



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

CAROLINE RODRIGUES DE SOUSA

**EFICIÊNCIA TÉCNICA NA PRODUÇÃO DE MILHO NO PIAUÍ: ANÁLISE DE
HETEROGENEIDADE POR MACRORREGIÕES**

FORTALEZA
2024

CAROLINE RODRIGUES DE SOUSA

EFICIÊNCIA TÉCNICA NA PRODUÇÃO DE MILHO NO PIAUÍ: ANÁLISE DE
HETEROGENEIDADE POR MACRORREGIÕES

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós- Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Economia da Produção Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo.

FORTALEZA
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S696e Sousa, Caroline Rodrigues de.
Eficiência técnica na produção de milho no Piauí: análise de heterogeneidade por macrorregiões /
Caroline Rodrigues de Sousa. – 2024.
84 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo.
1. Heterogeneidade produtiva. 2. Nordeste. 3. Produção de grãos. I. Título.

CDD 338.1

CAROLINE RODRIGUES DE SOUSA

EFICIÊNCIA TÉCNICA NA PRODUÇÃO DE MILHO NO PIAUÍ: ANÁLISE DE
HETEROGENEIDADE POR MACRORREGIÕES

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós- Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Economia da Produção Agrícola.

Data de aprovação 28/02/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Vítor Hugo Miro Couto Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Pedro Herlleison Gonçalves Cardoso
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

A Deus.

E aos meus amados pais, Patrícia e Edmilson, que muito se dedicaram à minha educação.

AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus por todas as bênçãos e milagres que proporciona na minha vida, e pela promessa e cumprimento desse mestrado. Depois, a minha amada mãe, Patrícia, ao meu querido pai, Edmilson, e a minha maravilhosa irmã, Camila. Vocês são meu alicerce. Obrigada por tanto amor, dedicação, cuidado e suor dedicado em toda a minha educação. Gratidão, também, ao meu amor, Antônio Fernando, pelo apoio, cuidado e dedicação diária. Todos vocês são minha força e o motivo pelo qual procuro melhorar e crescer a cada dia.

Gratidão dirijo a minha amiga, Évilly, por ser uma pessoa tão sensível, harmoniosa, e que não poupou esforços para me ajudar e me fazer acreditar que eu era capaz de alcançar os meus sonhos. Você é o significado do que representa amizade. Sou também muito agradecida a minha colega de turma, Leudiane, que muito foi importante no curso das disciplinas, sempre se dispondo a ajudar e tirar dúvidas: você é inspiração de pessoa dedicada à Academia. Desejo sucesso!

Expresso, também, todo o carinho e o máximo respeito ao meu professor orientador, professor doutor Rogério César, que, com muita paciência, me ajudou a concretizar esse sonho. Manifesto agradecimentos a todos os profissionais da Secretaria de Planejamento do Estado do Piauí, que, durante todo esse período de caminhada, me apoiaram, concederam-me suporte e flexibilizaram meus horários para que assistisse às aulas, realizasse provas e procedesse a reuniões. Muito Obrigada!

Com amor, e muita gratidão no coração!

“Apeguemo-nos com firmeza à esperança que professamos, pois aquele que prometeu é fiel”.
(Hebreus 10:23).

RESUMO

A produção de milho é uma das mais importantes para a economia brasileira e mundial. O cereal é utilizado desde *in natura* para consumo, como também é matéria-prima para processos produtivos relacionados à indústria farmacêutica, alimentícia, de ração e para a produção de combustível etanol. No Piauí, a produção de milho expande-se desde 2022, de modo que o Estado se exprime como o segundo maior produtor do Nordeste, perdendo apenas para a Bahia. No mesmo ano, o Piauí produziu 2.591.483 toneladas do grão, gerando 3,15 bilhões de reais. Esta dissertação, pois, tem como objetivo analisar o desempenho da produção de milho e dos seus fatores condicionantes nas macrorregiões ambientais do Estado do Piauí. Parte-se do conceito de heterogeneidade produtiva, relacionada com o modo de os agentes econômicos combinarem os insumos no processo produtivo. De maneira específica, o estudo intenta: caracterizar a heterogeneidade da produção de milho por macrorregião piauiense no período de 1970 a 2017; mensurar o nível de eficiência técnica na produção de milho para cada macrorregião piauiense; e identificar as macrorregiões mais eficientes e menos eficientes. A hipótese suscitada pelo ensaio é a de que a produção de milho nas macrorregiões do Piauí denota heterogeneidade produtiva. Com esse intento, recorreu-se à abordagem de *metafronteira* de produção estocástica (MFP), para comparar os níveis de eficiência técnica entre as macrorregiões. São estabelecidas fronteiras estocásticas macrorregionais, e, em seguida, é definido o modelo de MFP, ficando estabelecidos os testes de hipótese por via da Razão Verossimilhança (LR) com o intuito de verificar a adequação da maneira funcional e a existência de distinções tecnológicas entre as fronteiras regionais. Os resultados apontam para a ocorrência de heterogeneidades produtivas entre as macrorregiões (Litoral, Cerrado, Meio-Norte e Semiárido) na produção de milho no período de 1970/1973 a 2017. Observou-se que a produção de milho no Piauí deslocou-se dos municípios do Semiárido do Estado para aqueles pertencentes ao Cerrado, no decurso dos 47 anos analisados. A macrorregião mais tecnicamente eficiente para os o período mencionado foi a macrorregião do Cerrado, acompanhada de municípios pertencentes ao Meio-Norte piauiense. Os municípios menos eficientes encontravam-se nas macrorregiões do Semiárido. Ademais, identificou-se heterogeneidade de eficiência entre macrorregiões e entre municípios que compõem a mesma macrorregião, denotando escores de eficiência técnica distintos. Portanto, o Piauí mostrou-se heterogêneo no cultivo do milho, coexistindo macrorregiões e municípios mais eficientes e menos eficientes no mesmo espaço.

Palavras-chave: heterogeneidade produtiva; Nordeste; produção de grãos.

ABSTRACT

Corn production is one of the most important for the Brazilian and world economy. The cereal is used fresh for consumption, as well as being raw material for production processes related to the pharmaceutical, food and feed industries and for the production of ethanol fuel. In Piauí, corn production has expanded since 2022, so that the State is the second largest producer in the Northeast, second only to Bahia. In the same year, Piauí produced 2,591,483 tons of grain, generating 3.15 billion reais. This dissertation, therefore, aims to analyze the performance of corn production and its conditioning factors in the environmental macro-regions of the State of Piauí. It starts from the concept of productive heterogeneity, related to the way in which economic agents combine inputs in the production process. Specifically, the study aims to: characterize the heterogeneity of corn production by macro-region of Piauí in the period from 1970 to 2017; measure the level of technical efficiency in corn production for each macro-region of Piauí; and identify the most efficient and least efficient macro-regions. The hypothesis raised by the essay is that corn production in the macro-regions of Piauí denotes productive heterogeneity. With this aim, the stochastic production metafrontier (MFP) approach was used to compare the levels of technical efficiency between macro-regions. Macro-regional stochastic boundaries are established, and then the MFP model is defined, establishing hypothesis tests using the Likelihood Ratio (LR) with the aim of verifying the adequacy of the functional manner and the existence of technological distinctions between the regional borders. The results point to the occurrence of productive heterogeneities between the macro-regions (Coast, Cerrado, Mid-North and Semiarid) in corn production in the period from 1970/1973 to 2017. It was observed that corn production in Piauí shifted from municipalities in the semi-arid region of the state to those belonging to the Cerrado, over the 47 years analyzed. The most technically efficient macro-region for the aforementioned period was the Cerrado macro-region, accompanied by municipalities belonging to the Mid-North of Piauí. The least efficient municipalities were in the semi-arid macro-regions. Furthermore, efficiency heterogeneity was identified between macro-regions and between municipalities that make up the same macro-region, denoting different technical efficiency scores. Therefore, Piauí proved to be heterogeneous in corn cultivation, with more efficient and less efficient macro-regions and municipalities coexisting in the same space.

Keywords: productive heterogeneity; Northeast; grain Productions.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Calendário de safras do milho no Brasil.....	26
Quadro 2 - Territórios de Desenvolvimento e suas respectivas macrorregiões.....	41
Quadro 3 - Variáveis do modelo de <i>metafronteira</i>	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Representação da eficiência econômica.....	33
Figura 2 -	Representação da função de metafronteira.....	43
Figura 3 -	Evolução da distribuição da produção de milho no Piauí de 1970/1973 a 2017.....	55
Figura 4 -	Meta eficiência técnica média dos municípios produtores de milho no Piauí, de 1970/1973 a 2017.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatística descritiva das variáveis.....	52
Tabela 2 – Resultados dos testes da Prova Estatística da Razão Verossimilhança.....	57
Tabela 3 – Resultados das fronteiras estocásticas por macrorregião.....	59
Tabela 4 – Evolução das eficiências técnicas médias, estimadas por macrorregião do Piauí ..	61
Tabela 5 – Estatística e distribuição de frequência das eficiências técnicas na metafronteira .	64
Tabela 6 – Ranque dos municípios mais e menos eficientes (<i>ETM</i>).....	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Conab	Companhia Nacional de Abastecimento
EA	Eficiência Alocativa
ET	Eficiência Técnica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MATOPIBA	Região que abrange os Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
MFP	<i>Metafronteira</i> de Produção
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Agency</i>
Pronaf	Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PTF	Produtividade Total dos Fatores
SEALBA	Extensões de terra limítrofes dos Estados de Sergipe, Alagoas e Bahia
SEPLAN	Secretaria do Planejamento do Estado do Piauí
SFA	<i>Stochastic Frontier of Production</i>
SNCR	Sistema Nacional de Crédito Rural
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TD	Território de Desenvolvimento
VAP	Valor Agregado da Produção
VBP	Valor Bruto da Produção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	Desenvolvimento da produção agrícola no Brasil.....	19
2.2	A heterogeneidade da produção agrícola no Brasil.....	21
2.3	A cultura do milho no Brasil.....	24
2.4	Produção de milho no Estado do Piauí.....	28
<i>2.4.1</i>	<i>Macrorregiões ambientais do Piauí.....</i>	<i>29</i>
2.5	Eficiência técnica da produção.....	32
<i>2.5.1</i>	<i>Eficiência técnica da produção agrícola.....</i>	<i>36</i>
3	METODOLOGIA.....	39
3.1	Área de estudo.....	39
3.2	Modelo de metafronteira de produção estocástica.....	41
3.3	Especificação da maneira funcional do modelo econométrico.....	45
<i>3.3.1</i>	<i>Testes realizados.....</i>	<i>49</i>
3.4	Base de dados.....	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
4.1	Análise da estatística descritiva das variáveis.....	51
4.2	Análise da fronteira estocástica.....	56
<i>4.2.1</i>	<i>Fronteiras de produção estocástica, por macrorregião.....</i>	<i>58</i>
<i>4.2.2</i>	<i>Análise das eficiências técnicas na metafronteira.....</i>	<i>62</i>
5	CONCLUSÕES.....	69
	REFERÊNCIAS.....	72
	ANEXOS.....	84

1 INTRODUÇÃO

A heterogeneidade da produção agropecuária no Brasil é uma característica marcante que reflete a dimensão continental e a diversidade climática do País, bem como suas raízes decorrentes do colonialismo e das desigualdades em termos de acessos aos fatores produtivos em seu território (Pinto, 1980; Wanderley, 1985). O Brasil abrange distintos ecossistemas, o que determina a sua vocação agrícola, proporcionando condições variadas para a prática da agricultura e pecuária, o que influencia diretamente a escolha das culturas em cada região (Paterniani, 2001).

