da região Nordeste acrescido do norte de Minas Gerais, englobando um total de 1262 municípios em 2017. A Tabela 1 traz dados sobre a divisão de municípios em cada estado, e o contingente populacional que está incluído nesse regime climático.

Tabela 1. Número de municípios e população dos estados e do Semiárido.

Estado	Número de municípios			População		
	Estado	Semiárido	Semiárido (%)	Estado	Semiárido	Semiárido (%)
MA	217	2	0.9	7.000.229	213.693	3.1
PI	224	185	82.6	3.219.257	2.805.394	87.1
CE	184	175	95.1	9.020.460	5.827.192	64.6
RN	167	147	88.0	3.507.003	1.922.440	54.8
PB	223	194	87.0	4.025.558	2.498.117	62.1
PE	185	123	66.5	9.473.266	3.993.975	42.2
AL	102	38	37.3	3.375.823	962.641	28.5
SE	75	29	38.7	2.288.116	478.935	20.9
BA	417	278	66.7	15.344.447	7.675.656	50.0
MG	853	91	10.7	21.119.536	1.492.198	7.1
Total	2647	1262	47.7%	78.373.695	27.870.241	35.6%

Fonte: Lemos, 2020.

Analisando o Semiárido como uma unidade, nota-se que ele agrega quase metade dos municípios, e um pouco mais 35% da população dos 10 estados nele considerados, evidenciando a importância de estudos sobre essa área para que tenhamos uma melhor compreensão do país.

Dentre as 10 unidades da federação exibidas na tabela, o Ceará é a que possui a maior quantidade relativa de municípios enquadrados como semiárido, com 95%, seguido do Rio Grande do Norte e da Paraíba. Em valores absolutos, o estado que mais tem municípios integrando a região semiárida é a Bahia, seguida pela Paraíba e Ceará. O Maranhão é o estado com o menor número de municípios no território em questão, tanto em valores absolutos quanto relativos.

Quando se observa a demografia, nota-se que a região semiárida abrigava 13% da população brasileira em 2017. Os estados com maior número de pessoas que vivem no Semiárido são a Bahia, o Ceará e o Pernambuco, nessa ordem. Mas, em termos relativos, o Piauí é quem possui a maior parte da sua população residindo na região, com um pouco mais de 87% de seus habitantes.

Com toda essa representatividade, o Semiárido brasileiro é uma região que historicamente é uma das áreas menos desenvolvidas do Brasil (CASTRO, 2019). Para ilustrar essa realidade, a Tabela 2 traz dados referentes ao PIB *per capita* dos estados e suas respectivas áreas semiáridas, em valores correntes de 2017 e em salários-mínimos da época.

Tabela 2. PIB per capita dos estados que compõem o Semiárido em valores correntes de 2017 e em salários-mínimos, nos estados e no Semiárido.

Estado	PIB <i>per capita</i> dos estados em 2017		PIB <i>per capita</i> do Semiárido em 2017	
	em Reais (R\$)	em salários-mínimos anuais*	em Reais (R\$)	em salários-mínimos anuais *
MA	12788.75	1.14	9698.76	0.86
PI	14089.78	1.25	13998.16	1.24
CE	16394.99	1.46	11988.48	1.07
RN	18333.19	1.63	15455.10	1.37
PB	15497.67	1.38	12126.51	1.08
PE	19164.52	1.70	12203.84	1.09
AL	15653.51	1.39	10456.74	0.93
SE	17789.21	1.58	14679.63	1.31
BA	17508.67	1.56	11809.59	1.05
MG	27282.75	2.47	11046.90	0.98
Total	19514.36	1.74	12349.23	1.10

Fonte: Lemos, 2020.

Nota: *salários-mínimos a preços correntes de 2017, cujos valores mensais e anual eram R\$ 937,00 e R\$ 11.244,00, respectivamente.

Ao analisar a Tabela 2 é fácil notar que a porção semiárida de todos os estados que compõem a região gera menos riqueza. Na média, os estados analisados possuem um PIB *per capita* de 19,5 mil reais, enquanto no extrato semiárido esse valor é de 12,3 mil reais, uma diferença de mais de 7 mil reais no ano de 2017.

Uma outra forma de analisar essa diferença é por meio da análise por salários-mínimos. Como o PIB *per capita* é um valor que expressa a riqueza de determinada área dividida pela sua população em um ano, dividiu-se esse valor pelo salário-mínimo anual, ou seja, dividiu-se o PIB *per capita* de cada estado (todo e da parte semiárida) por R\$ 11.244,00,

que é o valor de 12 salários-mínimos em 2017. Desse modo, as colunas que expressam o PIB *per capita* em salários-mínimos é para que se tenha uma visão de como seria se toda a riqueza dos estados presentes na análise fosse distribuída entre a população residente em cada estado (e na parte semiárida).

Entre os estados, de forma geral, todos têm um valor de PIB *per capita*/salário-mínimo maior que um. O Maranhão é que tem os menores valores, ou seja, classificado como o estado mais pobre dentre os presentes. Minas Gerais, o único estado que não pertence à região Nordeste, é o que se sobressai com o resultado mais alto, com quase um salário-mínimo anual a mais que a média dos nove estados nordestinos.

Ao direcionar a análise especificamente para o Semiárido, observa-se que em três estados a porção semiárida deles tem uma relação PIB *per capita*/salário-mínimo menor que um, inclusive Minas Gerais, que apresenta a maior diferença, comparando todo o estado com o seu recorte semiárido. De maneira geral, todos têm um valor PIB *per capita*/salário-mínimo menor nas suas áreas semiáridas. Para que se tenha um outro nível de comparação, de acordo com o IBGE (2019b), o PIB *per capita* do Brasil em 2017 era de cerca de 31,8 mil reais, o que daria um valor de PIB *per capita*/salário-mínimo de 2,83.

A partir das informações contidas nas Tabelas 1 e 2, foi possível deduzir que a região semiárida é mais frágil economicamente. Essa fragilidade se traduz, de acordo com Castro (2019), na dificuldade para absorver o contingente populacional ao mercado de trabalho local, e essa dificuldade de acesso a emprego e renda é apontada na pesquisa de Silva (2016) como um dos principais fatores do indicador de pobreza nos municípios do Semiárido. Nesse sentido, ao apresentar alguns dados e análises da agropecuária no Semiárido, é preciso que se tenha em mente que está se tratando de uma das áreas mais pobres e marginalizadas do país.

A Tabela 3 traz a estrutura dos estabelecimentos agropecuários do Semiárido a partir da representatividade da região no Brasil nos Censos Agropecuários de 2006 e 2017. Assim, é possível compreender melhor o panorama, em relação à média nacional, da atividade agropecuária que este trabalho se dedica a analisar.

Tabela 3. Estrutura dos estabelecimentos agropecuários brasileiros e do Semiárido

Variáveis	2006			2017		
	Brasil	Semiárido	%	Brasil	Semiárido	%
Nº de estabelecimentos	5175636	1713545	33%	5073324	1835535	36%
VBP (mil reais)	163986294	16521772	10%	462361551	29736768	6%
Área (hectares)	333680037	49517046	15%	351289816	52925218	15%
Pessoal ocupado	16568205	5799395	35%	15105125	4850115	32%
Nº de tratores	820718	38259	4.7%	1229907	59215	4.8%
Assistência técnica	1145049	154355	13.5%	1025443	164473	16.0%
Agrotóxico	1396077	381894	27.4%	1681740	427803	25.4%
Adubo	1695250	283494	16.7%	2144693	529907	24.7%
Irrigação	331990	113940	34.3%	502379	200262	39.9%
Inundação	36702	13520	36.8%	21146	4572	21.6%
Sulcos	33434	23244	69.5%	11370	9536	83.9%
Aspersão	126877	35941	28.3%	131561	38192	29.0%
Localizado	41204	13342	32.4%	249744	111191	44.5%
Outros métodos	109159	34304	31.4%	136356	57301	42.0%
Recurso hídrico	3255643	680453	20.9%	4134742	1389547	33.6%
Nascentes	1544916	99250	6.4%	1540111	98167	6.4%
Rios ou riachos	2194817	478985	21.8%	2311395	522068	22.6%
Poços	1548765	229748	14.8%	2332658	537295	23.0%
Cisternas	669265	435468	65.1%	1093000	990747	90.6%

Fonte: IBGE (2009;2019a)

Em termos de quantidade de estabelecimentos existentes, o Semiárido detinha, em 2006, 33% dos estabelecimentos do Brasil, mas que rendiam apenas 10% do valor da produção da agropecuária, e estavam estabelecidos em apenas 15% da área ocupada pela atividade no país. Em 2017 a situação muda um pouco, com aumento da participação relativa dos estabelecimentos da região e redução da participação do seu valor da produção, que passa de 10% para 6%. Com isso, aponta-se que a região em questão, em comparação ao Brasil, possui, na média, estabelecimentos menores e menos rentáveis, e que isso se agravou no período recente.

Essa informação, junto ao número de pessoas ocupadas nos estabelecimentos agropecuários, reforça a maior pobreza existente na região, pois a capacidade de gerar renda nos estabelecimentos localizados no Semiárido é menor do que a média do restante do país. E essa menor capacidade de gerar renda está relacionada a uma diversidade fatores, dentre eles a

baixa capacidade de incorporar tecnologia, que é, em certa medida, representada pelo baixo número de tratores existentes na região e a menor utilização de agrotóxicos e adubos.

A baixa adesão tecnológica seria facilitada pela expansão da assistência técnica na região (Vieira Filho, 2013). Como é visto, mesmo que tenha sido registrado um aumento relativo dos estabelecimentos do Semiárido com acesso a assistência técnica, esse ainda é um valor relativamente muito baixo. Enquanto no Brasil 20% dos estabelecimentos recebem algum tipo de orientação técnica, no Semiárido apenas 8% recebem esse tipo de serviço.

Um ponto de grande importância para o desenvolvimento da agropecuária em uma região caracterizada pela irregularidade de chuvas é a irrigação, assim como a disponibilidade de recursos hídricos nos estabelecimentos. A quantidade de estabelecimentos que utilizam a irrigação passou por um avanço considerável no período de 2006 para 2017 tanto no Brasil quanto no Semiárido, que aumentaram 51% e 76%, respectivamente.

Além da evolução na quantidade de estabelecimentos que utilizam a irrigação, a forma como os métodos evoluíram é uma questão importante. A utilização dos métodos de inundação e sulcos foram reduzidos em 42% e 66% no Brasil, respectivamente, e no Semiárido a redução foi 66% de inundação e de 59% do sulco. Paralelo a isso, métodos mais eficientes do ponto de vista de utilização da água foram ampliados, sobretudo os métodos localizados, que incluem microaspersão e gotejamento, que subiram mais 500% no Brasil e mais 700% no Semiárido no período de 2006 para 2017, de acordo com os dados dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017 (IBGE, 2009; IBGE, 2019a).

Com relação à disponibilidade de fontes de água nas propriedades, o avanço ocorreu em poços e cisternas, que mais que dobraram suas quantidades no Semiárido nesses onze anos que separam os censos. Com relação às cisternas, é importante frisar que essa estrutura cumpre uma função essencial na democratização do acesso a água na região, mas seu potencial para expandir a área irrigada dos estabelecimentos é limitada, tendo em vista a capacidade de volume hídrico que pode ser armazenado.

A Tabela 4 exibe a participação na quantidade produzida dos principais produtos agrícolas do Brasil e a participação nos principais rebanhos. Deve-se considerar que o Semiárido, apesar de ser menos produtivo que a média nacional, detém certa importância no setor agropecuário brasileiro.

Tabela 4. Quantidade produzida e efetivo de rebanhos do Brasil e do Semiárido

Variáveis	2006			2017		
	Brasil	Semiárido	%	Brasil	Semiárido	%
Soja em grão (t)	46195843	1177525	2.5%	103156255	2978120	2.9%
Cana-de-açúcar (t)	407466569	2875571	0.7%	638689875	3145713	0.5%
Milho em grão (t)	41427610	4257814	10.3%	88099622	1907847	2.2%
Café (t)	2421479	105673	4.4%	2356811	58537	2.5%
Arroz em casca (t)	9687838	451754	4.7%	11056719	56141	0.5%
Mandioca (t)	11912629	1984371	16.7%	6559289	624826	9.5%
Algodão herbáceo (t)	2491586	171453	6.9%	3747411	359448	9.6%
Bovinos (cabeças)	176147501	16396390	9.3%	172719164	14230106	8.2%
Galinhas (cabeças)	1143456	66263	5.8%	1362253509	92461463	6.8%

Fonte: IBGE (2018a; 2018b)

Dentre os produtos agrícolas, a região semiárida variou sua participação no período em questão, com aumentos em uns e quedas em outros. A maior participação na produção de soja é fruto da expansão do cultivo da oleaginosa nos estados do Piauí e Bahia, que fazem parte do MATOPIBA¹. Por outro lado, houve uma redução considerável da participação da região na produção de milho e mandioca, que são produtos tradicionalmente cultivados nos estabelecimentos da região, mas que foram negativamente impactados pelo período de estiagem registrado entre os censos.

Analisando brevemente a estrutura dos estabelecimentos da região semiárida em relação ao Brasil e a participação dessa região em alguns produtos, viu-se que as propriedades são, na média, menores, menos modernas e mais pobres. Apesar disso, a região possui certo impacto na produção de diversos produtos que fazem parte da lista dos mais importantes do setor agropecuário nacional.

¹ O termo Matopiba denomina a região formada pelo estado do Tocantins e partes dos estados do Maranhão, Piauí e Bahia, onde ocorreu forte expansão agrícola a partir dos anos 1980 (EMBRAPA, 2023).

3. REVISÃO DE LITERATURA

A produtividade é entendida, conceitualmente, como uma medida da eficiência com que a economia é capaz de transformar insumos ou fatores de produção em produtos ou serviços finais (De Negri e Cavalcante, 2014). Desta forma, quanto mais produtiva for essa economia, mais produto poderá ser produzido e mais eficiente será seu funcionamento. Devido à importância que esse componente tem para o crescimento econômico, muitos estudos se dedicam a medir e analisar a produtividade, objetivando compreender a sua evolução e os fatores que influenciam seu desempenho, para que os tomadores de decisão tenham condições de elaborar estratégias para impulsionar o crescimento econômico.

Setores como o agropecuário são objetos constantes desse tipo de análise, pois garantir a continuidade do seu crescimento, é de suma importância para a segurança alimentar da população e para reduzir a pobreza (Barros, 2004). Além disso, este é o setor da economia mais dependente do aumento da produtividade para continuar a crescer, tendo em vista a sua dependência de recursos limitados, como a terra e a água (Fuglie, 2018).

A gama de estudos dessa temática são realizados com diferentes objetivos, metodologias e abrangências territoriais. Ao nível global, por exemplo, Coelli e Rao (2005), abrangendo o período de 1980 a 2000, examinaram o crescimento da PTF da agricultura de 93 países utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA) para derivar o índice de produtividade de Malmquist. Os autores mostraram que o crescimento anual da PTF para as unidades observacionais é de 2,1% no período, com contribuição maior da mudança técnica.

Utilizando uma amostra um pouco menor, Headey, Alauddin e Rao (2010) apresentaram as taxas de crescimento da produtividade total dos fatores (PTF) na agricultura para 88 países durante o período 1970-2001, estimadas tanto com a análise de fronteira estocástica (SFA) quanto com a DEA. Porém, os resultados foram analisados com base no modelo SFA, por considerarem mais plausíveis. Esses autores observaram que o crescimento da PTF foi mais rápido nas regiões da OCDE, Oriente Médio e Norte da África e Leste Asiático, variável na América Latina e Caribe e na África Subsaariana, e geralmente bastante baixo no Sul da Ásia durante este período.

Com um período e uma amostra ainda mais abrangente, de 1969 a 2013, Anik, Rahman e Sarker (2020) aplicaram a abordagem do índice Fare-Primont para estimar o crescimento da PTF da agricultura mundial, representada por 104 países. O resultado para o panorama geral mostrou que a PTF agrícola mundial cresceu a uma taxa de 0,44% ao ano e que este crescimento foi principalmente contribuído pelo progresso tecnológico e pelas

mudanças na eficiência da mistura, enquanto as contribuições da eficiência técnica e das mudanças na eficiência de escala foram insignificantes.

Utilizando-se da SFA, Ferreira *et al.* (2016) analisaram a PTF da agricultura da América Latina entre 1961 e 2010, e observaram que todos os países apresentaram uma variação positiva do índice entre o período estudado, sendo que a maior variação foi a do Brasil, com 55,73%. Apesar disso, quase metade da amostra apresentou uma variação negativa no índice de eficiência técnica, entretanto, os autores encontraram evidências de que maiores investimentos em capital humano, representado pela escolaridade dos produtores, seria capaz de reduzir essa ineficiência.

Aproximando-se um pouco mais, do ponto de vista geográfico, do trabalho desenvolvido nesta pesquisa, será feita uma revisão das análises dedicadas a estudar a produtividade da agropecuária brasileira, que envolvem a consideração do país como uma unidade assim como das suas desagregações geográficas. Isso servirá de base de comparação para os resultados apresentados posteriormente.

Observando a evolução da agricultura nacional a partir do intenso processo de modernização que o setor sofreu a partir da década de 1970, os trabalhos de Pereira *et al.* (2002) e de Vicente (2004) analisaram a PTF da atividade entre o período de 1970 a 1996, utilizando-se do índice de produtividade de Malmquist e de DEA. Os resultados encontrados por ambos os trabalhos mostraram heterogeneidade de crescimento da PTF entre as regiões brasileiras. Pereira *et al.* (2002) apontaram que isso está ligado a grupos de interesse que atuam de forma mais intensa no Sudeste, Sul e Centro-Oeste, assim como a forma que são aplicadas a políticas públicas para agricultura, que oferecem mais incentivos para a produção dos produtos exportáveis, que predominantemente são produzidos nessas regiões. Para essas regiões, o que mais contribuiu para o crescimento da produtividade foi o progresso técnico.

Incorporando um período um pouco mais recente, de 1975 a 2006, Bragagnolo *et al.* (2010), ao analisarem a PTF para o Brasil e os seus estados, observaram que o maior crescimento da PTF ocorreu na região Norte, o que condiz com a expansão da fronteira agrícola nessas áreas nas últimas décadas. Entretanto, as regiões agrícolas tradicionais não deixaram de apresentar altas taxas de crescimento das suas produtividades. Assim como os trabalhos anteriores mostraram, o progresso técnico foi o principal responsável pelos ganhos de PTF no período analisado.

O crescimento do progresso técnico e seu papel como o principal responsável pelos ganhos de produtividade da agricultura brasileira levou o trabalho de Rada e Buccola (2012) a investigar a influência que políticas públicas voltadas ao setor exercem sobre outro

componente da PTF que não exibia ganhos, a eficiência técnica, analisando a PTF da agropecuária brasileira dividida em duas regiões, Norte (formada pelos estados do Norte e Nordeste) e Sul (formada pelos estados do Sul, Sudeste e Centro-Oeste). Os autores encontraram evidências de que no Sul a eficiência se beneficiaria mais de novas infraestruturas de transporte e de crédito rural do que de novos investimentos na educação. Já a eficiência no Norte se beneficiaria, pelo contrário, mais da expansão escolar.

O estudo realizado por Gasques *et al.* (2016), que compreende o período de 1975 a 2016, preocupou-se em identificar se o crescimento da PTF da agricultura brasileira possui uma tendência de desaceleração. Os resultados encontrados mostraram que isso não aconteceu, pelo contrário, até 1997 o Brasil exibiu uma taxa de crescimento 3,02%, mas que a partir de então essa trajetória muda e a taxa de crescimento da PTF aumentou para 4,28% ao ano, o que pode ter sido influenciada por uma diversidade de fatores, como o crescimento da produção e da produtividade mundial, os investimentos em pesquisa e a descoberta de novas tecnologias, as alterações nas políticas econômica e agrícola, o crescimento do mercado interno, a maior inserção do Brasil no mercado internacional de produtos agrícolas, e o comportamento dos preços dos insumos como principais elementos para explicar essa alteração na PTF.

Com interesse em trazer informações da produtividade da agricultura brasileira para períodos mais recentes, e para os estados mais representativos do setor, Bragagnolo, Spolador e Barros (2021) analisam a produtividade das lavouras permanentes e temporárias para período dos últimos três Censos Agropecuários, 1995, 2006 e 2017. Os autores observaram que o progresso técnico continua a ser o principal impulsionador do crescimento da PTF da agricultura, mas que o efeito da escala foi negativo, indicando uma redução no ritmo de expansão da fronteira agrícola.

O trabalho de Gasques *et al.* (2020) se dedicou a analisar a PTF da agropecuária brasileira e seus estados para o período de 1970 a 2017 por meio do índice de Tornqvist, e fez um recorte da evolução desse indicador entre 2006 e 2017. Os resultados mostram que, no Brasil, a taxa de crescimento da PTF entre 1970 e 2017 foi de 2,03% ao ano, e de 2,21% entre 2006 e 2017. A região que vem majoritariamente influenciando esse crescimento para cima é a Centro-Oeste, exibindo taxas de 3,87% e 3,82% entre 1970 e 2017 e entre 2006 e 2017, respectivamente. No outro extremo tem a região Nordeste, que registrou uma taxa de crescimento de 1,82% entre 1970 e 2017, e de apenas 0,08% entre 2006 e 2017. Esse resultado em especial é particularmente interessante para efeitos de comparação com os

resultados que serão reportados nesta tese, pois retrata o crescimento da produtividade para todos os estados e faz esse recorte para os últimos dois Censos Agropecuários.

4. METODOLOGIA

4.1. O modelo de fronteira estocástica

A estimação de uma fronteira de produção permite avaliar a distância em que um dado produtor está em relação à fronteira tecnológica, que é decorrente da ineficiência técnica dos produtores e de choques aleatórios, que não podem ser controlados pelos agentes econômicos.

O modelo de fronteira estocástica orientado para o produto é definido por Kumbhakar e Lovell (2000) como:

$$Y_{it} = f(x_{it}; \beta) + v_{it} - u_{it} \quad (1)$$

onde Y_{it} representa a produção da i -ésima firma produtora no t -ésimo período de tempo; x_{it} é um vetor de insumos e outras variáveis explicativas para a i -ésima firma produtora no t -ésimo período de tempo; β é um vetor de parâmetros desconhecidos a serem estimados; v_{it} é um termo de erro aleatório que se presume seguir uma distribuição normal com média zero e variância constante ($v_i \sim iid N^+(0; \sigma_v^2)$); e $u_{it} \geq 0$ é a ineficiência técnica da i -ésima firma produtora no período t .

A forma funcional da função de produção $f(x_t, \beta)$ pode ser tanto *Cobb-Douglas* quanto *translog*, sendo que a escolha sobre qual delas utilizar baseia-se no teste de Wald. Neste trabalho, seguindo O'Donnell (2018), optou-se pela tecnologia *Cobb-Douglas*, de modo que a expressão (1) foi estimada na forma logaritimica:

$$\ln y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln x_{it} + \dots + \beta_n z_{it} + v_i - u_i \quad (2)$$

$$\ln y_{it} = \phi_i + \lambda t + \sum_{m=1}^M \beta_m \ln x_{mit} + \sum_{j=1}^J \rho_j z_{jit} + v_{it} - u_{it}$$

onde $\ln y_{it}$ é o logaritmo do produto, x_{mit} e z_{jit} representam os vetores dos insumos convencionais (i.e. o insumo m do município i no período t) e de características do ambiente de produção (i.e. a característica j do município i no período t), v_{it} e u_{it} são o termo de erro estatístico e o componente de ineficiência; finalmente, γ_t , β_m , e ρ_j são parâmetros a serem estimados.

Enquanto v_{it} segue uma distribuição normal, para u_{it} são feitas pressuposições acerca de sua distribuição, a qual, segundo Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015), podem ser:

$$\text{Half-normal: } u_i \sim iid N^+(0; \sigma_u^2);$$

Exponencial: $u_i \sim \text{iid}$ exponencial;

Normal-truncada: $u_i \sim \text{iid } N^+(\mu; \sigma_u^2)$;

Gama: $u_i \sim \text{iid}$ gama.

De acordo com Coelli *et al.* (2005), considera-se que cada v_i seja distribuído independentemente de u_i , e ambos os erros não sejam correlacionados com o vetor de variáveis explicativas x_i .

Dada a distribuição simétrica de v_i em torno de zero e a distribuição unilateral de u_i , tem-se que: quando a ineficiência técnica é nula ($u_i = 0$), o termo de erro composto é simétrico. Entretanto, se houver ineficiência técnica ($u_i > 0$), o termo de erro composto ($\epsilon_i = v_i - u_i$) seria assimétrico negativamente, tendo média e moda não nulas. Dessa forma, a assimetria negativa para o termo de erro é um indicativo de que há ineficiência técnica na amostra analisada.

De forma simplificada, a ineficiência técnica é a diferença entre a quantidade máxima possível de ser produzida dada a tecnologia existente e a produção alcançada pelo produtor, ou seja:

$$u_i = \ln y_i^* - \ln y_i \quad (3)$$

em que: $\ln y_i^*$ é o logaritmo do natural do máximo produto (ou produto potencial) e $\ln y_i$ é o logaritmo natural do produto observado.

Ao rearranjar a expressão (3), tem-se que a estimativa da Eficiência Técnica (ET), conforme Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015), que é expressa como:

$$\exp(-u_i) = y_i/y_i^* \quad (4)$$

com $0 \leq ET \leq 1$, onde $ET=1$ indica um produtor plenamente eficiente, e $ET=0$ um produtor totalmente ineficiente.