Segundo Santos e Vieira Filho (2012), a heterogeneidade da produção é consequência da maneira como são alocados, no médio e no extenso prazo, os fatores de produção (terra, trabalho, tecnologia e capital) disponíveis aos agentes econômicos. Os autores diferenciam a heterogeneidade de dois modos: a estrutural, relacionada às desigualdades estáticas, não alteradas pelos agentes, como, por exemplo, as características ambientais, institucionais e culturais de uma região; e a produtiva, associada às escolhas dos agentes no processo de produção, isto é, a maneira como combinam os fatores de produção.

Conforme Pinto (1970), os países em desenvolvimento encaram problemas com a falta de uniformidade nos níveis tecnológicos adotados pelos agentes econômicos, o que ele denomina de “dualidade tecnológica”. Para o autor, nesses países, coexistem duas realidades: a) uma em que agricultores adotam técnicas modernas com auxílio de tratores, colhedoras mecânicas, adubos químicos e de serviços prestados por centros de experimentação e pesquisa; e b) outra, predominante, em que os agricultores se encontram no estágio da “agricultura de enxada”, sem aplicar quaisquer dos conhecimentos e insumos utilizados na agricultura moderna. O autor acentua, também, que essa diversidade nos processos produtivos de variados produtos em uma mesma região.

Consoante raciocina Pereira (2019), a heterogeneidade de produção, em que o moderno e o atrasado convivem no mesmo tempo, marca uma dualidade que só é superada se ocorrerem profundas e radicais transformações na estrutura produtiva dessas economias.

No Brasil, de acordo com De Negri e Cavalcante (2014), além de existirem heterogeneidades produtivas entre as regiões, sucede, também, uma diversidade estrutural no plano intrassetorial. Celso Furtado dedicou-se a elaborar políticas para a superação das diversas realidades heterogêneas no Brasil, assente nos aspectos que eram sinônimos de “atraso” para a Região Nordeste (Colombo; Gileno, 2019). Na perspectiva do Economista paraibano, (1981), entre as dificuldades que ensejavam o atraso do Nordeste, estavam a

concentração de renda dentro da própria Região, bem assim a existência de latifúndio e minifúndios iriam prejudicar o desenvolvimento nordestino e reforçava sua dependência em relação ao Centro-Sul do País.

Das décadas de 1960 a 1980, o Brasil transitou por intensivas transformações na agricultura. A *Revolução Verde*, ocorrida nos anos de 1960, propiciou o avanço da agricultura para regiões como o Centro-Norte e o Nordeste, anteriormente havidas como “inapropriadas para o cultivo”. Em associação a esse conjunto de ocorrências, houve a coincidência com um período em que restou expandido o crédito rural subsidiado, por meio do Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR). Nesse lance, também, foi fomentada a modernização agrícola por meio da criação de instituições de ensino, pesquisa e extensão rural, como, num exemplo, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), originada em 1973. Aconteceu, ainda, a prática do emprego intensivo de fertilizantes e produtos fitossanitários. Esse concurso de fatores foi primordial para o aumento da produtividade da terra e do trabalho nesse período (Barros, 1983; Gasques; Conceição, 1997; Conceição; Conceição, 2014).

De acordo com o que exprime Mathias (2014), a conjuntura econômica externa e interna em 1990 - como, *exempli gratia*, o preço das *commodities* e câmbio - ensejou para o agronegócio brasileiro crescimento mais expressivo do que os obtidos nos decênios de 1970 e 1980. Lamas (2023), aponta que, no período de 2001 a 2023, a produção de grãos no Brasil triplicou, saindo de 100 milhões de toneladas de grãos, cultivados em 38 milhões de hectares, para 300 milhões de toneladas, em 77 milhões de hectares. Importa informar, por oportuno e para valorizar a história, o fato de que, em 2022, o Brasil foi o maior exportador de soja, carne bovina e suco de laranja, havendo sido, entretanto, o terceiro maior negociador de milho para o Exterior (USDA, 2023).

O milho constitui um dos principais produtos da agricultura nacional. Além de ser utilizado em natural para consumo e produção de gêneros alimentícios, o mencionado bem conforma um insumo-base em outros processos produtivos, como, por exemplo, nas produções da ração animal, que abastecem, principalmente, as cadeias de suínos e aves (principal utilização no mundo), os sistemas farmacêuticos e a industrialização de combustível etanol (Coêlho, 2021; Duarte; Cruz; Garcia, 2007).

Em 2022, o País posicionou-se somente depois dos Estados Unidos da América do Norte e da China na oferta mundial de milho (USDA, 2023). Em 2023, com suporte nos indicadores do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2023), o Brasil exportou 55.893.042 toneladas do produto sob nota para o mundo, o que deu ensejo a mais de US\$ 13.626 milhões de dólares em divisa para a Nação, contando como principais países

compradores China, Irã e Vietnã. O cereal ocupou o 2º lugar no ranque das exportações do setor agropecuário e a 5ª colocação relativamente ao comércio externo total. No mesmo ano, os estados brasileiros que mais se louvaram nesta exportação foram Mato Grosso, Goiás, Paraná e Mato Grosso do Sul, havendo o Piauí tomado a 8ª posição. Enquanto isso, na Região Nordeste, este Estado assumiu a segunda colocação, ficando atrás, apenas, do Estado da Bahia.

Desse modo, o ensaio sob relato justifica-se por seu contributo acadêmico em relação à cultura do milho para a economia piauiense, mostrando-se útil para o planejamento governamental e a política territorial do Estado, segmentos passíveis de recorrer aos resultados deste experimento para o planejamento e implementação de políticas públicas específicas de incentivo à produção desse benefício econômico e social para cada macrorregião do Piauí.

Este texto dissertativo, sob o ponto de vista acadêmico em sentido estreito, tem como objetivo geral: analisar o desempenho da produção de milho e dos seus fatores condicionantes nas macrorregiões ambientais do Estado do Piauí. De maneira específica, a investigação intenta: a) caracterizar a heterogeneidade da produção de milho por macrorregiões piauienses no período de 1970 a 2017; b) mensurar o nível de eficiência técnica na produção de milho para cada macrorregião piauiense; e c) identificar as macrorregiões mais eficientes e menos eficientes.

Visando a se aportar a esses objetivos, arrimando-se nos supostos expressos por Batters, Rao e O'Donnell (2004), socorreu-se do seu Modelo de *Metafronteira* de Produção Estocástica (MFP), com a utilização de dados em painel para o período. Consoante lecionam os autores da ideia, não se há de comparar eficiências técnicas distintas e entendendo que o Piauí possui variados níveis tecnológicos vinculados ao setor agrícola de que se trata. Com arrimo, pois, na lição desses ensaístas, achou-se de agrupar os municípios do Estado nas suas respectivas macrorregiões (Litoral, Meio-Norte, Semiárido e Cerrado) e definiu-se, como variáveis do modelo de Fronteira Estocástica de Produção (SFA), a área irrigada, o quantitativo de pessoal ocupado, a quantidade de tratores, o nível pluviométrico e a temperatura. Os dados foram obtidos através dos sítios do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, da plataforma *IpeaData* do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada e do *National Oceanic and Atmospheric Agency* (NOAA).

A dissertação está dividida estruturalmente em cinco capítulos, incluindo esta introdução. O seguinte segmento capitular abarca o referencial teórico, ao passo que o terceiro relata sobre a área de estudo, a fonte de dados e os processos metodológicos

realizados. A quarta seção versa sobre as discussões acerca dos resultados encontrados, para, no derradeiro capítulo, – de número cinco - enfatizar as considerações finais da investigação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Começa o marco teórico deste experimento com uma revisão de literatura sobre o desenvolvimento da produção agrícola no Brasil. Em seguida, conceitua-se heterogeneidade da produção agrícola e mostram-se evidências sobre as diferenças inter/intrarregionais que influenciam a eficiência técnica e a produtividade no contexto da produção de milho no Brasil e no Piauí. Como fecho, exprimem-se os fundamentos da análise de eficiência e estudos sobre a efetiva ação técnica na produção agrícola no Brasil.

2.1 Desenvolvimento da produção agrícola no Brasil

Em todos os países, o Estado teve um papel essencial no incentivo a modernização do setor agropecuário. No Brasil não foi diferente, desde os anos de 1960 e, principalmente, na década de 1970, o Governo brasileiro adotou um conjunto de políticas públicas ligadas ao setor agrícola, mormente de créditos e preços, que tiveram efeitos sobre as estruturas de produção do meio rural. Nessa contextura, a disponibilidade de crédito expressava-se como um meio relevante para prover recursos financeiros aos agentes por intermédio de taxas de juros baixas. A política de crédito, entretanto, não atingiu seu objetivo, uma vez que somente o percentual de 20% de estabelecimentos agrícolas no período foi beneficiado, alcançando apenas produtores médios e grandes. Em tendo assim ocorrido, o crédito ficou restrito a uma parcela pequena dos agricultores nacionais (Pinto, 1980).

Na década de 1970, também, foram implantados subsídios aos preços de alguns fatores de produção para incentivar o setor. Assim como o crédito, porém, foi um instrumento seletivo, favorecendo apenas agricultores que já tinham acesso à modernização da agricultura. Nos anos de 1980, sucederam mudanças na política de crédito rural, com restrição de recursos e elevação nas taxas de juros. O Governo focou-se, então, em uma política de preços mínimos, como instrumento para incentivar a produção e evitar queda nas safras. O estabelecimento de preços mínimos teve seus valores reais aumentados, em posição superior àqueles praticados nos anos de 1970. Nesse caso, a política surtiu efeito sobre produtos das cestas básicas, beneficiando, em grande monta, os pequenos produtores, já que a maior parte dos benefícios foi direcionada aos produtos que atuavam no mercado interno (Ciprandi; Fert Neto, 1996).

Na década de 1990, a diversificação da agropecuária brasileira aconteceu por meio da abertura comercial dos mercados, o que exigiu mudanças nas técnicas de produção e gestão

dos produtores para aumentar a competitividade do setor ante os produtos importados. Os ganhos econômicos foram maiores em regiões que despendiam de apoio e efetivos serviços de assistência técnica e rural. Tais circunstâncias fizeram a agricultura paulista reagir positivamente aos incentivos, com aumento na produtividade e proveitos em eficiência técnica. Adicionalmente, a implementação do real – o então novo dinheiro - também contribuiu para a implantação dessa realidade, com apoio na valorização monetária (Coura; Figueiredo; Santos, 2006).