4.2. Análise de produtividade

A análise de produtividade envolve medir e explicar as mudanças na PTF, bem como os seus determinantes, para isso, é construído um índice da PTF (TFPI) (Njuki *et al.*, 2019), conforme:

O TFPI é definido como $TFPI^M(x_{ks}, q_{ks}, x_{it}, q_{it}) = [Q(q_{it})/X(x_{it})]/[Q(q_{ks})/X(x_{ks})]$, onde $Q(\cdot)$ e $X(\cdot)$ são funções agregadoras não negativas, não decrescentes e linearmente homogêneas. Neste trabalho, seguindo O'Donnell (2018), o índice da PTF é um multiplicativo, que satisfaz os principais axiomas da teoria dos números índices, incluindo

monotonicidade, identidade, comensurabilidade, proporcionalidade, circularidade e transitividade. No modelo estimado, como se trata de um produto único e agregado (valor da produção) o TFPI pode ser representado por (O'Donnell, 2018; Njuki *et al.*, 2019):

$$TFPI^M(x_{ks}, q_{ks}, x_{it}, q_{it}) = \frac{q_{it}}{q_{ks}} \prod_{m=1}^M \left(\frac{x_{mks}}{x_{mit}} \right)^{b_m} \quad (5)$$

ond
e
 $b_1, \dots,$

b_M são ponderações não negativas tais que $\sum_{m=1}^M b_m = 1$. A especificação completa do índice multiplicativo que compara a PTF da firma i no tempo t com a PTF da firma k no tempo s representado por (Njuki *et al.*, 2019):

$$TFPI^M(x_{ks}, q_{ks}, x_{it}, q_{it}) = \left(\frac{\exp(\phi_i)}{\exp(\phi_k)} \right) \left(\frac{\exp(\lambda t)}{\exp(\lambda s)} \right) \prod_{m=i}^M \left(\frac{x_{mit}^{\beta_{mit}-b_m}}{x_{mks}^{\beta_{mks}-b_m}} \right) \prod_{j=1}^J \left(\frac{z_{jit}^{\rho_{jit}}}{z_{jks}^{\rho_{jks}}} \right) \left[\frac{\exp(u_{it})}{\exp(u_{ks})} \right] \left[\frac{\exp(v_{it})}{\exp(v_{ks})} \right] \quad (6)$$

índic
e da

PTF representado pela expressão 6 é composto pelos seguintes termos: o primeiro termo do lado direito da expressão captura mudanças na produtividade devido a fatores não observáveis e invariantes no tempo que caracterizam o ambiente de produção; o segundo termo é o índice de tecnologia orientado para a produção (OTI) que mede mudanças da fronteira de produção devido à descoberta de novas tecnologias; o terceiro componente é uma eficiência de escala e combinação orientada para a produção (OSEI) que capta flutuações na produtividade associadas a economia de escala; o quarto componente é o índice referente ao ambiente de produção (OEI) que capta mudanças na produtividade devido a fatores ambientais (temperatura, precipitação, aridez, tipo de solo etc); o quinto componente é um índice de eficiência técnica orientado para resultados (OTEI) que mede as diferenças nas habilidades dos gerentes para maximizar os resultados produzidos usando seus insumos em seus ambientes de produção. O último componente é um índice de ruído estatístico (SNI) que leva em consideração erros de forma funcional, erros de medição e erros de variáveis omitidos e incluídos (NJUKI, BRAVO-URETA e O'DONNELL, 2019; MARTINS, SPOLADOR e NJUKI, 2021).

4.3. Área de estudo

Esta pesquisa tem como área de interesse o Semiárido brasileiro conforme classificação de 2017, uma região que se estende pelos nove estados do Nordeste e o norte de Minas Gerais. No total, ocupa 12% do território nacional e abriga cerca de 28 milhões de

habitantes divididos entre zonas urbanas (62%) e rurais (38%) (BRASIL, 2022). A região é delimitada pela SUDENE considerando critérios técnicos descritos na seção 2 deste trabalho.

Na atualização feita em 2017, a SUDENE determinou que o Semiárido era composto por 1.262 municípios, 38 em Alagoas, 278 na Bahia, 175 no Ceará, 2 no Maranhão, 91 em Minas Gerais, 194 na Paraíba, 123 no Pernambuco, 185 no Piauí, 147 no Rio Grande do Norte e 29 em Sergipe. A delimitação feita em 2017 é utilizada nessa pesquisa em razão da base de dados, que tem como ano mais recente 2017.

4.4. Fonte dos dados e variáveis utilizadas no modelo

Os dados a serem utilizados nessa pesquisa foram coletados em bases distintas, são elas: o Censo Agropecuário de 2006 e de 2017, realizado e disponibilizado pelo IBGE; os Domínios de Extrapolação Tecnologia (TEDs), elaborados por Soares e Marin (2021); o trabalho de Camarillo-Naranjo *et al.* (2019), publicado no *Global Climate Monitor*, de onde foram coletadas as informações sobre a precipitação média anual e a temperatura média de cada municípios da região estudada.

As informações sobre o valor da produção, tamanho dos estabelecimentos, tecnologia adotada, insumos utilizados, fonte de água disponível entre outras características, foram coletados a nível de município no Censo Agropecuário. A precisão desses dados permite a realização do recorte espacial de interesse, o Semiárido.

Visando obter uma maior precisão das condições de produção agrícola, os TEDs fornecem um banco de dados que congrega informações do clima e do solo para representar as condições ambientais para o desenvolvimento e crescimento das principais culturas cultivadas no Brasil. A interação entre variáveis de clima e solo formam zonas climáticas homogêneas, onde essas apresentam condições semelhantes de cultivo para soja, cana-de-açúcar e milho. Como a área de análise deste estudo é o Semiárido brasileiro onde, dentre as culturas zoneadas, a mais presente é milho, sendo cultivada em 96% dos estabelecimentos agropecuários e em 1260, dos 1262 municípios da região, os TEDs considerados foram os dessa cultura (IBGE, 2019a).

No levantamento realizado por Soares e Marin (2021), os TEDs são definidos a partir da combinação de quatro variáveis, a saber:

(i) Graus-dia de crescimento total anual (GDD), que determina a duração do período de cultivo da cultura, calculado conforme Licker *et al.* (2010)

$$GDD = \sum_{i=1}^{365} \max(0, T_i - T_b) \quad (7)$$

em que T_i é a temperatura, em °C, no i -ésimo dia do ano e T_b é a temperatura base, abaixo do qual o desenvolvimento da planta é prejudicado, definida pelos autores em 8°C para o milho.

(ii) Sazonalidade anual da temperatura (SEA), que corresponde ao desvio padrão da temperatura média ao longo de 12 meses multiplicado por 100, diferenciando climas temperados e tropicais.

(iii) Índice de aridez (IA), que define a limitação de água no cultivo de sequeiro, foi calculado pela divisão entre a precipitação média anual (PMA) e a evapotranspiração de referência (ET_o), que por sua vez foi calculado seguindo a abordagem desenvolvida por Camargo *et al.* (1999)

$$ET_o = 0.01 \frac{Q_o}{2.45} \cdot (1.08 \cdot TM - 0.36 \cdot Tm) \quad (8)$$

em que ET_o é a evapotranspiração de referência (mm·dia⁻¹), Q_o é a irradiação solar extraterrestre (MJ· m⁻²· d⁻¹), TM é a temperatura média mensal(°C) e Tm é a temperatura mínima média (°C).

$$IA = \frac{PMA}{ET_o} \quad (9)$$

(iv) Água total disponível na profundidade do solo enraizável (CAD), que determina a capacidade do solo em fornecer água para suportar o crescimento da cultura durante os períodos sem chuva, em que uma profundidade de raiz de 120 cm para a cana-de-açúcar, 100 cm para milho e 60 cm para soja. A figura 2 ilustra a variação espacial da água disponível total específica da cultura (mm) no solo para o milho ao longo do território nacional.

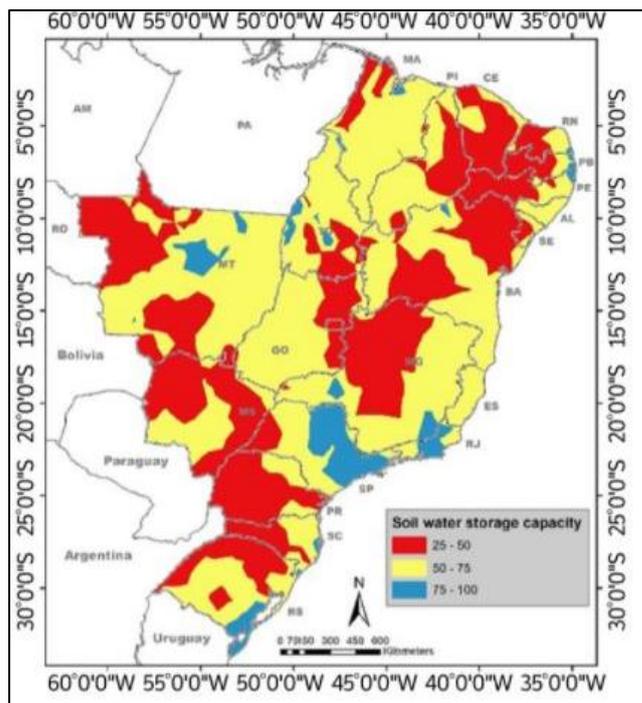


Figura 2. Variação espacial da água disponível total específica da cultura (mm) no solo para o milho.

Fonte: Soares e Marin (2021).

Essa variável está basicamente relacionada ao tipo de solo e às características físicas, em que solos com maior teor de argila apresentaram maior capacidade de armazenamento, enquanto solos menos estruturados e solos arenosos apresentam menor capacidade de armazenamento de água.

O Quadro 1, abaixo, apresenta um resumo das variáveis utilizadas no modelo de fronteira estocástica estimado nessa pesquisa. Estão expostos os nomes das variáveis, a sua descrição e as respectivas fontes.

Quadro 1. Descrição das variáveis utilizadas no modelo e suas respectivas fontes

Variável	Descrição	Fonte
Número de estabelecimentos	Número de estabelecimentos agropecuários no município	Censo Agropecuário
Valor da produção	Valor da produção agropecuária do município em Mil reais. Valores de 2017 corrigidos pelo deflator implícito do PIB.	Censo Agropecuário
Terra	Área dos estabelecimentos agropecuários do município em hectares	Censo Agropecuário
Capital	Número de tratores existente nos estabelecimentos agropecuários	Censo Agropecuário
cap_control ²	Dummy associada a incidência de observações zero de trator	Battese (1997)
Trabalho	Número de pessoas ocupadas nos estabelecimentos com e sem laço de parentesco com o produtor	Censo Agropecuário
Proprietário	Número de produtores que são proprietários dos estabelecimentos	Censo Agropecuário
Ensino fundamental	Número de produtores que cursaram até o ensino fundamental	Censo Agropecuário
Ensino médio	Número de produtores que cursaram até o ensino médio	Censo Agropecuário
Ensino superior	Número de produtores que cursaram nível superior	Censo Agropecuário
Assistência técnica	Número de produtores que receberam assistência técnica	Censo Agropecuário
Associado	Número de produtores que são associados à cooperativa ou entidade de classe	Censo Agropecuário
Adubação	Número de produtores que fizeram adubação	Censo Agropecuário
Agrotóxico	Número de produtores que utilizaram agrotóxico	Censo Agropecuário
Prepara o solo	Número de estabelecimentos com preparo do solo	Censo Agropecuário
Prática agrícola	Número de estabelecimentos que realizaram alguma prática agrícola	Censo Agropecuário
Irrigação	Número de estabelecimentos com uso de irrigação	Censo Agropecuário
GDD	Graus-dia de crescimento	Soares e Marin (2021)
SEA	Sazonalidade da temperatura	Soares e Marin (2021)
ARI	Índice de aridez	Soares e Marin (2021)
CAD	Água total disponível na profundidade do solo	Soares e Marin

² A utilização de uma variável dummy associada a incidência de observações zero em uma variável de entrada da função de produção é apresentada no trabalho de Battese (1997), para que não sejam desprezadas as observações associadas a esses valores. Para mais detalhes sobre a construção dessa variável, ver Battese (1997).

	enraizável	(2021)
Precipitação anual	Precipitação média anual em milímetros no município	Camarillo-Naranjo <i>et al.</i> (2019)
Temperatura média anual	Temperatura média anual em graus celsius no município	Camarillo-Naranjo <i>et al.</i> (2019)
Precipitação 2	Precipitação média anual em milímetros no município elevada ao quadrado	Camarillo-Naranjo <i>et al.</i> (2019)
Temperatura2	Temperatura média anual em graus celsius no município elevada ao quadrado	Camarillo-Naranjo <i>et al.</i> (2019)

Fonte: elaborado pela autora

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção é apresentada a análise dos resultados obtidos a partir da estimação do modelo de fronteira estocástica e decomposição da produtividade aplicados para os dados da agropecuária do Semiárido brasileiro nos anos de 2006 e 2017. Essa aplicação foi realizada para que fosse possível compreender o panorama do setor agropecuário da região, considerando que o Semiárido congrega uma grande extensão territorial e uma porção considerável da população rural brasileira. Além disso, as características da região são fatores de grande importância para as atividades agropecuárias, o que exige uma análise direcionada para que se possa compreender o comportamento mais recente do setor e determinar os principais fatores responsáveis pela atual configuração da agropecuária na região semiárida.

A análise é guiada pelas seguintes perguntas: 1) como a produtividade da agropecuária do Semiárido se comportou no período dos últimos dois censos agropecuários? 2) Quais são os fatores responsáveis por ditar essa dinâmica?

5.1. Estatísticas descritivas

As Tabelas 5 e 6 reportam as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas no modelo de fronteira estocástica de produção estimado. Optou-se por dividir a apresentação das variáveis em duas tabelas, uma com as variáveis contínuas e outra com a distribuição de frequência das variáveis categóricas.