A crescente demanda global por alimentos nos primeiros dos anos da fase 2000 propiciou, também, mudanças no setor agropecuário e foi determinante para sustentar os ciclos de vida das *commodities* no Brasil. A conjuntura econômica favorável de crescimento econômico nos países em desenvolvimento, como o Estado Brasileiro e aqueles pertencentes ao MERCOSUL, em adição ao crescimento do mercado asiático, tendo a China como principal expoente, deu ensejo a incentivos aos produtores brasileiros para irem à cata de incrementos na eficiência e aumento de ganhos nesses mercados. Em 2007, a Nação liderava as exportações de carne vermelha, aves, açúcar, café e suco de laranja, soja em grão, farelo e óleo de soja, e se tornou o terceiro maior exportador de milho no mercado internacional. O setor financeiro também se envolveu cada vez mais com o agronegócio, pois as empresas levantavam fundos por meio de ações e títulos, atraindo investimentos e obtendo vantagens competitivas (Wilkinson, 2010).

Em consonância com o que alcança Delgado (2012), o fomento ao crédito rural pelo Estado Brasileiro desde os anos de 2000 foi essencial para reestruturação e desenvolvimento da agricultura de exportação de *commodities* no País. Segundo Wesz Junior e Grisa (2017), o Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR), criado em 1965, e o Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), concebido em 1995 e ajustado no decurso dos últimos anos, foram o alicerce da modernização da agricultura brasileira.

O Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) considerou as peculiaridades, sazonalidades e riscos inerentes ao setor agrário, proporcionando acesso ao crédito para investimentos em tecnologias modernas, estímulo ao armazenamento, beneficiamento e industrialização dos produtos agropecuários e seus insumos, melhorando, assim, sua produtividade e a competitividade no mercado. O Pronaf, por sua vez, foi estabelecido com o objetivo de fornecer suporte financeiro necessário para que os agricultores familiares investissem, passassem a investir em suas propriedades, após adquirirem insumos, tecnologia e implementos agrícolas modernos. Desse modo, o programa objetivava alcançar maior produtividade, diversificação da produção e melhoria das condições de vida no campo.

Outrossim, essa abordagem integrada visava a reduzir as desigualdades sociais e regionais, promovendo um desenvolvimento equitativo e sustentável no setor agropecuário (Banco do Brasil, 2004; Búrigo *et al.*, 2021).

A agricultura brasileira, no período de 1970 a 2006, foi mira de aumentos nos gastos em pesquisa, especialmente por meio do fomento direcionado à Embrapa, e a expansão da fronteira agrícola deu azo a maior produtividade da terra. Expressos crescimentos ainda decorreram da introdução de inovações nos processos de produção, como sistema de plantio direto, a inoculação com bactérias, o manejo integrado de pragas e a criação de variedades e espécies diferentes (Gasques; Vieira Filho; Navarro, 2010).

Gasques, Bacchi e Bastos (2018) declaram que a expansão da agricultura brasileira de 1975 a 2016 foi resultado do aumento da PTF, que cresceu cerca de 3,08% ao ano durante esse período. Os autores afirmaram, ainda, que, de 1980 até 2016, o fator de produção capital foi significativo para o crescimento da agricultura brasileira, assim como resultou marcante o papel do aumento das áreas com lavouras temporárias, que saíram de 36,8 milhões de hectares para 69,5 milhões, como resultante desse processo.

Essa vigorosa modernização da economia brasileira, além de aumentar a PTF, intensificou uma característica ocorrente na agricultura brasileira, configurada na heterogeneidade, resultante de causas históricas, institucionais, políticas e fundiárias (Fornazier; Vieira Filho, 2012; Vieira filho, 2016).

2.2 A heterogeneidade da produção agrícola no Brasil

No Brasil, as diferenças regionais relacionadas às características ambientais e socioeconômicas, bem assim a modalidade de utilização dos insumos, afetam significativamente a produtividade agrícola. O acesso aos recursos financeiros para modernização da agricultura, a disponibilidade de capital social e humano, os fatores culturais e climáticos, também, influenciam, recorrentemente, na produção agrícola nos planos intersetorial e local, já que tal acesso decorre de modo desigual entre as regiões (Fornazier; Vieira Filho, 2012).

Como noticia Prado Júnior (1961), no período colonial, existiu certo grau de homogeneidade na agricultura brasileira destinada ao sistema *plantation*, que se caracterizava por grande propriedade, trabalho escravo e monocultura. Com a intensificação da agricultura orientada para a exportação no final do século XVIII, o País passou por maior concentração de latifúndio, pois abastecia com produtos de exportação, tais como café e açúcar, ao mesmo

tempo em que convivia com uma produção de alimentos para o mercado interno e de subsistência praticada pela mão de obra de base imigrante.

Com efeito, a agricultura de subsistência servia para abastecer o mercado interno, com a produção comercial de gêneros - como milho, feijão, arroz e charque - que era operada em propriedades familiares, cujo destino era a venda em feiras, armazéns de secos e molhados e quitandas (Belik, 2015).

De acordo com Rezende (2006), o “pacote” tecnológico adotado no Brasil, desde a *Revolução Verde* de 1960, favoreceu o aumento da heterogeneidade produtiva no setor, levando parcela de produtores rurais à marginalização. Consoante se reportam Silva, Kageyama e Romão (1983), o padrão tecnológico não foi adotado pelo pequeno produtor, já que este não possuía os requisitos necessários para adquirir financiamento, por exemplo.

A abertura comercial em 1990 aprofundou essa heterogeneidade tecnológica da produção agrícola, pois deu oportunidade aos produtores com acesso ao mercado externo a adquirirem maquinários e insumos a custos menores (Tangermann, 2005).

Como resultado, o setor agropecuário brasileiro desenvolveu uma agricultura moderna orientada para exportação e outra dirigida, exclusivamente, para a subsistência de famílias e o abastecimento de pequenos mercados locais. A de ordem moderna utiliza técnicas de produção que conduzem a alcançar níveis elevados de produtividade, enquanto as práticas de subsistência agrícolas empregam baixo conteúdo tecnológico, resultando em níveis ínfimos de produtividade. A primeira chega a alcançar níveis de produtividade 14 vezes maior do que a observada na agricultura de subsistência (Fornazier; Vieira Filho, 2012).

Na perspectiva de Santos e Vieira Filho (2012), a heterogeneidade produtiva está vinculada à heterogeneidade estrutural. Ressaltam, ainda, os autores que a agropecuária brasileira é segmentada, mostrando regiões que fazem uso intensivo de capital e do desenvolvimento tecnológico em suas produções, ao lado de outras que possuem grandes heterogeneidades estruturais e produtivas. Apontam, assim, para a carência de políticas públicas, capazes de transformar essa realidade.

Felema, Raiher e Ferreira (2013), quando dimensionaram a produtividade dos estados e municípios brasileiros para o ano de 2006, assinalaram que a agropecuária nacional se modernizara e insertara técnicas sofisticadas na sua produção, aumentando as produtividades regionais, principalmente da terra e do trabalho. De acordo com essa ideiação, o setor permanece robusto e o mais significativo na geração de riquezas no País. Ainda, entretanto, denota discrepâncias no uso de novas técnicas e equipamentos em todas as regiões brasileiras.

Os autores salientam, ainda, a importância da mecanização e dos insumos agrícolas para potencializar a produtividade da terra e do trabalho.

Ainda na esteira da reflexão de Felema, Raiher e Ferreira (2013), a Região Nordeste destaca-se como a mais heterogênea em relação à produtividade da terra e do trabalho, com disparidades internas marcantes entre municípios que compõem o mesmo estado. Isto é, existem conjuntos municipais onde os produtores têm maior acesso às tecnologias e aos insumos agrícolas, ao passo que noutros tal acessibilidade inexistente. Tal decorre da dificuldade de acesso ao crédito pelo produtor e em razão de capital insuficiente para investir na propriedade.

Alves, Souza e Rocha (2012), também, comprovaram que a concentração tecnológica acentuada na produção brasileira atinge diretamente o nível de produtividade agrícola sob o prisma regional. Assinalam que elevados níveis de produtividade estão relacionados com tecnologias poupa-terra, tais como fertilizantes, sementes geneticamente tratadas e defensivos agrícolas. Demais disso, essas técnicas têm curso em reduzido quantitativo de estabelecimentos, estando a maioria dos estabelecimentos em um estágio de produção rudimentar.

A desigualdade de renda na agricultura brasileira também é um fator de heterogeneidade da produção agrícola. A esse respeito, Fornazier e Vieira (2013) exprimem que os estabelecimentos agropecuários são divisíveis em quatro estratos de renda: extrema pobreza, baixa, média e alta renda. Os grupos de alta e média renda, por sua vez, mesmo sendo representados por menos de 10% dos estabelecimentos, são responsáveis por cerca de 85% do valor bruto da produção (VBP). A seu turno, o grupo de extrema pobreza, com 63% dos estabelecimentos, participou com menos de 4% do VBP. Isso é fato demonstrativo de que, mesmo que a diferença da PTF entre o Brasil e outros países esteja reduzindo, ainda persiste aqui elevada variabilidade dessa medida entre os estados.

Convém aderir à reflexão de Hayami (1969), para quem a agricultura na Região Nordeste exprime heterogeneidade produtiva acentuada. A Região possui condições geográficas, culturais, históricas e institucionais específicas que incidem na produtividade do seu setor agrícola. Por outro lado, Simões *et al.* (2010) entendem que a Região Semiárida Nordestina é expressa como ainda mais vulnerável a essas condições, em consequência das irregularidades pluviométricas e défices hídricos. De outra vertente, Vieira Filho (2016) entende que, independentemente da cultura agrícola, os agricultores brasileiros, situados em variegadas regiões, têm acesso a variadas modalidades de tecnologias e insumos produtivos, o que resulta em situações distintas de produção.

Na seção capitular imediata, encontram-se a cultura do milho no Brasil, suas características de cultivo e manejo, e como, no correr dos anos, esse produto auferiu destaque na realidade do agronegócio brasileiro.

2.3 A cultura do milho no Brasil

De acordo a Literatura da Economia Agrícola, de onde se mencionam Barros e Calado (2014), o milho é uma espécie que pertence à família *Gramineae/Poaceae*, ocorrente em grande parte das sociedades, que assume posição de destaque sociocultural, e está entre os principais cereais cultivados e consumidos, haja vista o seu valor nutricional e considerando a adaptabilidade em variados climas e solos. Destacando-se na economia mundial, é suscetível de ser utilizado em diversos setores econômicos, como a indústria farmacêutica e alimentícia, pecuária e outras modalidades de utilização (Artuzo, 2019).