Tabela 5. Estatísticas descritivas de variáveis que compõem o modelo de fronteira estocástica de produção

Variáveis	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Nº de estabelecimentos	1478,28	19	9191	1291,61
Valor da produção (em mil reais)	26192,64	96,9	1916808	68726,70
Terra (ha)	43350,54	318	965502	55421,23
Capital (nº de tratores)	40,63	0	1689	83,18
Trabalho (nº de trabalhadores)	4605,90	37	45813	4311,20
Proprietário	1113,20	14	8041	1028,97
Ensino fundamental	587,46	3	4488	524,95
Ensino médio	280,19	1	3612	397,38
Ensino superior	24,74	0	520	30,14
Assistência técnica	131,82	0	2151	176,37
Associado	632,28	0	5462	660,57
Adubação	331,26	0	5777	532,66
Agrotóxico	320,80	0	4166	479,43
Prepara o solo	793,45	0	6779	841,99
Prática agrícola	863,39	0	6518	843,11
Financiamento	210,60	0	1511	198,38
Irrigação	129,09	0	4676	268,57
Precipitação média anual (mm)	817,47	159,4	1817,1	282,54
Temperatura média anual (°C)	25,51	21,215	29,26	1,65

Fonte: elaborada pela autora

Neste trabalho, cada município do Semiárido é uma observação tratada em dois Censos Agropecuários, que totalizam 2524 observações, sendo 1262 em 2006 e os mesmos 1262 em 2017. Em média, existem 1478 estabelecimentos agropecuários em cada município, mas com uma discrepância considerável entre eles, pois esses municípios são de tamanhos diferentes, com observações que agrupam uma população de menos de 2 mil habitantes e outros com mais de 500 mil. A distribuição das variáveis demonstra a heterogeneidade da amostra, havendo municípios com pouca representatividade, e outros que concentram uma parcela maior dos recursos utilizados nas atividades agropecuárias da região.

Tabela 6. Distribuição de frequência das variáveis categóricas que compõem o modelo de fronteira estocástica de produção

Variável	Classe	Frequência	Percentual (%)	Acumulado (%)
GDD	5	166	13.15	13.15
	6	383	30.35	43.5
	7	344	27.26	70.76
	8	282	22.35	93.11
	9	87	6.89	100
SEA	1	7	0.55	0.55
	2	1,060	83.99	84.55
	3	195	15.45	100
ARI	1	428	33.91	33.91
	2	753	59.67	93.58
	3	72	5.71	99.29
	4	9	0.71	100
CAD	100	409	32.41	32.41
	125	699	55.39	87.8
	150	128	10.14	97.94
	175	26	2.06	100

Fonte: elaborada pela autora

As variáveis categóricas utilizadas no modelo são quase todas retiradas do trabalho de Soares e Marin (2021). Esses indicadores são utilizados pelos autores para classificar zonas climáticas homogêneas para produção agrícola de culturas específicas. A distribuição do GDD, do SEA, do IA e do CAD mostram que a amostra possui uma boa disponibilidade energia, com a maior parte da amostra enquadrada nos grupos de temperatura acima da mínima necessária para o crescimento de plantas, mas certa variabilidade da temperatura, e quase 94% dos municípios apresentam alta aridez e menor disponibilidade de água no solo. Isso demonstra a fragilidade que a região possui para o desenvolvimento das atividades agropecuárias em decorrência de suas características edafoclimáticas.

5.2. Resultados do modelo empírico

A Tabela 7 permite que seja inferido, por meio da análise dos coeficientes, a influência que as variáveis reportadas exercem na produção agropecuária do Semiárido, representado aqui pelo valor da produção. Dentre os fatores de produção, nota-se que as

variáveis trabalho, capital e terra, nessa ordem, exercem os maiores impactos positivos sobre o valor da produção da agropecuária na região semiárida.

Tabela 7. Resultados do modelo empírico

Variável	Coeficiente
BA	-0.2576*** (0.0958)
CE	0.0713 (0.0972)
MA	-0.5985* (0.3368)
MG	-0.2435** (0.1080)
PB	-0.0490 (0.0909)
PE	0.2246** (0.0917)
PI	-0.6677*** (0.1022)
RN	0.0299 (0.0929)
SE	-0.0119 (0.1157)
Ln_terra	0.1965*** (0.0209)
Ln_trabalho	0.4256*** (0.0272)
Ln_capital	0.3168*** (0.0169)
cap_control	0.3488*** (0.0566)
t	-0.2741*** (0.0405)
GDD	0.0410 (0.0316)
SEA	-0.1722*** (0.0462)
ARI	0.0272 (0.0306)
CAD	0.0014* (0.0008)
Precipitação anual	0.0002 (0.0002)
Temperatura média	-0.5574**

	(0.2559)
Precipitação ²	0.0000 (0.0000)
Temperatura ²	0.0111** (0.0051)
Constante	10.4282*** (3.2777)
Insig ^{2v} Constante	-0.9782*** (0.0324)
Insig^{2u}	
Associado	-0.0005 (0.0004)
Irrigação	-0.0141*** (0.0038)
Prepara o solo	0.0006** (0.0003)
Prática agrícola	-0.0003 (0.0002)
Agrotóxico	0.0009** (0.0003)
Adubação	-0.0018*** (0.0006)
Assistência técnica	-0.0026* (0.0015)
Proprietário	-0.0002 (0.0003)
Ensino fundamental	0.0014** (0.0006)
Ensino médio	0.0021*** (0.0006)
Ensino superior	-0.0705*** (0.0152)
Constante	-1.0433*** (0.2761)
Total de observações	2524
Log likelihood	-2440
Wald Chi ²	2734.02
Prob > Chi ²	0.000

Fonte: elaborada pela autora.

Notas: Desvio-padrão dos coeficientes entre parênteses;

*** Significância a 1%; ** significância a 5%; * significância a 10%.

Os coeficientes estimados para os três insumos tradicionais podem ser interpretados como elasticidades, visto que tanto produto como fatores de produção estão na forma logarítmica. Um aumento de 1% da área pode aumentar em 0,20% o valor da produção,

enquanto o aumento de 1% das unidades de capital e na força de trabalho gera 0,32% e 0,43% de aumento no produto, respectivamente.

O fato de o trabalho ser importante para o desempenho da atividade no Semiárido está associado às características da atividade na região. Em média, cada estabelecimento possui 3 pessoas ocupadas, enquanto a média de unidades de tratores é de apenas 0,032 unidades por estabelecimento, demonstrando que a agropecuária da região é mais intensiva no uso do fator trabalho. Mesmo com baixa intensidade no uso do capital, a elasticidade desse fator se mostra significativa, o que evidencia a importância da adoção de tecnologia para impulsionar a agropecuária no Semiárido.

Vieira Filho (2013) analisou que o produtor é estimulado a adquirir ou incorporar um insumo ou tecnologia se espera que essa ação traga ganhos de produtividade, entretanto, essa aquisição pode ter um custo muito elevado, não compensando o retorno esperado. Considerando a composição da amostra estudada, composta por uma maioria de produtores familiares situados em estabelecimentos de menos de 50 hectares, entende-se que seria muito difícil que a adoção de novas tecnologias, como um trator, por exemplo, fosse possível para grande parte dos agricultores do Semiárido, levando em conta os custos financeiros.

As variáveis binárias que representam os estados sinalizam que estar localizado no semiárido da Bahia, no Maranhão, em Minas Gerais e no Piauí, impactou negativamente para os resultados da agropecuária dos municípios, em comparação a Alagoas. De modo oposto, os municípios situados no Pernambuco se beneficiam. De modo geral, o modelo captou uma tendência linear negativa, o que significa dizer que, entre os dois períodos censitários (de 2006 para 2017), o resultado da produção diminuiu.

Como este estudo é direcionado para uma área que é definida a partir de características climáticas, utilizar variáveis que captem esse ambiente é de grande importância para que se tenha a compreensão de como essas características impactam nas atividades agropecuárias desenvolvidas na região.

A sazonalidade da temperatura, representada por SEA, indica a variabilidade da temperatura durante o ano (Soares e Marin, 2021). Para o modelo estimado, o coeficiente dessa variável indica que quanto maior a variabilidade da temperatura durante o ano, menor é o resultado da produção agropecuária. Esse efeito é esperado, pois existe uma faixa ótima de temperatura favorável ao crescimento das plantas, e variações abruptas dessa variável climática pode prejudicar o desenvolvimento das espécies vegetais (Righi *et al.*, 2005).

A capacidade do solo de reter água na profundidade da raiz da planta é captada pelo CAD, e aqui nesta pesquisa foi identificado que os maiores valores desse índice aumentam o

valor da produção agropecuária. Essa capacidade de armazenar água está relacionada ao tipo de solo, onde os mais argilosos conseguem reter mais esse recurso e os menos estruturados e arenosos apresentam menor capacidade de sustentar umidade (Soares e Marin, 2021).

O efeito da temperatura média anual, conforme aponta o modelo, é negativo, ou seja, maiores médias de temperatura impactam negativamente o resultado da agropecuária na região. A forma quadrática dessa variável teve sinal estimado positivo, de modo que os efeitos estimados são positivos quando a temperatura já é elevada relativamente à base de comparação.

Apesar de a região possuir a característica de baixo índice pluviométrico, e uma variabilidade espacial das chuvas, o que está diretamente ligado as condições de produção agropecuária (Correia *et al.*, 2011), a variável de precipitação média anual não apresentou coeficiente estatisticamente significativo, embora com o sinal esperado *a priori*.

Considerando as variáveis tomadas como determinantes da ineficiência, verifica-se que as variáveis associado, prática agrícola e proprietário não obtiveram coeficientes estatisticamente significantes, e por isso não são analisadas.

A utilização de agrotóxicos e preparação do solo são variáveis que aumentam a ineficiência da amostra. Esse efeito pode ser devido ao custo para adquirir os insumos e aplicação da técnica, tendo em vista os equipamentos e o tipo de mão de obra necessários. Por outro lado, a adubação, que pode ser uma técnica onerosa, mostra uma capacidade de reduzir a ineficiência dos produtores da região, reforçando a importância da fertilidade do solo para as atividades agropecuárias.

Apesar do baixo percentual de estabelecimentos com acesso à assistência técnica, apenas 8% para ambos os anos considerados na análise, essa variável tem o potencial de reduzir a ineficiência técnica da amostra. Esse efeito corrobora com a literatura de economia agrícola, que destaca a importância desse serviço para o desenvolvimento das atividades agropecuárias. Conforme a análise de Viera Filho (2013), os serviços de assistência técnica são de grande importância para se desenvolver as atividades agropecuárias, melhorando o ambiente organizacional, permitindo uma maior troca de experiência entre os agentes, e tornando o processo de difusão tecnológica mais rápido. Assim como a baixa intensidade do uso do capital, o pouco acesso à assistência técnica é uma questão que ajuda a explicar a fragilidade da agropecuária da região.

Ainda sob esse prisma de incorporação de técnicas, a irrigação é um método que se apresenta como uma das mais citadas soluções para superar as intempéries da agricultura no Semiárido, pois a restrição hídrica faz parte da realidade local. De forma esperada, portanto, o

aumento da utilização dessa técnica se mostra com potencial para reduzir a ineficiência técnica da agropecuária na região. Entretanto, para que a irrigação possa ser utilizada, é preciso que haja disponibilidade de água, pois a agricultura é uma atividade que demanda um volume grande desse recurso.

O grau de escolaridade dos produtores é um elemento de grande importância em análises com a desenvolvida aqui. Isso porque um estoque maior de capital humano amplia a percepção dos agentes e os faz tomar melhores decisões (Reis, Moreira e Cunha, 2017). Isso é demonstrado no resultado do modelo empírico, onde se verifica que a maior proporção de produtores com ensino fundamental e médio tem o efeito de ampliar a ineficiência técnica, enquanto a maior proporção de produtores com ensino superior provoca o efeito contrário, de reduzir essa ineficiência.

5.3. Análise da decomposição da produtividade

Para expressar a relação entre a fronteira estocástica de produção estimada e a produção realmente obtida pelos produtores agropecuários do Semiárido, tem-se a medida de eficiência técnica. A média dessa medida na amostra analisada é de 82,5%, variando de 33,7% a 100%, em que esta configura uma unidade produtora eficiente, trabalhando na fronteira. A Tabela 8 contém as estatísticas descritivas da eficiência técnica estimada desses produtores do Semiárido segregada por estado. Grande parte da amostra, 95%, possui um nível de eficiência acima de 60%.

Tabela 8. Eficiência técnica dos produtores do Semiárido por estado

Estado	Média	Desvio padrão	Min	Max
AL	0.7917	0.1223	0.4192	0.9978
BA	0.8797	0.1162	0.4173	1.0000
CE	0.8341	0.1229	0.4029	1.0000
MA	0.8653	0.1051	0.7505	0.9988
MG	0.8788	0.1034	0.5698	1.0000
PB	0.7977	0.1115	0.3859	0.9994
PE	0.8496	0.1380	0.3575	1.0000
PI	0.7701	0.1124	0.3988	1.0000
RN	0.7694	0.1093	0.3374	0.9985
SE	0.8573	0.1038	0.6013	0.9997
Semiárido	0.8257	0.1242	0.3374	1.0000

Fonte: elaborada pela autora

O menor nível de eficiência foi registrado no estado do Rio Grande do Norte, no município de Pedra Grande em 2006. Pondo este município em comparação com a média da amostra, tem-se que para atingir um valor da produção de, em média, R\$ 9.300,00 por estabelecimento em 2006 esse município tinha disponível uma área de 56 hectares, 3 trabalhadores e 0,69 unidades de trator por estabelecimento, em média, enquanto o conjunto dos dados possui um resultado de R\$ 17.720,00, em média, por estabelecimento, e tinha disponível 9 hectares, 3 trabalhadores e 0,032 unidades de trator por estabelecimento.

No outro extremo, com os mais altos valores de eficiência técnica estão Teresina (PI) em 2006 e 2017, Jaíba (MG) em 2017, Curaçá (BA) em 2017, Livramento de Nossa Senhora (BA) em 2017, Juazeiro (BA) em 2006 e 2017, Santa Maria da Boa Vista (PE) em 2006 e 2017 e Petrolina (PE) em 2006 e 2017. Essas unidades, nos anos mencionados, alcançaram 100% de eficiência técnica estimada.

O que todos esses municípios têm em comum é a forte presença do cultivo de frutas em seu território (IBGE, 2009;2019a). Os municípios baianos e pernambucanos destacados se localizam nas margens do Rio Francisco e fazem parte do Polo Petrolina/Juazeiro, reconhecido como o mais expressivo exemplo dos impactos modernizantes da agricultura irrigada nordestina, uma área pioneira na implantação dos grandes projetos públicos e privados de irrigação e (Barbosa, Lima e Ferreira, 2020).

A Tabela 9 apresenta os valores médios por estado do índice de PTF e a sua decomposição em 5 outros índices, são eles: o OTI, que é um índice de tecnologia e capta o crescimento da produtividade associado à introdução de novos sistemas e métodos no processo produtivo; o OEI, que é índice ambiental que capta o crescimento da produtividade associado a fatores observados e não observados do ambiente de produção, como a precipitação, temperatura; o OSEI, um índice de eficiência de escala que mede ganhos ou perdas de produtividade associados a economias de escala; o OTEI, um índice de eficiência técnica que capta o crescimento da produtividade associado a movimentos de aproximação e afastamento da fronteira; e por último tem o SNI, um índice de ruído estatístico que capta as flutuações na produtividade devido a fatores que não podem ser identificados.

Tabela 9. Índices médios da PTF e de seus componentes por estado analisado

Estado	TFPI	OTI	OEI	OSEI	OTEI	SNI
AL	1.35	0.88	1.22	1.06	0.96	1.15
BA	1.00	0.88	0.88	1.03	1.07	1.15
CE	2.07	0.88	1.46	1.06	1.01	1.36
MA	0.85	0.88	0.96	1.02	1.05	0.97
MG	1.15	0.88	0.94	1.05	1.07	1.21
PB	1.33	0.88	1.06	1.12	0.97	1.18
PE	1.79	0.88	1.39	1.06	1.03	1.28
PI	0.75	0.88	0.73	1.09	0.93	1.11
RN	1.62	0.88	1.28	1.13	0.93	1.27
SE	1.23	0.88	1.24	1.06	1.04	1.03
Semiárido	1.34	0.88	1.08	1.07	1.00	1.21

Fonte: Elaborada pela autora

Pela observação da Tabela 9 é possível perceber que o estado com índice médio de PTF mais alto é o Ceará, seguido por Pernambuco e Rio Grande do Norte, enquanto os mais baixos são os valores do Piauí, Maranhão e Bahia, nessa ordem. Observando a decomposição da PTF, nota-se que, para esses estados, o índice ambiental é o componente que mais contribuiu com os valores desse indicador, inclusive, a sua ordem de grandeza é mesma para os três estados com os maiores índices de PTF. Essa mesma dinâmica é repetida quando se considera toda a região semiárida.

Ao buscar pelos municípios que alcançaram os maiores e os menores valores de PTF, confirma-se a relevância do componente ambiental na determinação do índice de produtividade. O município de Uruburetama-CE em 2006 registrou o maior índice de PTF, seguido por Galinhos-RN e Borborema-PB, nesse mesmo ano. Entre os municípios com os valores mais baixos do índice de PTF estão, nessa ordem, Santo Antônio dos Milagres-PI em 2006, Verdejante-PE e Central-BA em 2017.

Com o intuito de verificar como a produtividade se comportou ao longo do período estudado, a Tabela 10 apresenta os resultados da taxa anual de crescimento do índice de PTF e da sua decomposição para o período 2006-2017. Nessa tabela são informadas as médias das taxas de crescimento da PTF da agropecuária do Semiárido, e sua decomposição separada por estado.

Tabela 10. Taxa de crescimento da PTF e sua decomposição para agropecuária do Semiárido

Estado	TFPI	OTI	OEI	OSEI	OTEI	SNI
AL	-4.09%	-2.46%	0.39%	0.00%	0.57%	-2.64%
BA	-1.88%	-2.46%	-0.44%	-0.07%	1.11%	-0.01%
CE	-3.49%	-2.46%	-0.20%	0.02%	0.03%	-0.93%
MA	-2.06%	-2.46%	-0.10%	0.05%	0.12%	0.37%
MG	-1.57%	-2.46%	-0.67%	-0.17%	0.74%	1.01%
PB	-2.67%	-2.46%	-0.98%	0.01%	0.75%	-0.01%
PE	-3.49%	-2.46%	0.04%	0.01%	0.80%	-1.88%
PI	-0.25%	-2.46%	0.11%	-0.01%	0.82%	1.31%
RN	-0.47%	-2.46%	-1.40%	0.01%	0.75%	2.65%
SE	2.17%	-2.46%	0.29%	-0.13%	1.16%	3.36%
Semiárido	-1.93%	-2.46%	-0.45%	-0.02%	0.75%	0.26%

Fonte: Elaborada pela autora.

Chama a atenção as taxas decrescentes em praticamente todos os estados, com exceção do Sergipe, onde a produtividade cresceu, em média, 2,17% ao ano entre 2006 e 2017, puxada pelo índice de eficiência técnica e o índice ambiental. Já Alagoas, o estado onde a taxa de crescimento do OEI foi positiva, de maior magnitude, foi justamente o estado com a maior queda da taxa de crescimento da PTF, condicionada principalmente pela perda de desempenho da produção, captado pelo OTI, e por choques aleatórios.

Os estados do Ceará, Pernambuco, Paraíba, Maranhão, Bahia, Minas Gerais, Rio Grande do Norte e o Piauí apresentaram crescimento negativo de produtividade em suas porções semiáridas. Com isso, vê-se que o Semiárido como um todo reduziu sua produtividade agropecuária em 1,93% ao ano entre 2006 e 2017, influenciado principalmente pelo comportamento do OTI, e também pelo índice ambiental. O crescimento da eficiência técnica no período atuou como um componente importante para mitigar os impactos negativos sobre a PTF, visto que teve um crescimento positivo em todos os estados, com destaque para a Bahia.

Ao realizar uma análise sobre a agropecuária do Semiárido entre os anos censitários de 2006 e 2017, é importante levar em consideração a grande seca que assolou a região entre 2012 e 2017, impactando negativamente sua produção agrícola (Santana e Santos, 2020).

Dedicando-se a averiguar as possíveis implicações desse período de seca na agropecuária do Semiárido, a Tabela 11 exhibe as variações do volume da precipitação anual com base no ano imediatamente anterior. Nota-se que a região enfrentou uma redução no volume de chuvas no período. A última coluna mostra essa variação entre 2006 e 2017, onde observa-se que houve uma redução importante da quantidade chuvas, mais severamente nas porções semiáridas do Rio grande do Norte, da Paraíba e de Minas gerais. Os únicos estados

em que a precipitação de 2017 foi maior que em 2006 foram Alagoas e Sergipe, os mesmos estados que apresentaram as maiores taxas de crescimento do OEI.

Tabela 11. Variação do volume de precipitação no Semiárido por UF (mm)

Estado	2011 (2010)	2012 (2011)	2013 (2012)	2014 (2013)	2015 (2014)	2016 (2015)	2017 (2016)	2017-2006
MA	404	-447.7	-8.7	102.4	-289.6	-38.3	343.7	-256.9
PI	206.7	-335.2	196	6.4	-188.5	98.9	59.5	-124.9
CE	328.4	-522.3	80.8	93	-86.5	12.2	136.5	-132.3
RN	324.9	-567.1	256.5	17	-122.7	-12.3	77.6	-502.7
PB	385.7	-696.4	338.1	44.6	-174.4	-7	94.3	-443.7
PE	278.9	-571	351.7	59.6	-235.4	-22.9	245.9	-99.2
AL	135.5	-434.7	356.3	100.4	-266	-72.2	532.3	173.6
SE	42.9	-387.4	312.6	84.7	-124.9	-148.8	473	134
BA	55.5	-303.7	258.8	-38.7	-103	174.1	-132.1	-257.4
MG	44.1	-319.7	462	-424.8	-83.9	351.3	-175	-343.4
Semiárido	220.7	-458.5	260.4	4.5	-167.5	33.5	165.6	-185.3

Fonte: Elaborado pela autora com base em Camarillo-Naranjo *et al.* (2019)

Além da menor intensidade da seca, Sergipe tem 2,3% dos municípios do semiárido, mas detém, em média, 8,37% da produção de leite e 3,5% da produção de goiaba e 16% da produção de milho da região, três dos dez produtos agropecuários cuja quantidade produzida mais cresceu no período de 2006 a 2017, de acordo com dados da PAM e da PPM (IBGE, 2018a; 2018b). Porém, a taxa de crescimento da quantidade produzida de goiaba em Sergipe foi bem maior, registrando um crescimento de 81,21% ao ano entre 2006 e 2017, enquanto o Semiárido registrou um crescimento de 3,9% desse produto. Os municípios sergipanos de Canindé de São Francisco e Poço Redondo são os que se destacam na produção da goiaba, produzindo 98% do total da fruta do semiárido sergipano, e passaram a contar, a partir de 2014, com uma infraestrutura propícia para esse cultivo, como o perímetro irrigado. Já em relação ao leite, o estado de Sergipe mostrou um crescimento de 3,9% ao ano e o Semiárido de 2%. Quantidades produzidas desse produto foram registradas em todos os municípios localizados na parte semiárida do estado, mas os que concentram a maior parte da produção são Nossa Senhora da Glória, Poço Redondo e Porto da Folha, Canindé de São Francisco e Gararu, que juntos representam 63% da produção de leite do semiárido de Sergipe.

A Tabela 12 traz uma melhor compreensão sobre como os principais produtos da agropecuária se comportaram no período entre os censos, assim como também mostra as

reações da atividade perante o período de maior seca. Em termos de área colhida, apenas a soja, a uva e o melão expandiram suas lavouras entre 2006 e 2017, e esses aumentos de área foram acompanhados de aumentos da quantidade produzida, sobretudo nas lavouras de uva, que com uma taxa de crescimento anual de 1% da área conseguiu aumentar mais de 5% ao ano da sua quantidade produzida.

As lavouras de soja apresentaram as maiores taxas de crescimento do período, com um aumento de 7,8% ao ano da área colhida e de 11% ao ano da quantidade produzida. Na comparação com a produção nacional, em 2017 a região semiárida produziu 2,6% da soja brasileira, com suas plantações localizadas quase que exclusivamente nos municípios que fazem parte da região do MATOPIBA. Já os produtos da pecuária apresentaram variação positiva, com o leite passando por uma redução da sua produção em 2012, primeiro ano de seca, mas se recuperou nos anos seguintes.

Com exceção da soja e do melão, todos os demais produtos reduziram a sua área colhida em 2012, com destaque para o milho e o feijão, que reduziram quase 50% de suas lavouras. Já a mandioca é a cultura que mais reduziu seu produto no período entre os Censos, registrando redução de 10,8% ano entre 2006 e 2017. Ao constatar grande volatilidade no período de 1991 a 2017 da área cultivada, produção, valor da produção e produtividade das lavouras de feijão, mandioca e milho para as áreas semiáridas do Ceará e Rio Grande do Norte, que são os estados com maior número relativo de municípios no Semiárido, Lemos e Santiago (2020) afirmaram que essas culturas são muito instáveis principalmente por serem culturas de sequeiro, ou seja, dependem das chuvas para se desenvolverem, e porque são cultivados, em maioria, por agricultores familiares, que na região possuem como característica a baixa capitalização. Desta forma, esses cultivos estão muito sensíveis às variações climáticas, e acabam por sofrerem grande variação nos seus resultados nos anos com menor precipitação.

Esses três produtos são os que ocupavam a maior parte da área dedicada a agricultura na região semiárida em 2017, 6,4% do total, o que parece pouco, mas deve-se considerar que apenas 30% das terras da região são para essa atividade, enquanto 70% são destinadas a pecuária. Adicionalmente, a agricultura contribuiu com 50% do valor da produção nesse mesmo ano, e os 50% eram da pecuária, que ocupava uma porção de terras bem superior (IBGE, 2019a). A partir dessas informações, é possível compreender que a produtividade da agropecuária do Semiárido foi afetada pela seca que ocorreu entre 2012 e 2017 na região.