O milho atende a diversificadas maneiras de utilização, sendo fonte de nutrientes, tanto consumido *in natura* quanto “verde”. É processável e transformável em distintos gêneros alimentícios, como farinha, flocos e óleo, além de outros. Seu principal emprego, porém e no mundo inteiro, é como insumo-base para outros processos produtivos, como, *verbi gratia*, no fabrico da ração animal, para abastecimento, em especial, das cadeias de suínos e aves. Portanto, a produção desse bem e o seu preço têm ligação direta com os apereçamentos de outros produtos que fazem uso dele como principal matéria-prima (Duarte *et al.*, 2010; Cruz, 2011; Artuzo, 2019).

Outro jeito de aplicação, que se aperfeiçoa e cresce no Brasil, é o seu fim para a produção de combustível etanol. No Brasil, no entanto, essa aplicação ainda não está disseminada em todas as regiões, concentrando-se no Sul e Centro-Oeste (Alves; Amaral 2011; Caldarelli; Bacci 2012).

Conforme notificam Cruz *et al.* (2011), muitos produtores de milho são classificáveis, também, como agricultores familiares, haja vista as características singulares que possuem quanto à produção, por exemplo: área cultivada de até um hectare; acesso restrito à assistência técnica; baixo emprego de equipamentos e máquinas; realização manual da colheita; parcela da produção consumida pelos próprios agricultores; e produção de milho consorciado com outras culturas.

Desde os anos de 1970, a produção nacional de milho alcançou níveis marcantes, com recordes ano a ano, e ganhos contínuos. Tais avanços são justificados por transformações que a economia nacional e o mercado de milho internacional experimentaram. Nesse período,

segundo os autores Duarte, Cruz e Garcia (2007), e Souza *et al.* (2018), observaram-se mudanças, configuradas em avanço tecnológico, melhoria da qualidade das sementes e advento dos transgênicos, uso de defensivos agrícolas e aperfeiçoamentos no manejo dos solos.

No que se refere a aspectos comerciais, ocorreram a valorização do preço do grão, no mercado nacional e internacional, e os incentivos tributários. Em suplemento, houve a expansão das áreas plantadas para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (Duarte, Cruz e Garcia, 2007; Souza *et al.*, 2018).

Galvão *et al.* (2014), ao analisarem, também, a evolução da produção de milho no Brasil, de 1944 a 2013, correspondendo a 70 anos, identificaram características similares, ou seja, que o País passou por uma transição produtiva significativa nos modos de operar e manejar insumos e fatores de produção. No expresso tempo, a produção de milho passou de pequena escala, com uso de insumos locais e técnicas rudimentares, para uma operação produtiva que utiliza sementes melhoradas, insumos importados, defensivos agrícolas, maquinaria moderna, redução do espaçamento entre as linhas e do porte das plantas, o que aumentou a densidade de plantio.

Caldarelli e Bacci (2012), ao examinarem o comportamento do mercado do milho no Brasil, no período de 1967 a 2008, verificaram intensiva relação de complementaridade entre alterações no preço, na oferta e na demanda por milho e soja. Isto porque a elevação no preço de mercado da soja causou uma diminuição na produção de milho por certo período e, por sua vez, a elevação no preço de mercado do milho propiciou o aumento da área plantada, e, por consequência, da sua oferta no mercado. Apontou a pesquisa, também, como resultado dessa dinâmica, o crescimento da produtividade do milho de 2^a safra, aquele plantado normalmente após a colheita da soja.

Favro *et al.* (2015) lecionam que um dos aspectos fatores do aumento da produção de milho no Brasil é a existência de estados e/ou regiões produtoras eficientes que contribuem para o aumento da produtividade interna, ganho de parcela do mercado externo e para o fortalecimento do agronegócio no País.

A adaptabilidade desse cereal às diversidades ambientais, climáticas e pluviométricas no Brasil é discutida, evidentemente, na literatura. De acordo com Magalhães e Durões (2006), a produção de milho exige em torno de 600 mm de água por período pluvial. No Brasil, todavia, a demanda hídrica anual varia de 300 a 5000 mm dependendo da região e da estação do ano.

Na decodificação de Cruz *et al.* (2011), malgrado o cultivo irrigado do milho ocorrer durante todo o ano, o plantio em época adequada, coincidente com o tempo de floração e enchimento dos grãos com períodos chuvosos, é essencial para alcançar níveis de produtividade elevados. Artuzo (2019) assinala, também, que pesquisa e desenvolvimento tecnológico são cruciais para aumentar a produtividade, principalmente naquelas regiões que possuem situações edafoclimáticas favoráveis, e também para estabilizar a produção e contribuir na estabilidade produtiva naqueles ambientes mais instáveis.

Em todas as regiões brasileiras, o cultivo do milho acontece praticamente durante todo o ano, chegando até a três safras. Tradicionalmente, esse cultivar é produzido em duas colheitas, porém, a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), em 2020, introduziu a terceira safra, referente ao plantio de fevereiro a junho. A terceira safra ocorre, geralmente, nos estados que possuem condições climáticas propícias ao plantio nesse período, como são os casos de Sergipe, Pernambuco, Bahia, Alagoas, Roraima e Amapá (Conab, 2022). O Quadro 1 mostra o calendário de safras de milho no Brasil, evidenciando os meses em que é feito o plantio e realizada a colheita.

Quadro 1 – Calendário de safras do milho no Brasil

Períodos	Plantio	Colheita
1ª safra	Setembro a dezembro	Janeiro a junho
2ª safra	Janeiro a abril	Maió a setembro
3ª safra*	Fevereiro a junho	julho a dezembro

Fonte: elaboração própria, com suporte em Conab (2022). Nota: * praticada nos Estados de Sergipe, Pernambuco, Bahia, Alagoas, Roraima e Amapá. Há variabilidade entre os períodos de plantio e colheita, de acordo com o Estado. Os meses expressos consistem em períodos que abarcam todas as oscilações.

A segunda safra, ou “safrinha”, tem registro de destaque nos últimos anos, por sua elevada produtividade. O milho, colhido na segunda safra, conhecido também como “milho de sequeiro”, é plantado no período de verão, coincidindo com a colheita da soja. Por ocupar a mesma área, vem o benefício, pelo fato de aproveitar a área já fertilizada (Souza *et al.* 2018).

A expressão “agricultura de sequeiro” refere-se ao cultivo exercitado em solos “secos”, onde o nível pluviométrico é baixo, fazendo uso apenas da água da chuva para a irrigação da cultura. Em geral, a técnica é empregada em cultivos que suportam extensos períodos de estiagem (CBHS, 2015; Lemos *et al.*, 2022).

Na Região Nordeste, a produção de milho para consumo e subsistência representa a principal aplicação deste cereal. Extensas áreas, todavia, são utilizadas para a produção do

milho com finalidades comerciais, exportação e rotação de culturas (é natural a alternância do plantio de soja e milho na mesma área, haja vista terem em comum a utilização de maquinários e implementos agrícolas) (Coêlho, 2021; Duarte *et al.*, 2010; Procópio, 2019; Artuzo, 2019).

Entre essas áreas de produção de milho para fins comerciais, destaca-se o acrograma MATOPIBA, para representar a área formada por porções dos Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e da Bahia. Esta região ocupa uma área de 738.698 km², tendo o Cerrado como bioma predominante, correspondendo a 90,9% deste território, porém, os biomas da Amazônia e Caatinga também estão ali em menor percentual: 7,2% e 1,64%, respectivamente. Seu relevo é caracterizado por terras extensas e planas, propícias ao desenvolvimento da agricultura, em particular, à produção de grãos para exportação, como a soja e o milho, sob expansão considerável nas últimas décadas na região (Embrapa, 2015; Martinelli *et al.*, 2017; Bolfe *et al.*, 2016).

Merece destaque, também, a crescente produção de grãos ocorrente na região da SEALBA, outra acrografia, que compreende porções dos Estados de Sergipe, Alagoas e Bahia. Esta região tem ressaltado, ultimamente, pela produção de milho de terceira safra, principalmente a do Estado do Sergipe, com plantio consorciado ao feijão, fazendo uso de sementes melhoradas geneticamente e aplicando de mecanização (Ribeiro e Couto, 2020).

Alves e Amaral (2011) exprimem que o cultivo do milho na Região Nordeste denota peculiaridades, haja vista o fato de que alguns aspectos favorecem o desenvolvimento da atividade, tais como: terras com custo-benefício satisfatório para a expansão da atividade, acesso ao crédito, universidades e instituições de pesquisas - tais como a Embrapa Milho e Sorgo, localizado em Sete Lagoas – MG. Por outro lado, de acordo com os mesmos autores, a região reclama dificuldades para a atividade, como a infraestrutura de apoio à cadeia produtiva ineficiente e insuficiente; acesso precário a áreas produtoras em razão das más condições das estradas; e o uso de semente das safras anteriores ou pouco adaptadas ao clima da região, resultando em baixa qualidade do produto e risco da incidência de pragas.

Segundo Schwanke; Moraes, e Moraes (2020) a Região Nordeste está habilitada a tornar-se em novo polo de produção de milho, em razão da adaptabilidade das sementes de híbridos às condições climáticas do semiárido nordestino. Os autores salientam, ainda, o potencial que o mercado interno do milho possui em função dos estímulos criados após a participação das indústrias alimentícias, da pecuária e da avicultura na Região. Ademais, as iniciativas estaduais, por meio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

(MAPA), são favoráveis à oferta de serviços de capacitação técnica e instrumentos de apoio à comercialização.

Alves e Amaral (2011), ao analisarem as safras de 2005 a 2011 na Região Nordeste, observaram crescimento em 10,41% da área plantada de milho, e a produtividade em 71,24%, enquanto o Brasil teve aumentos de área plantada e produtividade em 6,75% e 26,75%, respectivamente. No mesmo período, os Estados de Sergipe, Piauí, Maranhão e Bahia tiveram sua produção elevada em 388,99%, 202,36%, 107,28%, 96,41%, respectivamente. Na próxima seção, estão aprofundadas as discussões sobre a produção de milho no Piauí, um dos principais produtores desse bem do Nordeste.

2.4 Produção de milho no Estado do Piauí

Cardoso (1993), estudando a produção de milho de 1981 e 1990 no Piauí, constatou que o grão é cultivado em todos os municípios do Estado. A cultura do milho, então, desempenha papel significativo no atendimento às necessidades de subsistência da população. Seu cultivo ocorre prioritariamente em pequenas propriedades, com área inferior a 100 ha; embora, no período investigado, as grandes propriedades tivessem obtido a maior produtividade de 709 kg/ha em estabelecimentos com área acima de 10.000 ha, enquanto, em estratos com área inferior a 1.000 ha, retinham produtividade de cerca de 600 kg/ha. O autor indica, ainda, que o Cerrado se revela como fronteira agrícola a ser expandida para o cultivo do milho, em razão da quantidade de terras agricultáveis disponíveis, da qualidade do solo favorável ao cultivo e da mecanização em decurso na Região.

De acordo com Cuenca (2006), o cultivo do milho no Estado era comumente realizado em conjunto com outras culturas, sendo o feijão o cultivar predominante no consórcio no início dos anos 2000. Neste período, a produção do milho caracterizava-se por baixo emprego da mecanização, destinada essencialmente à subsistência das famílias locais, e por empregar exclusivamente mão de obra familiar. Cerca de 70% da área de colheita de milho no Estado estavam concentrados em propriedades de pequeno porte, com área menor do que 50 hectares, localizados nos Municípios de Picos, Itainópolis e Canto do Buriti. A produção de milho ali representou mais de 75% do total produzido no Piauí naquele período.

Mudanças nesse *status quo* foram observadas por Cardoso (2023), ao analisar a cultura do milho (grão híbrido comercial), no ano-safra 2020/2021, no Meio-Norte brasileiro (composto por áreas dos Estados do Maranhão, Piauí e Ceará). Segundo o autor, o milho, entre os grãos, é produzido predominantemente em regime de sequeiro. No Piauí, a cultura

enfrenta risco climático significativo, em consequência da irregularidade na distribuição de chuvas. Isso se manifesta por meio de períodos de veranicos, que têm duração variada, especialmente quando ocorre durante as fases críticas do desenvolvimento da planta, como na floração e enchimento de grãos. A falta de água nesses intervalos reduz consideravelmente o rendimento da cultura (Dorenbos; Kassam, 1994).

De acordo com a Conab (2022), no Piauí, o período de plantio da primeira safra ocorre de novembro a janeiro, com colheita de abril a agosto, enquanto o plantio de 2ª safra acontece em fevereiro, março e abril, e sua colheita de maio a agosto.

O milho é o segundo mais importante produto agrícola da economia piauiense. Em 2022, gerou, em valor bruto da produção, R\$ 3,15 bilhões de reais, obtido desde produção de 2.591.483 toneladas de grãos, perdendo somente para a soja. Desde 2014, o Piauí figurava na terceira colocação no ranque dos maiores produtores de milho da Região Nordeste, enquanto Bahia e do Maranhão habitavam a primeira e a segunda. Em 2022, o Estado passou a ocupar a segunda posição, ficando atrás somente da Bahia (Cepro, 2014; Cepro, 2015; Cepro, 2017, Seplan, 2023).

Em termos de exportação, em 2022, o milho e a soja, conjuntamente, representaram 84,8% do valor total das exportações, sendo 19,7% do milho e 65,1% da soja. (Superintendência Cepro/Seplan, 2022; MDIC/COMEX, 2023). Em 2023, segundo dados do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2023), o milho e a soja permaneceram como os principais grãos exportados pelo Piauí, correspondendo a 16% e 75%, do valor total das exportações, ou 91%, somados. A China se consolidou, nos últimos anos, como principal importador do Estado.

A próxima subseção caracteriza as macrorregiões piauienses que possuem aspectos climáticos e ambientais específicos.

2.4.1 Macrorregiões ambientais do Piauí

De acordo com a Superintendência Cepro/Seplan (2019), o Piauí possui quatro macrorregiões ambientais: Litoral, Semiárido, Cerrado e Meio-Norte. Faz-se necessário abordar os aspectos socioambientais que caracterizam tais regiões, como segue.

Litoral

O litoral do Piauí está localizado na sua porção norte e registra cerca de 66 km de extensão, com clima quente e úmido, possuindo também duas estações bem definidas,

conhecidas como “chuvosa”, no primeiro semestre do ano, e seguida da estação “seca” (Silva; Lima, 2020).

As atividades produtivas acontecem em pequeno número e são pouco diversificadas, destacando-se o turismo de aventura, esportivo e ecoturismo; a pecuária leiteira; e a pesca (Silva, 2013; Rodrigues *et al.*, 2019). Para Putrick (2019), a principal vocação turística coincide com as paisagens litorâneas, com destaque para o Delta do Parnaíba. A autora aponta, ainda, o subaproveitamento econômico e a carência de organização infraestrutural na região.

Para Cardoso *et al.* (2004), o litoral piauiense também possui vocação econômica para a produção de grãos, denotando alçada potencialidade para o cultivo do milho. Eles analisaram a produtividade do milho no Município de Bom Princípio para o ano de 2004, pertencente à macrorregião litorânea, e constataram produtividade média de 5.469 kg por hectare, com variação de 3.454 a 7.175 kg. Comprovaram, ainda, que é um *locus* onde distintos níveis tecnológicos coexistem, sugerindo políticas públicas de melhoramento dos grãos híbridos para a região.

Meio-Norte

O Meio-Norte brasileiro é região formada pelos Estados do Maranhão, Piauí e Ceará, que possui uma vegetação de transição entre os biomas da caatinga, do cerrado e a zona de transição das matas dos cocais (Matos, 2013). No alcance de Cardoso (2003), apesar dos problemas relacionados com os níveis de chuva, as condições ambientais relacionadas ao solo e ao clima nessa região são favoráveis para a produção de milho.

De acordo com Bezerra *et al.* (2015), na região, as principais atividades econômicas relacionadas à produção agropecuária são oriundas, prioritariamente, de pequenos produtores rurais, que, além de utilizarem as produções para o comércio, também fazem uso para seu consumo. Entre as atividades que se destacam, estão a criação de pequenos animais - como galinhas, caprinos e ovinos - e a produção de leite.

No que se refere à produção de grãos, Cardoso *et al.* (2001) estudaram o potencial da produção de milho no Meio-Norte brasileiro para o período de 1999/2000, com o objetivo de identificar o genótipo de milho mais adequado para a região. Assinalam que a produção de milho era praticada em toda a extenso da região, e caracterizava-se por pequenos e médios produtores rurais. Expressam, ainda, que a extensão territorial a abranger os Estados do Piauí e do Maranhão dispõe de elevado potencial para o desenvolvimento da cultura de híbridos de milho, revelando produtividade média de 8.056 kg por hectare para o ano, e que seria capaz de se desenvolver com investimentos em inovações tecnológicas.

Semiárido

Assegura Lemos (2020) que o semiárido brasileiro é heterogêneo, existindo diversidade de paisagens e de recursos naturais. Exemplo disso é a convivência de dois biomas distintos (caatinga e cerrados). É característica, porém, de toda a área a instabilidade de chuva. Expressa peculiaridade é reforçada por Moura *et al.* (2007), para quem o semiárido nordestino é caracterizado por forte incidência de sol, umidades do ar baixas, períodos chuvosos curtos, geralmente, de três a quatro meses. Essas características também são apontadas por Lima (2000), quando se tratando do semiárido piauiense, a saber: irregularidades de chuvas, nível pluviométrico de 400 a 900 mm, temperatura elevada no dia e à noite e mantendo-se durante o ano todo, predominância do bioma caatinga, e com solos pedregosos, rasos e que se alternam com solos arenosos.

Medeiros (1996) e Andrade Júnior *et al.* (2008) são da opinião de que a cultura do milho na região do semiárido piauiense denota alto risco climático, na medida em que é uma região com clima irregular e precipitação anual de 600 mm, o que não se configura suficiente para o grão.

Cardoso, Ribeiro e Melo (2009) estudaram a produção consorciada de milho e feijão-caupi no semiárido piauiense para o ano agrícola de 2007/2008, e apontaram que a atividade é realizada, principalmente, por agricultores familiares, exprimindo baixa produtividade, em torno de 400 kg e 200 kg por hectare, respectivamente. Para os autores, o baixo rendimento está relacionado com o manejo inadequado das culturas e a irregularidade pluviométrica da região.

Cerrado

O cerrado piauiense compreende uma área de cerca de 93 mil km². A agricultura iniciou, em 1990, sua expansão no cerrado, tendo como base culturas como soja, milho, feijão e arroz (Silva; Sousa; Furtado, 2014). A ocupação regional pela agricultura se deu na *Revolução Verde* dos anos de 1960. Isto porque a agricultura moderna requer terras propensas à dinâmica da agricultura de grãos (Alves, 2006).

Cardoso (1993), Andrade Júnior *et al.* (2008), e Silva *et al.* (2021) apontam o potencial dos cerrados piauienses para a produção de soja e milho. Segundo esses ensaios, a qualidade do solo e a quantidade de terras disponíveis são características que favorecem maior produtividade na produção de grão nessa região. Indicam, ainda, como fatores favoráveis para o fomento a produtividade da agricultura na região, bem como a atuação de empresas de grande porte com capacidade de fazer investimentos em instalações e infraestrutura.

Demais disso, o cerrado piauiense alavanca a produção agrícola do Piauí, figurando a soja e o milho entre os dois principais produtos agrícolas dessa região. De acordo com a Superintendência Cepro (2023), os principais municípios produtores de milho no Piauí pertencem a essa região - Uruçuí, Baixa Grande do Ribeiro e Bom Jesus. O Cerrado Piauiense abrange, também, com 33 municípios, a extensão de terra denominada MATOPIBA – uma das principais fronteiras agrícolas produtoras do Brasil (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015).

2.5 Eficiência técnica na produção

Para Tupy e Yamaguchi (1998), as firmas são comumente analisadas quanto a sua produtividade, compreensível como a relação entre as quantidades produzidas e os insumos empregados no processo produtivo. Tais indicadores, assim, não alcançam o jeito como o montante produzido é influenciado pelo modo como os insumos são utilizados no âmbito da produção. Dao (2013) aponta que um estabelecimento só será considerado eficiente se nenhum insumo for reduzido sem causar a diminuição dos produtos gerados ou, de outra maneira, se não for possível aumentar a oferta de produtos sem aumentar a quantidade de insumos empregados.

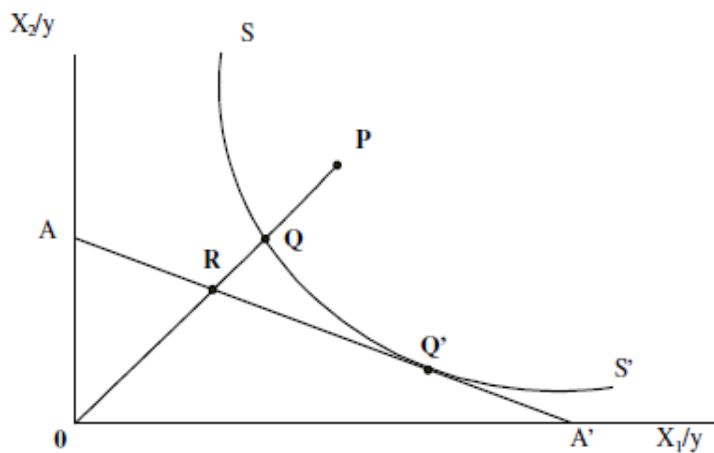
Farrell (1957) conceitua a eficiência como a capacidade de uma firma produzir o máximo de um produto com amparo num conjunto de insumos determinados. O autor ofereceu modelo empírico para mensurar a eficiência das firmas, dividindo-a em dois termos: Eficiência Técnica (ET), e Eficiência Alocativa (EA), que, combinadas, formam o conceito de eficiência econômica.