Tabela 12. Variação da área colhida e da quantidade produzida dos principais produtos da agropecuária do Semiárido

Cultura/Produto	Área colhida (hectares)												Variação média (2006-2017)
	2006 (2005)	2007 (2006)	2008 (2007)	2009 (2008)	2010 (2009)	2011 (2010)	2012 (2011)	2013 (2012)	2014 (2013)	2015 (2014)	2016 (2015)	2017 (2016)	
Soja	1.8%	-1.2%	10.8%	18.5%	10.3%	9.8%	2.3%	13.3%	9.9%	5.2%	0.8%	8.0%	7.8%
Milho	4.1%	3.5%	0.5%	3.0%	-20.0%	16.5%	-49.9%	11.3%	32.7%	-2.5%	-18.5%	20.2%	-3.1%
Banana	6.9%	3.8%	1.7%	-1.4%	6.9%	1.1%	-6.4%	-0.7%	-2.0%	2.6%	-7.5%	0.8%	-0.2%
Uva	4.1%	6.2%	3.5%	-4.1%	5.3%	-8.1%	-3.3%	-0.9%	6.0%	0.0%	1.6%	5.2%	0.9%
Manga	19.6%	2.4%	-1.5%	6.1%	-2.8%	0.1%	-4.8%	-1.7%	1.7%	-9.9%	3.8%	-0.3%	-0.7%
Mandioca	-4.7%	1.7%	-1.7%	-6.5%	-1.5%	-14.2%	-1.4%	-30.4%	7.2%	4.7%	-14.0%	-22.2%	-7.8%
Cana-de-açúcar	-0.3%	20.5%	0.1%	-8.3%	51.0%	-4.4%	-18.4%	-2.4%	-4.6%	-12.1%	1.2%	-25.3%	-1.9%
Algodão herbáceo	-23.6%	-0.2%	-14.4%	-19.9%	11.7%	59.9%	-23.3%	0.5%	-7.7%	4.5%	-19.7%	-19.7%	-4.7%
Feijão	3.0%	-5.5%	1.5%	2.3%	-21.7%	12.0%	-49.8%	15.7%	32.5%	-11.1%	-13.9%	13.6%	-4.9%
Café	-7.7%	6.5%	-2.9%	1.4%	-1.7%	1.5%	-1.0%	1.0%	-1.4%	-3.5%	-2.9%	-34.9%	-4.1%
Melão	40.7%	1.6%	-32.7%	17.0%	9.0%	2.8%	18.6%	-2.9%	0.3%	-6.5%	13.6%	2.0%	1.1%
Quantidade produzida													
Leite de vaca	8.3%	6.7%	3.3%	7.9%	5.7%	4.1%	-17.9%	1.7%	10.6%	4.0%	-2.4%	1.8%	2.0%
Soja (em grão)	-15.8%	12.0%	32.7%	-0.7%	25.0%	23.2%	-4.7%	-22.2%	28.9%	28.0%	-33.0%	69.3%	11.0%
Ovos de galinha	3.6%	-1.4%	8.1%	4.7%	1.6%	4.0%	5.3%	6.3%	6.1%	4.7%	6.8%	12.1%	5.3%
Milho (em grão)	16.0%	-6.1%	47.1%	1.9%	-19.0%	20.9%	-49.7%	40.4%	34.5%	-12.7%	-50.7%	123.1%	2.1%
Banana (cacho)	14.2%	2.1%	0.8%	-0.9%	5.6%	4.8%	-15.6%	0.2%	4.9%	-2.7%	-9.2%	5.7%	-0.6%
Uva	4.5%	5.4%	-9.0%	-5.4%	9.7%	-1.6%	3.0%	0.3%	9.1%	0.4%	41.8%	12.5%	5.3%
Manga	38.4%	2.5%	-15.5%	8.9%	-3.7%	4.2%	-9.8%	2.3%	-0.9%	-17.9%	21.4%	1.3%	-1.2%
Mandioca	-5.2%	-1.6%	-0.2%	-10.8%	-6.4%	-5.5%	-31.5%	-31.3%	28.9%	2.6%	-21.9%	-24.4%	-10.8%
Feijão (em grão)	10.9%	-24.8%	26.6%	-17.0%	-31.0%	34.6%	-74.2%	109.0%	30.4%	-9.1%	-43.6%	54.5%	-7.8%
Cana-de-açúcar	-2.7%	25.3%	-3.4%	-8.4%	49.8%	-0.6%	-26.6%	3.5%	-5.2%	-9.1%	-0.5%	-21.1%	-1.5%
Algodão herbáceo	-9.6%	24.1%	-5.7%	-35.2%	44.7%	66.1%	-28.8%	-10.9%	-13.7%	44.0%	-28.9%	4.4%	0.6%
Café (em grão)	13.4%	5.6%	3.3%	3.5%	-9.8%	1.1%	-15.2%	17.0%	9.0%	-0.5%	-31.4%	-24.4%	-4.9%
Melão	44.6%	-1.3%	-33.5%	20.4%	19.7%	2.6%	16.9%	-1.4%	4.0%	-11.6%	15.5%	-9.8%	0.6%

Fonte: PAM e PPM (IBGE, 2018a; 2018b)

Para que se tivesse uma percepção melhor sobre o comportamento da produtividade da região, e de como as características de semiaridez são impactantes para a agropecuária, a Tabela 13 mostra uma comparação do índice de PTF e de produto calculados neste trabalho com os que foram analisados por Gasques *et al.* (2020). Esses autores analisaram a produtividade total dos fatores da agropecuária nos estados da federação para os anos censitários de 1970 a 2017, mas traz também um recorte entre 2006 e 2017, que é o extrato utilizado para comparação, enquanto a análise desenvolvida aqui restringe-se a analisar a zona semiárida dos estados reportados na tabela 13. Os dados utilizados pelos autores também foram extraídos dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017, mas a metodologia utilizada para calcular a PTF é diferente da que foi usada nesta pesquisa, o que pode explicar algumas diferenças de valores.

Tabela 13. Comparação do índice de PTF com Gasques *et al.* (2020)

UF	Nº de municípios	Nº de municípios no Semiárido	(%)	PTF Semiárido	PTF Gasques <i>et al.</i> (2020)	Produto Semiárido	Produto Gasques <i>et al.</i> (2020)
AL	102	38	37	-4.09%	-4,03%	-4.14%	-6,38%
BA	417	278	67	-1.88%	0,68%	-0.81%	0,86%
CE	184	175	95	-3.49%	-1,65%	-3.83%	-2,91%
MA	217	2	0.9	-2.06%	0,12%	-2.69%	0,34%
MG	853	91	11	-1.57%	2,9%	1.01%	3,67%
PB	223	194	87	-2.67%	-1,02%	-2.82%	-2,22%
PE	185	123	67	-3.49%	0,54%	-3.58%	-1,72%
PI	224	185	83	-0.25%	3,18%	-0.11%	3,96%
RN	167	147	88	-0.47%	3,21%	-0.55%	1,60%
SE	75	29	39	2.17%	0,49%	4.21%	1,52%

Fonte: Elaborada pela autora; Gasques *et al.* (2020).

Os resultados obtidos por Gasques *et al.* (2020) são, no geral, divergentes dos encontrados nesta pesquisa, seja com relação ao sinal ou a magnitude da taxa de crescimento da PTF, com exceção do estado de Alagoas, onde os resultados são bem próximos. As maiores diferenças são referentes aos resultados encontrados para Minas Gerais, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Piauí, nessa ordem.

As primeiras colunas da Tabela 13 mostram parte da explicação da diferença da taxa anual de crescimento da PTF de Minas Gerais. Como pode ser visto, apenas 91 municípios do

estado, 11%, fazem parte do Semiárido, que é a área considerada na análise deste trabalho, enquanto Gasques *et al.* (2020) utilizaram as informações para o estado todo. Uma situação diferente da encontrada nos estados do Rio Grande do Norte e Piauí, que mesmo tendo quase 90% dos seus municípios classificados como semiáridos, as suas respectivas taxas anuais de crescimento da PTF, considerando o estado todo, são 3,69% e 3,43% superiores das obtidas para as suas porções semiáridas. O Pernambuco, que tem um maior percentual de municípios fora do Semiárido também expressa uma diferença considerável entre os resultados deste trabalho e os encontrados por Gasques *et al.* (2020), com uma taxa anual 4,03% maior.

Os resultados para os demais estados, com exceção de Sergipe, também são divergentes, com taxas de crescimento da PTF menores em suas áreas semiáridas do que quando se considera os estados completos. Sergipe se compota de forma contrária aos demais, tendo tido um melhor desempenho na sua área semiárida. Essa taxa de crescimento da produtividade do semiárido sergipano foi abordado anteriormente e atribuída ao desempenho dos principais produtos que são produzidos no seu território.

Os principais entraves ao desenvolvimento da agropecuária da região, como defasagem tecnológica e assistência técnica não são restritos a zona semiárida, mas a todos os estados nordestinos (Castro, 2013). Entretanto, as características edafoclimáticas da parte semiárida desses estados somadas esses entraves tornam as atividades agropecuárias ainda mais difíceis de alcançarem bons resultados.

Na figura 3 é possível visualizar como se deu a variação da PTF nos municípios do Semiárido, onde em vermelho estão aqueles que registraram desempenho negativo e em verde os que registraram aumento do indicador. Em termos relativos, 60,8% dos municípios sofreram redução da produtividade e apenas 39,2% tiveram aumento do índice no período.

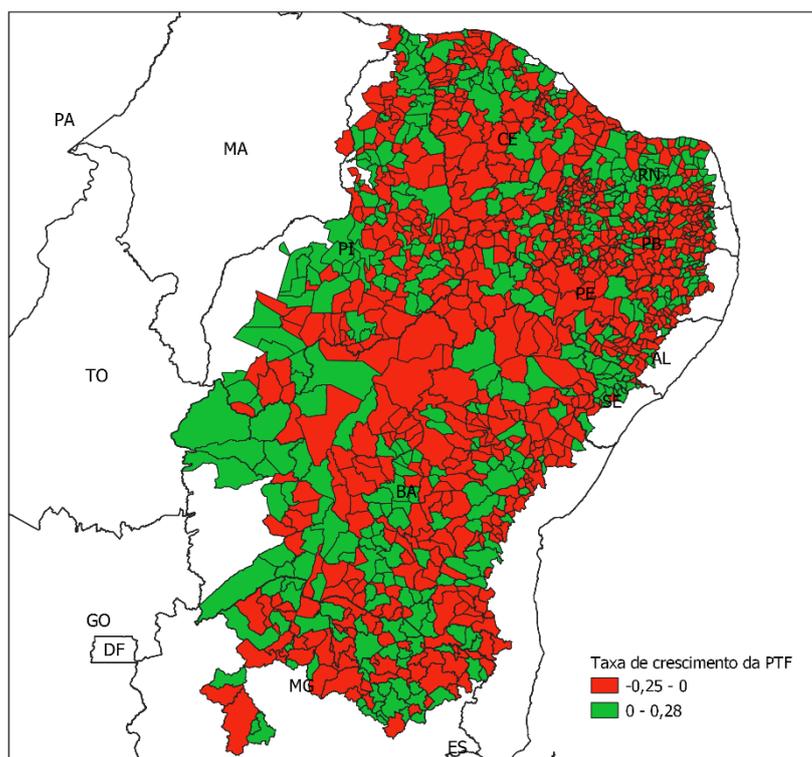


Figura 3. Variação anual da PTF nos municípios do Semiárido entre 2006 e 2017

Fonte: Elaborada pela autora

Apesar da maior parte dos municípios terem registrado redução de crescimento da PTF, algumas localidades experimentaram grandes aumentos nas suas taxas anuais de crescimento da produtividade, que podem ser observados na Tabela 14, onde estão dispostos os 10 municípios com as maiores taxas de crescimento, e aqueles com as maiores taxas negativas de crescimento do índice da PTF.

O Rio Grande do Norte tem três municípios entre os dez com as maiores taxas anuais de produtividade do período analisado, incluindo os dois primeiros. Esses resultados do estado são em decorrência da criação de animais. Pedra Grande, por exemplo, experimentou um significativo aumento da sua produção animal, sobretudo de ovinos, com seu efetivo subindo pouco mais de 200% entre 2006 e 2017 (IBGE, 2009; 2019a). Pendências se destaca na produção de camarão, sendo um dos maiores produtores do estado que lidera o ranking nacional da carcinicultura (Ximenes e Vidal, 2023). Sozinho, este município respondia por 17,5% do valor da produção de camarão do Rio Grande do Norte em 2017. Ielmo Marinho é um grande produtor de abacaxi, reforçando os resultados positivos observados da fruticultura na região.

Tabela 14. Municípios com maiores e menores taxas de crescimento anuais da PTF

Município	TFPI	OTI	OEI	OSEI	OTEI	SNI
Municípios com maiores taxas positivas de crescimento da PTF						
Pedra Grande (RN)	27.70%	-2.46%	-1.27%	0.43%	8.58%	21.60%
Pendências (RN)	26.71%	-2.46%	-1.23%	-0.30%	2.55%	28.63%
Pintadas (BA)	18.65%	-2.46%	-0.73%	0.13%	2.93%	18.90%
Águas Vermelhas (MG)	17.63%	-2.46%	-0.24%	-0.17%	1.53%	19.28%
Caridade (CE)	16.94%	-2.46%	0.05%	-0.04%	0.75%	18.99%
Sto Antônio dos Milagres (PI)	15.37%	-2.46%	1.09%	-0.32%	4.87%	11.92%
Padre Carvalho (MG)	14.89%	-2.46%	-0.46%	-0.01%	2.13%	15.88%
Angical do Piauí (PI)	14.61%	-2.46%	1.19%	-0.10%	2.79%	13.08%
Ielmo Marinho (RN)	14.51%	-2.46%	-1.97%	0.54%	2.25%	16.51%
Toritama (PE)	13.96%	-2.46%	-0.19%	0.21%	2.86%	13.56%
Municípios com maiores taxas negativas de crescimento da PTF						
Matinhas (PB)	-25.13%	-2.46%	-0.92%	-0.01%	-0.99%	-21.75%
São Luís do Curu (CE)	-25.05%	-2.46%	-0.67%	-0.02%	-0.52%	-22.22%
Galinhas (RN)	-24.28%	-2.46%	-0.40%	-0.24%	0.22%	-22.05%
Ibimirim (PE)	-23.97%	-2.46%	0.07%	-0.03%	-2.38%	-20.19%
Grão Mogol (MG)	-23.77%	-2.46%	-0.78%	-0.04%	-0.13%	-21.10%
Borborema (PB)	-23.41%	-2.46%	-1.21%	-0.13%	-0.76%	-19.80%
Natuba (PB)	-22.80%	-2.46%	-0.83%	0.15%	-1.13%	-19.41%
Caxingó (PI)	-22.47%	-2.46%	-1.08%	-0.05%	0.28%	-19.82%
Varjota (CE)	-22.43%	-2.46%	-0.01%	-0.63%	-0.79%	-19.32%
Poço das Trincheiras (AL)	-22.27%	-2.46%	-0.67%	-0.07%	-1.69%	-18.32%

Fonte: elaborada pela autora

Os municípios mineiros que se destacaram entre os que tiveram maior aumento de produtividade são Águas Vermelhas, cujo principal produto agropecuário é o eucalipto, com uma grande produção de carvão vegetal (Lima, 2020) e Padre Carvalho, que é um município pequeno e não possui um produto de grande destaque, mas a sua produção de mandioca aumentou cerca 32% entre 2006 e 2017, com valorização de preço, passando de R\$ 176,9 o preço da tonelada em 2006 (valor corrigido para 2017) para R\$ 536,3 em 2017 (Cepea, 2023).