As medidas de ET e EA são analisáveis pela óptica do produto ou do insumo. A medida produto-orientada pretende mensurar a quantidade máxima possível do produto, dadas as quantidades de insumos estabelecidas. A medida orientada por insumos tem como foco reduzir a quantidade máxima de insumos, dada uma quantidade produzida (Coelli, 2005).

Conforme Coelli (2005), Farrell (1957) demonstrou suas ideias de maneira simples, ao utilizar o exemplo de uma firma que produziria um produto (q), utilizando somente dois insumos (x_1 e x_2), e estando sob uma função de produção ($y = f(x_1, x_2)$). A Figura 1 ilustra uma firma que usa dois tipos de insumos e que tem sua situação “completamente eficiente” demonstrada na isoquanta SS' ; o ponto P representa a quantidade de insumos necessários para produzir uma unidade de

produto; o ponto Q é eficiente por estar sobre a isoquanta eficiente; logo, a medida de ineficiência dessa firma é representada pela distância entre o ponto Q e P , usualmente expresso na razão $ET = \frac{OQ}{OP} \equiv 1 - \frac{QP}{OP}$, em que $0 \leq ET \leq 1$, 0 significa que a firma é completamente ineficiente e 1 que a firma é totalmente eficiente. Para Koopmans (1951), a firma somente é considerada completamente eficiente, se, e somente se, possuir $ET = 1$ e não houver quaisquer sobras de produtos ou insumos.

Figura 1 – Representação da eficiência econômica



Fonte: Coelli (2005).

A função de produção é o modelo pelo qual os tipos de eficiências são mensurados por meio de técnicas econométricas. Os modelos de fronteira de produção, que incluem a eficiência como elemento importante da análise, têm evoluído desde o modelo proposto por Farrell (1957), com suporte no qual modelos não programáticos, determinísticos e estocásticos foram desenvolvidos. É possível, ainda, estimar tais modelos utilizando dados dispostos em séries temporais, dados de corte (*cross-section*) ou pela união de série temporal com *cross-section* (Fonseca, 2005; Silva, 2007; Almeida, 2012).

Este estudo recorreu ao modelo paramétrico de fronteira estocástica, a *Stochastic Frontier of Production* - (SFA), proposto por Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Meeusen e Broeck (1977). Este padrão introduziu um elemento para representar os “ruídos” ou erros não considerados no modelo que era omitido da abordagem determinística.

De acordo com Silva (2007), esse modelo requer a especificação explícita de um formato funcional, que expresse as restrições de tecnologia e as hipóteses sobre o termo de erro, permitindo sua decomposição e assentando na mensuração de fronteiras no setor

agrícola. Segundo Coelli, Rao e Battese (1998), o erro aleatório é adequado para modelar a função de produção no setor agrícola, visto que ambos estão suscetíveis a incertezas relacionadas com pragas, doenças, problemas relacionados ao tempo e ao clima, com possibilidades de haverem sido omitidas no modelo.

Conforme Ahmad e Bravo Ureta (1997), a mensuração da Eficiência Técnica (ET) utilizando a função de produção do tipo Cobb-Douglas e translogaritma (Translog) mostra-se mais robusta, sendo a primeira (Cobb-Douglas) a mais utilizada.

Na literatura, encontram-se inúmeros experimentos que utilizam as modalidades funcionais citadas, tais como os de Leão (2000), Pereira *et al.* (2001), Silva e Ferreira Junior (2002), Silva (2007), Almeida (2012), Scherer e Porsse (2017), Santos (2018), Silva (2019), Soares (2019), Reis *et al.* (2020). A modalidade funcional Cobb-Douglas é representada pela Equação (1), que, ao ser logaritimizada, resulta no modelo linear dos logarítmicos dos insumos (Equação (2)). Em casos em que a formulação não desempenha a melhor maneira de demonstrar a tecnologia, é possível ajustar a função no formato translog, consoante a Equação (3).

$$Y_i = A \prod_{j=1}^n x_j^{b_j} e^{(v_i - u_i)} \quad \#(1)$$

$$\ln Y_i = \ln A + \sum_{j=1}^n b_j \ln x_j + v_i - u_i \quad \#(2)$$

$$\ln Y_i = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n 1 \alpha_i \ln x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} \ln x_i \ln x_j + v_i - u_i \quad \#(3)$$

Para Villa (2004), translog, como uma forma de aproximação de segunda ordem, não impõe restrições sobre os retornos de escala, por denotar elasticidade de substituição variável e as possibilidades de trocar tecnologia.

Consoante Aigner, Lovell e Schimdt (1977), e Meeusen e Broeck (1977), a função de produção estocástica é composta pela fronteira determinística $f(x_i, \beta)$ para todos os produtores e pelo termo e^{v_i} , que tem como objetivo capturar os erros aleatórios que atingem a *i-ésima* Unidade Tomadora de Decisão (do inglês *Decision Making Units – DMU*), na forma:

$$Y_i = f(x_i, \beta) e^{v_i - u_i}, \text{ onde } i = 1, 2, \dots, n \quad \#(4)$$

Dado que:

Y_i é o nível de produção da *i-ésima* firma;

$f(\dots)$ representa a função na forma funcional Cobb-Douglas;

x_i é o vetor de insumos na *i-ésima* firma;

β é o vetor de parâmetros a ser estimado;

u_i é a variável aleatória não negativa relacionada aos fatores causadores de ineficiência técnica na i -ésima firma;

v_i é o termo de erro aleatório que possui média zero, associado a externalidades negativas fora do controle do produtor;

n é o número de firmas.

Segundo Aigner, Lovell e Schmidt (1977), BATESSE e Coelli (1992), e BATESSE e Coelli (1995), a eficiência técnica no modelo estocástico é mensurada pela razão entre a produção observada e a produção estimada à fronteira de produção para a i -ésima firma, como segue:

$$ET = \frac{Y_i}{\hat{Y}_i} = \frac{f(x_i; \beta) e^{(v_i - u_i)}}{f(x_i; \beta) e^{v_i}} = e^{-u_i} \quad (5)$$

Dado que v_i é simétrico $(-\infty < v < \infty)$, com choques idênticos e independentes, com distribuição $[v \sim N(0, \sigma_v^2)]$; $u_i \geq 0$, ou seja, não negativo.

O termo u_i diz respeito à ineficiência técnica da própria firma, capaz de denotar distribuição como *half-normal* encontrada por Aigner, Lovell e Schmidt (1977), e normal truncada, discutida por BATESSE e Coelli (1995). Assume-se, ainda, que os termos

v_i e u_i são independentes entre si.

De acordo com Greene (1980), a fronteira de produção é passível de ter seus parâmetros estimados por métodos como Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), Mínimos Quadrados Corrigidos (MQC), no entanto, a metodologia de teste mais utilizada nos estudos de eficiência técnica é a Máxima Verossimilhança, por ser considerada a mais abrangente. Para Aigner, Lovell e Schmidt (1977), e Coelli, Rao e BATESSE (1998), os estimadores resultantes da maximização da função log-verossimilhança são mais consistentes e assintoticamente mais eficientes.

Na perspectiva de BATESSE, Rao e O'Donnell (2004), as eficiências técnicas dos produtores de um mesmo setor não resultam comparáveis entre si em caso de existência de tecnologias distintas de produção. Posto isso, para que seja possível essa comparação de eficiências técnicas, impõe-se a estimação de uma *Metafronteira* de Produção (MFP) envolvendo todas as fronteiras individuais produtivas. Isso é suscetível de acontecer em duas etapas: primeiramente, estimando-se a função de produção estocástica, e, posteriormente, calculando-se a eficiência técnica das firmas i em relação à *metafronteira* de produção, com o auxílio de programação linear.

Huang, Huang e Liu (2014) discordam do método de mensuração da metatecnologia de Batesse, Rao e O'Donnell (2004), ao afirmarem que, no segundo passo, a programação linear impediria a inclusão de variáveis institucionais que representem as diferenças tecnológicas. À vista disso, propuseram outra etapa, com a representação da relação *gap* tecnológico (RGT), conforme está na Equação (6):

$$RGT_{ij} = \frac{f^j(X_{ij})}{f^M(X_{ij})} = e^{-U_{ij}M} \leq 1 \#(6)$$

Onde: $U_{ij}M$ é o componente do gap tecnológico

Para mensurar a ET de cada firma em relação à MFP, e assim ser possível comparar as medidas de eficiência em diferentes tecnologias, eis a equação:

$$MFP_i^j = RGT_i^j \cdot ET_i^j \#(7)$$

Em seguida, elencam-se alguns estudos da literatura econômica que fizeram uso da metodologia de fronteira estocástica e da *metafronteira* estocástica de produção como ferramenta para analisar a maneira como os fatores de produção estão sendo empregados na agropecuária brasileira e como isso vai repercutir nos resultados da produção.

2.5.1 Eficiência técnica na produção agrícola

Na literatura econômica brasileira, existem diversos estudos sobre eficiência técnica no setor agropecuário, utilizando o método de SFA do tipo Cobb-Douglas. Entre tais trabalhos, mencionam-se Pereira *et al.* (2001), que utilizou o método com dados em *cross-section* para o setor agropecuário brasileiro no período de 1970, 1980 e 1996. Silva e Ferreira Junior (2002), por sua vez, mensuraram eficiência técnica dos produtores agropecuários dos Estados do Acre e de Rondônia para o ano de 1995/96, agrupando os dados desses Estados no plano municipal. Leão (2000) empregou o método no tipo Cobb-Douglas e no formato translog para mensurar a eficiência técnica e avaliar se ocorreram mudanças na base tecnológica da agropecuária brasileira, tendo os dados sido agrupados no patamar estadual para o período de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1995/96, formando uma estrutura de dados em painel.

Estudos mais recentes também fazem uso do método. Scherer e Porsse (2017), utilizando o modelo de SFA na forma translog, analisaram as microrregiões brasileiras sob a óptica do desempenho produtivo agrícola. O trabalho procurou identificar quais regiões empregavam da melhor maneira as combinações de insumos para gerar maior eficiência, dada

a função de produção estabelecida. Entre os resultados encontrados, foram observadas correlações positiva e significativa entre a variável tamanho da propriedade e a combinação da terra e a variável capital para a obtenção de níveis de produtividades maiores, tendo os biomas Cerrado e da Caatinga obtido os maiores coeficientes de correlação. Eles identificaram também a existência da autocorrelação espacial positiva, significando que boas práticas de manejo e controle de pragas são capazes de afetar positivamente as regiões vizinhas, enquanto práticas menos eficientes, também, vão influenciar negativamente nas culturas das localidades próximas.

Freitas, Silva e Braga (2017) aplicaram o modelo de fronteira estocástica de produção para identificar o efeito da extensão rural sobre a produção agropecuária brasileira (lavoura, pecuária e agrossilvicultura) no ano de 2006. Os autores concluíram que, quanto maior o nível de escolaridade do produtor, maior é a possibilidade de implementação de serviços de extensão rural no estabelecimento agropecuário; e que o serviço de extensão contribui para a eficiência técnica do produtor, onde os estabelecimentos que utilizaram se mostraram mais eficientes em detrimento daqueles que não adotavam.

Estudos também são procedidos com a metodologia de *metafronteira* para mensurar a eficiência técnica na agropecuária brasileira. Carvalho (2003), utilizando a análise de *metafronteira* estocástica (MFP), analisou a PTF das cinco regiões do Brasil (Norte, Sul, Centro-Oeste, Sul e Sudeste) - setor agrícola do Brasil. Silva (2017), investigou as diferenças tecnológicas na agropecuária brasileira, considerando os censos agropecuários de 1975, 1985, 1995 e 2006, partindo da hipótese da existência de heterogeneidade tecnológica na agropecuária brasileira. Para isso, ele dividiu a discussão do trabalho em dois momentos, o primeiro mesurando a ET para regiões brasileiras e, em seguida, medindo a ET entre os municípios que compõem semiárido e o não semiárido nordestino.

Almeida (2012) estudou as diferenças de eficiência técnica entre os pequenos, médios e grandes estabelecimentos rurais da agropecuária brasileira para o ano de 2006. Considerando que o nível tecnológico da agropecuária nacional varia entre regiões, estabeleceu funções de produção distintas para cada região (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul, Sudeste) do País. Mostrou que as regiões Norte e Nordeste se destacaram por serem as mais atrasadas tecnologicamente; e usaram, intensivamente, o fator de produção trabalho em substituição ao fator capital.

Soares e Spolador (2019) aplicaram a MFP para mensurar a eficiência técnica e os *gaps* de tecnologia dos produtores de milho no Estado de São Paulo. O trabalho dividiu os produtores entre três segmentos (alta, média e baixa aptidão em relação ao solo, clima e

relevo) para o ano-safra 2007/2008. O estudo mostrou subaproveitamento no uso dos recursos pelos produtores de milho, em todo o Estado, e uma dispersão média dentro da Unidade Federada, com pequenas áreas de concentração de produção, como os Municípios de Campinas e Itapeva. Entre os fatores que mais geram ineficiência técnica, residir na propriedade é o principal para os três grupos; os níveis de instrução do produtor, apesar de indicarem significância somente para o grupo de “primeiro grau completo”, foram considerados “aumentadores de eficiência” em todos os coeficientes associados.

O experimento agora relatado inova, ao estudar a cultura do milho no Estado do Piauí, utilizando a metodologia de fronteira estocástica de produção e *metafronteira* de produção. Não existem estudos que mensurem a eficiência técnica da produção agrícola para o Piauí. A originalidade encontra-se também, na segmentação da análise por macrorregiões, ao entender-se que elas possuem características distintas a influenciarem a maneira como são os fatores de produção utilizados na cultura do milho no Estado e na série temporal de 47 anos utilizada. Ademais, o estudo amplia consideravelmente a literatura respeitante à matéria para a agricultura brasileira e regional.

3 METODOLOGIA

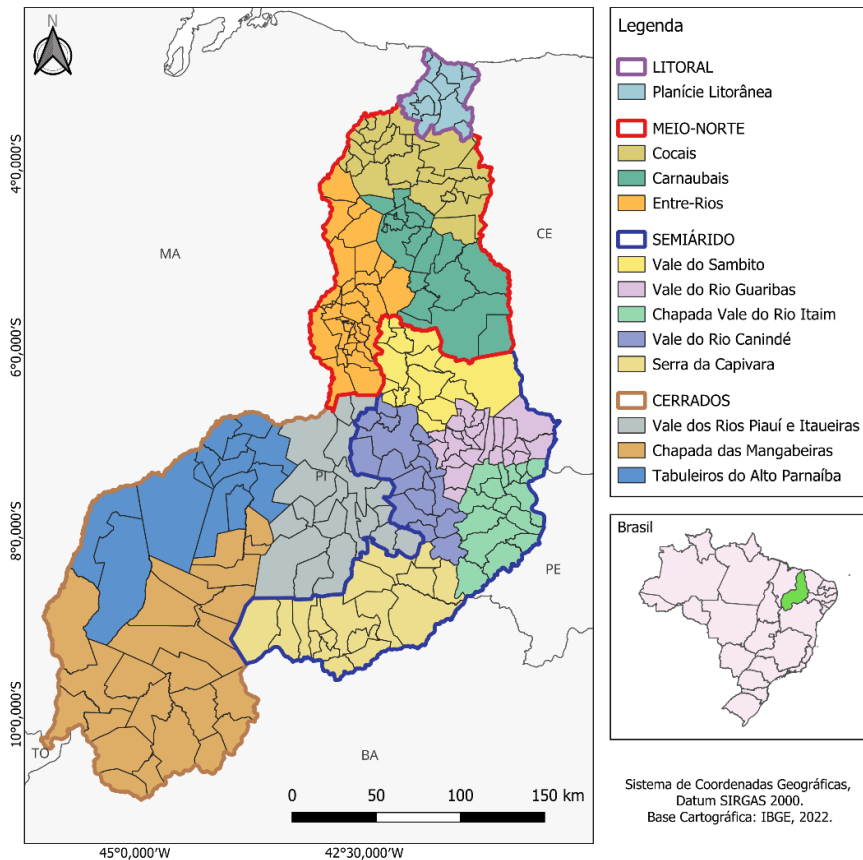
Este capítulo está dividido em quatro partes, na primeira das quais se delimita a área de estudo; na segunda, está o modelo de *metafronteira* de produção estocástica; na terceira parte, especifica-se o modelo empírico utilizado para apoiar a análise de fronteira estocástica; e, no segmento de remate, descrevem-se os dados e as variáveis utilizadas no modelo.

3.1 Área de estudo

O Estado do Piauí possui área de 251.755,481 km², cerca de 16% do território do Nordeste. Em 2022, a população piauiense somava 3.271.199 habitantes, com densidade demográfica de 12,99 hab/km². No mesmo ano, o rendimento nominal mensal *per capita* era de R\$ 1.100,00, e ocupava a 23^a colocação, no ranque do IDH da Federação, com 0,69 (IBGE, 2022).

De acordo com o documento **Piauí em Números**, da Superintendência CEPRO/SEPLAN (2019), o Estado tem fronteira: ao Norte, com o Oceano Atlântico, com litoral de 66 km de extensão; ao Sul, com os Estados da Bahia e Tocantins; ao Leste, com Ceará e Pernambuco; e, ao Oeste, com o Maranhão. O Piauí é formado por 224 municípios, 12 Territórios de Desenvolvimento (TDs) e quatro macrorregiões (Litoral, Semiárido, Meio-Norte e Cerrado), como mostrado no Mapa 1 e no Quadro 2.

Mapa 1 – Divisão macrorregional do Piauí por Território de Desenvolvimento



Fonte: elaboração própria, com apoio em Piauí (2007) e Piauí (2017).

Os Territórios de Desenvolvimento (TDs), normatizados pela Lei Complementar nº 87, de 22 de agosto de 2007, acrescida da Lei 6.967, de 03 de abril de 2017, foram institucionalizados por meio da promulgação da política territorial no Estado. Os TDs agruparam os municípios de acordo com suas atividades econômicas e identidades socioculturais. Os documentos **Compatibilização entre Territórios de Desenvolvimento e instâncias de Gestão Regionais**, de 2017, e **Piauí em números**, da Superintendência Cepro/Seplan, de 2019, trazem a vinculação direta entre essa designação territorial e a divisão macrorregional do Estado (Piauí, 2007; Piauí, 2017; Pereira, Nascimento e Rodrigues, 2017; Superintendência Cepro/Seplan, 2019).

Quadro 2 – Territórios de Desenvolvimento e suas respectivas macrorregiões

Macrorregião	Território	Quantidade de municípios
Litoral	TD1 - Planície Litorânea	11
Meio - Norte	TD 2- Cocais	69
	TD 3- Carnaubais	
	TD 4 - Entre Rios	
Semiárido	TD 5 - Vale do Sambito	73
	TD 6- Vale do Rio Guaribas	
	TD 7- Chapada Vale do Rio Itaim	
	TD 8 -Vale do Rio Canindé	
	TD 9 - Serra da Capivara	
Cerrado	TD10 - Vale dos Rios Itaueira	71
	TD11 - Chapada das Mangabeiras	
	TD12 - Tabuleiros do Alto Parnaíba	

Fonte: elaboração própria, com base em Superintendência Cepro/Seplan (2019).

De acordo com o Censo agropecuário de 2017, o Piauí possui 245.601 estabelecimentos agropecuários, sendo que 65% desse total (ou 161.003) pertencem a produtores individuais. No Estado, 77,7% desses produtores são do sexo masculino; com faixa etária que se concentra de 35 a 75 anos; e somente 2,41% deles possuem escolaridade em nível superior. Relativamente ao acesso aos serviços de assistência técnica, 96,53% das propriedades rurais no Estado não recebem quaisquer tipos de assistência técnica, sendo o serviço prestado somente em 3,38% dos estabelecimentos (IBGE, 2017).

Segundo a Superintendência Cepro/Seplan (2023), o Estado do Piauí obteve um crescimento nominal acumulado do seu Produto Interno Bruto (PIB), no período de 2010 a 2021, de 187,5%, saindo de R\$ 22,3 bilhões em 2010 para 64,0 bilhões em 2021. A participação do setor agropecuário, em 2021, foi de 13,6%, elevação de 2,3 pontos percentuais em relação a 2020. Segundo o documento citado, o crescimento do setor foi impulsionado pelo aumento do cultivo de soja e milho no Cerrado piauiense.

3.2 Modelo de *Metafronteira* de Produção Estocástica

Os autores Aigner, Lovell e Schmidt (1977) propuseram o modelo de Fronteira Estocástica de Produção (*Stochastic Frontier of Production - SFA*) para mensurar a eficiência técnica (ET). Décadas depois, Batesse (1992) e Batesse e Coelli (1995) propuseram a estimação da SFA por meio de dados estruturados em painel, possibilitando a estimação da

ineficiência técnica, em associação a um vetor de outras variáveis, modelo utilizado por parte de Reis *et al.* (2020).