Santo Antônio dos Milagres e Angical do Piauí figuram na lista dos dez municípios com maiores taxa de crescimento da produtividade. O primeiro não é uma localidade de destaque agrícola, com uma produção que seja representativa no estado ou região, mas seu índice de PTF em 2006 era o menor da amostra e em 2017 conseguiu ampliar sua posição, mas ainda figurando entre os 25% menores, com maior crescimento do valor da produção da

pecuária. O segundo teve seus resultados positivos muito em decorrência da expansão da sua produção de banana e de ovos de galinha (IBGE, 2018a; 2018b).

Pintadas (BA) é um município que tem na produção de origem animal o maior crescimento, registrando resultados positivos na produção de leite, ovos e mel. Caridade (CE) teve seus resultados puxados pelo aumento da produção de dois produtos, ovos de galinha e manga. Toritama (PE) está nessa lista devido por duas razões principais, o aumento da sua produção animal, sobretudo leite de vaca, e pela redução na utilização de insumos. Entre 2006 e 2017, esse município reduziu seu número de estabelecimentos, o número de trabalhadores e a utilização de práticas agrícolas e irrigação (IBGE, 2009; 2019a)

Direcionando a análise para os municípios com as menores taxas de crescimento da produtividade, os municípios paraibanos Matinhas, Natuba e Borborema tiveram uma redução do seu valor da produção em mais de 95% entre 2006 e 2017, e essa redução foi acompanhada pela drástica queda na produção de frutas nesses municípios, tais como banana, coco, laranja e manga. Essas reduções podem ter sido muito influenciadas pela redução de mais de 400 mm do volume de chuvas em Borborema e Natuba, e de mais de 300 mm em Matinhas, comparando 2006 com 2017. A partir de 2012, com a redução das chuvas, tanto o cultivo de frutas de sequeiro quanto os irrigados foram prejudicados, pois a redução do nível de água nos reservatórios levou a decisão de restrição da disponibilidade hídrica para irrigação a partir de 2014 no Nordeste (Vidal e Ximenes, 2016).

Grão Mongol (MG) sofreu uma redução acentuada do valor da produção no período, acompanhada de queda em quase todas as suas produções de frutas e grãos. Durante o período de 2006 a 2017 a produção de lenha, madeira e carvão, foi quem tomou lugar na produção agropecuária do município, mas, ao contrário de Águas Vermelhas, que fica na mesma região, o crescimento dessa atividade não foi suficiente para alavancar a produtividade do município (IBGE, 2018a).

Poço das Trincheiras (AL) é um município com pouca diversidade agropecuária, concentrando sua produção em feijão, mandioca, milho e leite, mas a pouca expansão que esses produtos tiveram foram insuficientes para provocar aumentos no resultado da produção. Caxingó (PI) e Galinhos (RN) são municípios com pouca representatividade agropecuária, e houve grande retração dessas atividades como um todo, com uma diminuição das terras dedicadas a produção e de seus valores da produção, que provavelmente foi influenciado redução de cerca de 500 mm de chuva em ambos os lugares entre 2006 e 2017 (Camarillo-Naranjo *et al.*, 2019).

Um resultado não esperado refere-se a São Luís do Curu (CE), Varjota (CE) e Ibimirim (PE) estarem na lista de maiores reduções de PTF, isso porque esses três municípios possuem perímetros públicos de irrigação, uma estrutura projetada para potencializar a agricultura irrigada e ampliar a produtividade do setor na região. Condizente com isso, esses municípios são tradicionais produtores de frutas, mas, justamente nesse segmento é que se concentram as maiores quedas de produção. Os perímetros de públicos de irrigação instalados nesses municípios são administrados pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), que enfrenta sérios problemas para administrar suas obras e recursos devido a deficiência de corpo técnico (Araújo e Amâncio Filho, 2014).

Expandindo um pouco mais a lista de municípios que registraram queda da taxa de crescimento da PTF, revela-se que entre os 40 com os maiores decréscimos, oito possuem perímetro público de irrigação, todos administrados pelo DNOCS. Dentre os 41 municípios com perímetro público de irrigação administrados por esse órgão, 12 registraram aumento na taxa de crescimento da PTF, enquanto os demais 29 tiveram queda. A Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf) administra perímetros de irrigação espalhados por 31 municípios, e 19 deles obtiveram taxas negativas de crescimento da PTF, sendo que, dentre estes, cinco registraram quedas de mais de 10% ao ano.

Tomando os municípios da Tabela 14 como dois grupos, um com os 10 que mais cresceram e outro com os 10 que mais reduziram a produtividade, foi possível perceber que o primeiro, entre 2006 e 2017, passou por uma redução do número de estabelecimentos ao passo que expandiram suas áreas. O segundo grupo vivenciou o inverso, com aumento do número de estabelecimentos e redução da área, ou seja, o grupo com as maiores taxas de crescimento da produtividade passou a ter uma maior concentração fundiária, enquanto os municípios que mais reduziram suas taxas de PTF passaram por uma desconcentração de terras no período.

Com relação à composição do valor da produção desses grupos, cabe destacar que a produção de origem animal teve um melhor resultado para ambos os grupos, com um crescimento médio de 16% ao ano nos 10 municípios com as maiores taxas de crescimento da produtividade, e de 0,2% nos que mais decresceram, em média. Já a produção vegetal cresceu um pouco menos para o primeiro grupo, 11% ao ano, enquanto se retraiu em 22,5% ao ano no grupo de municípios com as maiores reduções de produtividade.

O que quase todos esses municípios têm em comum, tanto os que apresentam as maiores taxas de crescimento da PTF quanto os que tem as maiores quedas nesse indicador,

são a forma como o índice de eficiência técnica acompanha e influencia essa dinâmica. São os ganhos ou perdas de eficiência que está majoritariamente ditando o ritmo de crescimento do índice da PTF para esse extrato, à parte o desempenho do OTI.

Ao expandir essa perspectiva para toda a amostra, segregando-a em duas, municípios que alcançaram taxas positivas e os que demonstraram crescimento negativo da PTF, reportado na Tabela 15, percebe-se que o índice de eficiência técnica (OTEI) é o principal responsável pelas taxas positivas de produtividade, o que diverge dos resultados encontrados para o Brasil que foram resumidos na revisão de literatura, em que o progresso técnico era o principal impulsionador da produtividade.

Tabela 15. Variação das taxas de crescimento da PTF por estado e por sinal do índice

Estado	TFPI	OTI	OEI	OSEI	OTEI	SNI
Municípios que registraram aumento da PTF (495 municípios)						
AL	1.71%	-2.46%	0.33%	0.05%	1.50%	2.35%
BA	3.24%	-2.46%	-0.46%	-0.04%	1.46%	4.87%
CE	3.69%	-2.46%	-0.11%	0.09%	0.50%	5.80%
MG	3.35%	-2.46%	-0.68%	-0.18%	1.13%	5.69%
PB	2.84%	-2.46%	-1.06%	0.04%	1.34%	5.12%
PE	3.48%	-2.46%	0.13%	0.03%	0.89%	5.00%
PI	4.52%	-2.46%	0.09%	0.02%	1.30%	5.67%
RN	4.63%	-2.46%	-1.43%	0.04%	1.45%	7.21%
SE	4.61%	-2.46%	0.32%	-0.13%	1.46%	5.51%
Municípios que registraram queda da PTF (767 municípios)						
AL	-6.76%	-2.46%	0.41%	-0.02%	0.14%	-4.94%
BA	-4.95%	-2.46%	-0.42%	-0.08%	0.91%	-2.93%
CE	-6.36%	-2.46%	-0.23%	0.00%	-0.16%	-3.62%
MA	-2.06%	-2.46%	-0.10%	0.05%	0.12%	0.37%
MG	-5.10%	-2.46%	-0.66%	-0.16%	0.46%	-2.35%
PB	-5.57%	-2.46%	-0.93%	0.00%	0.44%	-2.72%
PE	-6.84%	-2.46%	-0.01%	0.00%	0.76%	-5.20%
PI	-4.67%	-2.46%	0.13%	-0.03%	0.37%	-2.73%
RN	-5.51%	-2.46%	-1.37%	-0.03%	0.06%	-1.84%
SE	-5.50%	-2.46%	0.22%	-0.11%	0.20%	-3.41%

Fonte: Elaborado pela autora.

Por outro lado, na parcela de municípios que decresceram suas produtividades, verificou-se que as taxas negativas do índice da PTF são acompanhadas pela redução do OTI e do índice ambiental (OEI), com maior relevância do primeiro. O componente ambiental apresentou sinal negativo para a maior parte da amostra, com exceção de Alagoas, Piauí e

Sergipe, e Pernambuco no extrato de municípios com taxa positiva de crescimento da produtividade. Esses estados foram os que a seca de 2012 a 2017 ocorreu com menor intensidade e os que obtiveram OEI médios positivos. Porém, mesmo com a incidência negativa do componente ambiental, os resultados dos municípios com crescimento positivo da produtividade demonstram que com um melhor gerenciamento dos recursos disponíveis é possível ampliar a produtividade da agropecuária na região semiárida.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ganhos de produtividade são os principais responsáveis pelo crescimento da agricultura mundial e o Brasil se destaca ao apresentar altas taxas de crescimento desse indicador nas décadas recentes. Entretanto, esse crescimento não acontece de maneira uniforme em seu território, o que enseja o estudo da produtividade do setor agropecuário em regiões específicas, como o Semiárido, que possui um histórico atraso relativo em seu nível de desenvolvimento econômico, quando comparado ao restante do país, e é mais vulnerável a mudanças no clima.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi mensurar a produtividade total dos fatores da agropecuária do Semiárido brasileiro nos anos de 2006 e 2017, analisando as taxas de crescimento desse indicador e os seus componentes. Para isso, foi estimado um modelo de fronteira estocástica para servir de base para o cálculo de um índice multiplicativo de PTF, que pode ser decomposto em um índice de tecnologia, um índice ambiental, um índice de eficiência de escala e um índice de eficiência técnica.

De forma geral, o modelo captou uma tendência negativa, que significa dizer que o resultado da produção agropecuária do Semiárido se reduziu com o passar do tempo.

A influência positiva dos fatores terra, trabalho e capital no valor da produção agropecuária da região semiárida eram esperadas, inclusive a maior intensidade do fator trabalho. A limitação de recursos dos produtores, predominantemente em estabelecimentos de pequenas dimensões, dificulta a adoção de tecnologias mais avançadas, como tratores, evidenciando os desafios enfrentados na modernização da atividade.

As variáveis que captam as condições de clima como o SEA e a temperatura média anual demonstraram que temperaturas maiores contribuem para a redução do valor da produção agropecuária. Já a maior disponibilidade de água no solo (CAD) impacta positivamente a produção agropecuária.

As variáveis *dummy* que representam os estados revelaram que estar situado na Bahia, no Maranhão, em Minas Gerais e no Piauí contribui negativamente com o valor da produção dos municípios, ao passo que estar situados no Pernambuco contribui de forma positiva.

Os escore de eficiência técnica para os municípios do Semiárido tendem a aumentar à medida que mais estabelecimentos utilizem irrigação, façam adubação, ganhem acesso a assistência técnica e aumentem a proporção de produtores com ensino superior.

Com relação a análise da produtividade da agropecuária do Semiárido, esta revela um panorama complexo e multifacetado, com variações significativas nos índices de produtividade total dos fatores (PTF) e suas componentes ao longo do período de 2006 a 2017. A decomposição da PTF em diferentes índices, como OTI, OEI, OSEI, OTEI e SNI, oferece *insights* valiosos sobre os determinantes do crescimento ou declínio da produtividade em cada estado analisado.

Em geral, a região Semiárida experimentou desempenho negativo de produtividade, sendo Sergipe uma exceção com um crescimento médio de 2,17% ao ano, impulsionado pela eficiência técnica e pelo índice ambiental. Contrariamente, Alagoas, mesmo apresentando um crescimento positivo no OEI, apresentou a maior redução da PTF, principalmente devido ao OTI.

A análise aprofundada sobre o impacto da seca entre 2012 e 2017 destaca que a redução significativa no volume de chuvas pode ter sido uma das principais causas da redução da produção agrícola na região. Sergipe, com um menor nível de seca, destaca-se pelo crescimento na produção de leite, goiaba e milho. Esses resultados podem ser atribuídos não apenas às condições climáticas favoráveis, mas também a investimentos em infraestrutura, como perímetros irrigados, por exemplo.

Ao examinar o desempenho dos principais produtos agropecuários da região entre os anos que separa os dois censos, destaca-se o crescimento notável da soja, uva e melão, enquanto culturas como feijão, milho e mandioca enfrentaram desafios, especialmente durante o período de seca. A instabilidade dessas culturas é evidenciada pela dependência das condições climáticas, pela predominância de agricultores familiares e seus acessos limitados a recursos para torná-los mais resilientes aos impactos da seca.

A comparação dos índices da PTF com o trabalho de Gasques *et al.* (2020) mostrou divergências, ressaltando a importância da delimitação geográfica na análise. A influência de fatores como defasagem tecnológica, falta de acesso a crédito e reduzido acesso à assistência técnica torna as atividades agropecuárias ainda mais desafiadoras na parte semiárida dos estados nordestinos.

A análise da amostra segregada por municípios que obtiveram taxas de crescimento positiva e negativa da produtividade revela que a eficiência técnica desempenha um papel crucial no crescimento do índice PTF. Municípios que aumentaram a produtividade mostraram ganhos de eficiência, mesmo com os valores negativos do componente ambiental.

Esses resultados apontam uma direção para os formuladores de políticas públicas. Investir em estratégias que possam contribuir com o melhor gerenciamento dos

estabelecimentos, como a formação e difusão de conhecimento e tecnologia, pode ser um fator decisivo para o desenvolvimento rural da região semiárida do país. Além disso, esta pesquisa reitera a necessidade do desenvolvimento de práticas e sistemas capazes de tornar a região mais resiliente aos impactos climáticos. Isso implica uma atuação mais direcionada das políticas públicas para as especificidades da região semiárida, e o perfil dos produtores locais, pois além dos entraves, como defasagem tecnológica, existentes também em outras áreas do país, as características físico-climáticas do Semiárido podem limitar o potencial impacto de ganhos adicionais de produtividade.

REFERÊNCIAS

- ANIK, R. A.; RAHMAN S.; SARKER, J. R. Five Decades of Productivity and Efficiency Changes in World Agriculture (1969–2013). *Agriculture*, v.10, 2020. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060200>
- ARAÚJO, M. Z. T.; AMÂNCIO FILHO, D. P. **O desenvolvimento sustentável de regiões semiáridas do Brasil e dos Estados Unidos: o papel do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e dos United States Bureau of Reclamation (USBR)**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal, RN: Anais, 2014
- BARBOSA, G. S.; LIMA, J. R. F. FERREIRA, M. O. Tipificação de produtores por nível de inovação: análise na fruticultura do Vale do São Francisco. *Revista de Economia e Agronegócio - REA*, v. 18, n. 3, 2020.
- BARROS, R. P. Modernização agrícola e pobreza. **Desafios do Desenvolvimento**. Brasília, DF: Ipea, 2004
- BATTESE, G. E. A note on the estimation of Cobb-Douglas production functions when some explanatory variables have zero values. *Journal of Agricultural Economics*, v. 48, 1997.
- BRAGAGNOLO, C.; SPOLADOR, H. F. S.; BARROS, G. S. A. C. PTF agrícola: Atualização segundo o Censo de 2017. *Revista de Política Agrícola*, v. 30, n. 3, 2021.
- BRAGAGNOLO, C.; SPOLADOR, H. F. S.; BARROS, G. S. A. C. Regional Brazilian agriculture TFP analysis: a stochastic frontier analysis approach. *Economia*, v.11, p.217-242, 2010.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Semiárido brasileiro**. Disponível em: < <https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/insa/semi-arido-brasileiro>>. Acesso em 29 out. 2022
- _____. Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do Semi-Árido brasileiro**. Brasília, 2005. disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/publicacoes/cartilha_delimitacao_semi_arido.pdf>. Acesso em 16 jun. 2023.
- _____. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE. 2017. Disponível em: < <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>>. Acesso em 29 jul. 2022.
- _____. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE. **Delimitação do Semiárido: relatório final (2021)**. Recife, PE: SUDENE, 2021
- CAMARGO, A. P.; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 7, 1999.

- CAMARILLO-NARANJO, J. M.; ÁLVAREZ-FRANCOSO, J. I.; LIMONES-RODRÍGUEZ, N.; PITA-LÓPEZ, M. F.; AGUILAR-ALBA, M. **The Global Climate Monitor System: From Climate Data-Handling to Knowledge Dissemination.** *International Journal of Digital Earth*, 12(4), 394-414. 2019. doi: 10.1080/17538947.2018.1429502.
- CASTRO, C. N. A agricultura no nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento. **Boletim regional, urbano e ambiental**, n. 8. Ipea, 2013
- CASTRO, C. N. **Sobre a agricultura irrigada no semiárido: Uma análise, histórica e atual, de diferentes opções de política.** In: MATA, D.; FREITAS, R. E.; RESENDE, G. M. (orgs.). *Avaliação de políticas públicas no Brasil: uma análise do semiárido.* Brasília: Ipea, 2019. 397p.
- CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/consultas-ao-banco-de-dados-do-site.aspx>>. Acesso em: 19 out. 2023
- COELLI, T.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. **An introduction to efficiency and productivity analysis.** 2005. 2ª ed. Springer, 331 p.
- COELLI, T.J.; RAO, D.S.P. Total factor productivity growth in agriculture: A Malmquist index analysis of 93 countries, 1980–2000. **Agric. Econ.**, v. 32, p. 115-134, 2005
- CORREIA, R. C.; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S. B.; CUNHA, T. J. F.; JESUS JÚNIOR, L. A.; ARAÚJO, J. L. P. **A região semiárida brasileira.** In: VOLTOLINI, T. V. (org.) *Produção de caprinos e ovinos no Semiárido.* Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.
- DE NEGRI, F; CAVALCANTE, L. **Os dilemas e os desafios da produtividade no Brasil.** In: DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, R. (Org.) *Produtividade no Brasil: desempenho e determinantes*, vol. 1. Brasília: IPEA:ABDI, 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. O que é Matopiba? Disponível em: < <https://www.embrapa.br/tema-matopiba/perguntas-e-respostas>>. Acesso em 10 jul. 2023.
- FERREIRA, C. B.; ARAUJO, J. A.; TABOSA, F. J. S.; LIMA, J. R. F. Produtividade agrícola nos países da América Latina. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.54, p.437-458, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790540303>.
- FORNAZIER, A.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Heterogeneidade estrutural no setor agropecuário brasileiro: evidências a partir do censo agropecuário de 2006. **Texto para Discussão.** Rio de Janeiro: IPEA, 2012
- FUGLIE, K. R&D capital, R&D spillovers, and productivity growth in world agriculture. **Applied Economic Perspectives and Policy**, v.40, p.421-444, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/aapp/ppx045>.

- GASQUES, J. G.; BACCHI, M. R. P.; BASTOS, E. T.; VALDES, C. **Crescimento e produtividade da agricultura brasileira: uma análise do censo agropecuário**. In: Vieira Filho, J. E. V.; Gasques, J. G. (orgs.). Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário. Brasília: IPEA, IBGE, 2020.
- GASQUES, J.G.; BACCHI, M.R.P.; RODRIGUES, L.; BASTOS, E.T.; VALDES, C. **Produtividade da agricultura brasileira: a hipótese da desaceleração**. In: VIEIRA FILHO, J.E.R.; GASQUES, J.G. (Org.). Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade. Brasília: IPEA, 2016. p.143- 163.
- GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T.; BACCHI, M.R.P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Produtividade total dos fatores na agricultura – Brasil e países selecionados. **Texto para Discussão**. Brasília, DF: Ipea, 2022
- HEADEY, D.; ALAUDDIN, M.; RAO, D.P. Explaining agricultural productivity growth: An international perspective. **Agric. Econ.**, v. 41, p. 1–14, 2010.
<https://doi.org/10.1002/agr.21722>
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Semiárido brasileiro**. 2014. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?edicao=16195&t=sobre>>. Acesso em 22 jan. 2023.
- _____. **Pesquisa agrícola municipal**. 2018a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 09 out. 2023.
- _____. **Pesquisa pecuária municipal**. 2018b. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas>>. Acesso em: 09 out. 2023.
- _____. **Censo Agropecuário 2006**: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao>>. Acesso: 07 mai. 2023.
- _____. **Censo Agropecuário 2017**: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019a. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017/resultados-definitivos>>. Acesso: 07 mai. 2023.
- _____. Em 2017, PIB cresce 1,3% e chega a R\$ 6,583 trilhões. Estatísticas Econômicas. 2019b. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25921-em-2017-pib-cresce-1-3-e-chega-a-r-6-583-trilhoes#:~:text=Em%20valores%20correntes%2C%20o%20PIB, reais%2C%20ao%20observado%20em%202010>>. Acesso em 23/06/2023
- _____. **Sistema de coordenadas geográficas**. 2018c. Disponível em: <<https://atlascolar.ibge.gov.br/mapas-atlas/mapas-do-brasil/federacao-e-territorio>> Acesso em
- KUMBHAKAR, S. C.; LOVELL, C. A. K. **Stochastic frontier analysis**. Cambridge University Press, Cambridge, 2000

- KUMBHAKAR, S. C.; WANG, H.; HORNCastle, A. P. **A practitioner's guide to stochastic frontier analysis using stata**. New York: Cambridge University Press, 2015, 476 p.
- LEMOS, J. J. S. Vulnerabilidades induzidas no Semiárido Brasileiro. DRd - **Desenvolvimento Regional em Debate**, v. 10, p. 245–268, 2020. <https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.2728>
- LEMOS, J. J. S.; SANTIAGO, D. F. Instabilidade temporal na produção agrícola familiar de sequeiro no semiárido do nordeste brasileiro. **Desenvolvimento em Questão**, v. 18, n. 50, 2020
- LICKER, R.; JOHNSTON, M.; FOLEY, J. A.; BARFORD, C.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C; RAMANKUTTY, N. Mind the gap: how do climate and agricultural management explain the 'yield gap' of croplands around the world? **Global Ecology and Biogeography**, v.19, 2010.
- LIMA, A. A. X. Análise espaço-temporal dos impactos do desmatamento no município de Águas Vermelhas-MG. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Agrimensura e Cartografia). Universidade Federal de Uberlândia, 2020. Disponível em <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/30789/1/An%c3%a1liseEspa%c3%a7oTemporal.pdf>>. Acesso em 19 out. 2023
- MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, 2008
- MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climate Change**, 2015 doi-[org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10584-014-1310-1](https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1)
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil-past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>
- MARTINS, M. M.; SPOLADOR, H. F. S.; NJUKI, E. Production environment and managerial techniques in explaining productivity growth in Brazilian beef cattle production. **Agribusiness**, v. 37, p. 1-15, 2021.
- MOHAPATRA, S.; AFIADO, M.; SAHOO, A. K.; SAHOO, D. Decomposition of climate-induced productivity growth in Indian agriculture. **Environmental Challenges**, v. 7, 2022
- NJUKI, E.; BRAVO-URETA, B.E.; O'DONNELL, C.J. Decomposing agricultural productivity growth using a random-parameters stochastic production frontier. **Empir Econ.**, v. 57, p. 839-860, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00181-018-1469-9>
- O'DONNELL, C. J. **Productivity and efficiency analysis: an economic approach to measuring and explaining managerial performance**. Brisbane: Springer, 2018, 418 p.

- PEREIRA, M.F.; SILVEIRA, J.S.T. da; LANZER, E.A.; SAMOBYL, R.W. Productivity growth and technological progress in the Brazilian agricultural sector. **Pesquisa Operacional**, v.22, p.133-146, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-74382002000200003>.
- RADA, N. E.; BUCCOLA, S. T. Agricultural policy and productivity: evidence from Brazilian censuses. **Agricultural Economics**, v.43, p.355-367, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2012.00588.x>.
- REIS, C. V. S.; MOREIRA, T. B. S.; CUNHA, G. H. M. O efeito marginal do capital humano na agricultura familiar. **Revista Espacios**, v. 38, n. 12, 2017
- SANTANA, A. S.; SANTOS, G. R. Impactos da seca de 2012-2017 na região semiárida do Nordeste: notas sobre a abordagem de dados quantitativos e conclusões qualitativas. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, Ipea, 2020
- SILVA, M. M. A. S. Pobreza multidimensional: a educação como fator de superação da pobreza no semiárido brasileiro. Fortaleza, CE: Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2016.
- SOARES, F. A. A.; MARIN, F. R. Crop-specific technology extrapolation domains for Brazil. **Bragantia**, v. 80, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200310>>.
- RIGHI, C.A.; BERNARDES, M. S.; LUNZ, A. M. P.; MORAES, S. O. ; VAN LIER, Q. J. Variação diária da temperatura do solo em um sistema agroflorestal de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com seringueiras (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.). In: IV Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Anais..., 2005.
- VICENTE, J.R. Mudança tecnológica, eficiência e produtividade total de fatores na agricultura brasileira, 1970-95. **Economia Aplicada**, v.8, p.729-760, 2004.
- VIDAL, M. F.; XIMENES, L. J. F. Comportamento recente da fruticultura nordestina: área, valor da produção e comercialização. Banco do Nordeste, **Caderno Setorial ETENE**, n. 2, 2016.
- VIEIRA FILHO, J. E. R. **Distribuição produtiva e tecnológica dos estabelecimentos agropecuários de menor porte e gestão familiar no Brasil**. In CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. A pequena produção rural e as tendências do desenvolvimento agrário brasileiro: ganhar tempo é possível? Brasília: CGEE, 2013.
- VIEIRA FILHO, J. E. V.; SANTOS, G. R.; FORNAZIER, A. Distribuição produtiva e tecnológica da agricultura brasileira e sua heterogeneidade estrutural. **Texto para Discussão**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2013.
- XIMENES, L. J. F. VIDAL, M. F. Carcinicultura. Banco do Nordeste, **Caderno Setorial ETENE**, n. 234, 2023.