Para Battese (1992), no modelo de fronteira de produção estocástica com dados em painel, é possível considerar que as eficiências técnicas variem no tempo. Partindo-se de N firmas em T períodos, define como vem o referido modelo:

$$Y_{it}^j = f(X_{it}, \beta^j) \cdot \exp(V_{it}^j - U_{it}^j) \quad \#(8)$$

Dado que:

$$U_{it} = \eta_{it} U_i = \{\exp[-\eta(1 - T)]\} U_i \quad \#(9)$$

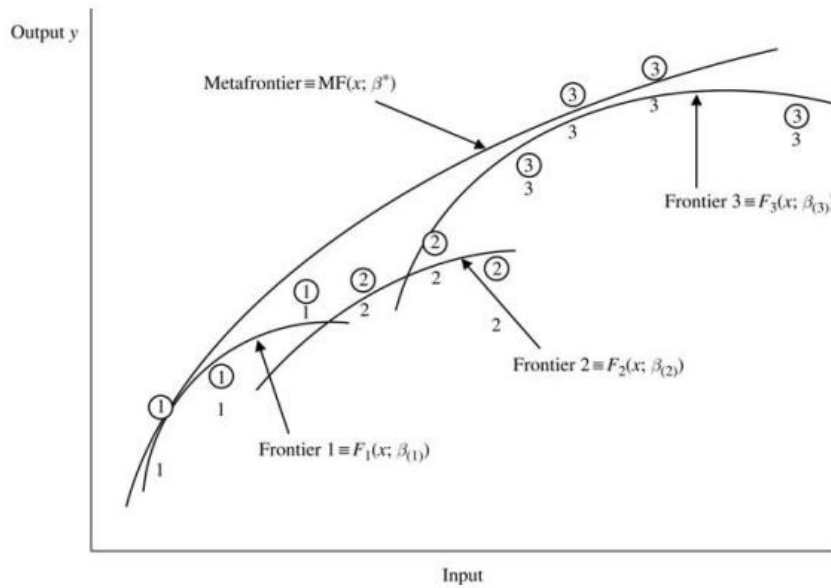
$$i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T,$$

em que: Y_{it} é o vetor de quantidade produzida de milho (*outputs*) no i -ésimo município no t -ésimo ano pertencente ao grupo j ; X_{it} é o vetor de insumos (*inputs*) usados na produção pelo i -ésimo município no t -ésimo ano; β^j é o vetor de coeficientes a serem estimados; V_{it} e U_{it} representam termos de erro aleatório independentes entre si que assumem valores não negativos, no qual v_{it} simboliza o termo de erro aleatório, com distribuição normal de média zero e variância constante, $iid N \sim (0, \sigma_v^2)$; e u_{it} o termo de ineficiência técnica entre macrorregiões; e η é um parâmetro a ser estimado.

Considerando cada município piauiense como uma DMU (i) , observados eles à extensão do tempo (t) , a relação entre os insumos e o produto em cada município para cada macrorregião (grupo) j é representada por uma fronteira estocástica. Assim, as macrorregiões são quatro: Litoral, Meio-Norte, Semiárido e Cerrado.

Para Batesse, Rao e O'Donnell (2004), produtores de um mesmo setor que operam o mesmo bem não são comparáveis entre si, caso estejam em regiões distintas. Isso porque são diversas as disponibilidades de insumos, recursos e fatores de produção. Para que fosse possível essa comparação, seria necessária a estimação de uma *metafronteira* de produção envolvendo todas as fronteiras individuais de produção. Os autores apontam, ainda, como observado na Figura 2, que a *metafronteira* de produção estocástica deve envolver todas as fronteiras estocásticas regionais estimadas, restrição que está demonstrada na Equação (13).

Figura 2 – Representação da função de metafronteira



Fonte: Battese, Rao e O'Donnell (2004).

Para este estudo, decidiu-se utilizar os passos propostos por Battese, Rao e O'Donnell (2004) para elaboração da *Metafronteira* de Produção Estocástica (MFP). Entendendo que as contribuições de Huang, Huang e Liu (2014) aprofundam a literatura sobre o tema, à medida que trazem maior precisão econométrica, no entanto, não invalidam a solidez do método e dos resultados a serem encontrados.

Com esse propósito, conforme Battese, Rao e O'Donnell (2004), e O'Donnell, Rao e Battese (2008), para estimar a *metafronteira* de produção estocástica, são necessárias duas etapas: estimar, por meio da fronteira estocástica, as funções de produção municipais para cada macrorregião (*vide* Equação (8)); e, em seguida, de acordo com Battese e Coelli (1992), mensurar a eficiência técnica (ET_{it}^j) , Equação (10), de cada município i por grupo j , no tempo t , em relação às fronteiras de produção. O segundo passo é a estimação, por meio de programação linear, da eficiência técnica em relação à MFP, como se observa da Equação (11) a Equação (20).

$$ET_{it}^j = \frac{Y_{it}^j}{f(X_{it}^j, \beta_{it}^j) \cdot \exp\{v_{it}^j\}} = \{\exp(-u_{it}^j)\} \quad j = 1, 2 \dots J \#(10)$$

Segundo os mesmos autores, a MFP só será metodologicamente viável, após a rejeição da existência de uma fronteira estocástica estimada, reunindo as observações de todas as macrorregiões (grupos). Isto é, as macrorregiões precisam ser representadas por fronteiras

estocásticas específicas, sendo necessária a elaboração de uma *metafronteira* para as comparações dos distintos níveis de eficiência. É factível se realizar por intermédio da Razão de Verossimilhança (LR), onde H_0 representa a fronteira regional geral com todas as macrorregiões (*vide* Equação (23)) (Batesse; Rao; O'Donnell (2004)).

Partindo de Silva (2017), Silva *et al.* (2019), Soares e Spolador (2019), e Monteiro *et al.* (2019), são elaboradas fronteiras estocásticas, por macrorregiões do Piauí, referentes à produção de milho. Os *inputs* e *outputs* no processo produtivo são representados por fronteiras estocásticas municipais, pertencentes a cada macrorregião no tempo t (Equação (8)). E o indicador de ET para cada município i , no tempo t , por macrorregião j , expresso na Equação (10).

A função de *metafronteira* de produção (MFP), de acordo com Batesse *et al.* (2004), é dada por:

$$Y_{it}^M = f(X_{it}, \beta^M) \equiv \exp(X_{it}', \beta^M) \#(11)$$

$$f^j(X_{it}, \beta) = f^M(X_{it}, \beta) \exp - U_{it}^M \#(12)$$

dada a restrição,

$$f^M(X_{ij}, \beta) \geq f^j(X_{ij}, \beta) \#(13) \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, J \text{ .,}$$

em que, Y_{it}^M indica a produção da metafronteira e β^M representa o vetor de parâmetros para a MFP, satisfazendo a restrição demonstrada na Equação (13).

Segundo Batesse *et al.* (2004), a restrição demonstrada na Equação (13) assegura que nenhuma fronteira macrorregional seja maior do que a MFP, isto é, que nenhuma observação transponha os limites da função de produção, estando abaixo ou sobre ela.

Para calcular os parâmetros β^M , O'Donnell, Rao e Batesse (2008) oferecem duas maneiras: 1) estimar uma MFP empregando os produtos e insumos de todas as firmas i , independentemente da região e em todos os períodos. De acordo com os autores, tal procedimento não garante que a MFP estimada seja a envoltória de todas as fronteiras regionais, pois é possível ocorrer má especificação; 2) considerar que, dado os parâmetros estimados $\hat{\beta}_j$ das j -ésima fronteira macrorregional, a estimação da MFP, realiza-se na estimação do β^M pela resolução do problema de programação linear:

$$\frac{\min}{\beta} L \equiv \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N |\ln f(X_{it}, \beta^M) - \ln f(X_{it}, \hat{\beta}_j)| \#(14)$$

$$s. t. \ln f(X_{it}, \beta^M) \geq \ln f(X_{it}, \widehat{\beta}^j) \#(15)$$

para todo i e t

Sendo os parâmetros estimados de $(\widehat{\beta}^j, j = 1, 2, \dots, J)$ para as diferentes macrorregiões serem fixos e sendo a função $f(X_{it}; \beta^M)$ log-linear nos seus parâmetros, o problema da Equação (14) Segue da seguinte maneira:

$$\frac{\min}{\beta} \bar{X} \beta^M \#(16)$$

$$s. t. X'_{it} \beta^M \geq X'_{it} \#(17)$$

em que: \bar{X} é o vetor coluna das médias dos elementos dos x_{it} -vetores para todas as observações no conjunto de dados. Solucionada a programação linear e estimados os vetores β^M da *metafronteira* e β^j das fronteiras estocásticas municipais, o produto observado do município i da macrorregião j , no tempo t , é expresso assim:

$$Y_{it}^j = e^{(-u_{it}^j)} \frac{f(X_{it}^j, \beta_j)}{f(X_{it}^j, \beta^M)} f(X_{it}^j, \beta^M) e^{(v_{it}^j)} \#(18)$$

$$MTR_{it}^j = \frac{f(X_{it}^j, \beta_j)}{f(X_{it}^j, \beta^M)}, \text{ onde } 0 \leq MTR_{it}^j \leq 1 \#(19)$$

O primeiro termo do lado direito da Equação (18) representa a ET relativa à fronteira estocástica da j -ésima macrorregião. O segundo termo é nomeado razão da meta-tecnologia (MTR), que representa a diferença entre a tecnologia disponível para a macrorregião j , relativa à melhor tecnologia disponível para a cultura toda, e exposta na Equação (19). A eficiência técnica relativa à *metafronteira* é definida conforme expresso na Equação (20):

$$ET_{it}^{Mj} = \frac{Y_{it}^j}{f(X_{it}^j, \beta^M) e^{(v_{it}^j)}} = ET_{it}^j \cdot MTR_{it}^j \#(20)$$

3.3 Especificação da maneira funcional do modelo econométrico

Partindo de Aigner, Lovell e Schmidt (1977), e do modelo aperfeiçoado por Pitt e Lee (1981), e Schimidt (1984), estimou-se a SFA e aplicou-se a modelagem de painel, permitindo

incluir a variável que capta a ineficiência à medida do tempo. Para isso, primeiro, foi necessário definir a função de fronteira estocástica.

Neste estudo, optou-se por especificar o modelo pela forma funcional Cobb-Douglas no modo linearizado¹, modelos amplamente utilizados para estudos relacionados com o setor agropecuário, com o objetivo de evitar erros de má especificação ou multicolinearidade, expressada na Equação (21). Salienta-se que, com o intuito de verificar se o formato funcional escolhido foi o mais adequado, efetivou-se o teste da razão de verossimilhança, conforme Equação (22).

$$\ln(QMILHO_{it}^j) = \beta_0 + \beta_1 \ln(AIRRIGADA_{it}^j) + \beta_2 \ln(POCUPADA_{it}^j) + \beta_3 \ln(TRATOR_{it}^j) + \beta_4 \ln(PLUV_{it}^j) + \beta_5 \ln(TEMP_{it}^j) + \varepsilon_{it}^j \#(21),$$

$$\varepsilon_{it}^j = v_{it}^j - u_{it}^j$$

em que:

$(QMILHO_{it}^j)$ é a quantidade produzida de milho no município i no tempo t na macrorregião j ;

$(AIRRIGADA_{it}^j)$ é a área colhida de milho no município i no tempo t na macrorregião j ;

$(POCUPADA_{it}^j)$ é a quantidade de pessoas ocupadas em lavouras temporárias no município i no tempo t na macrorregião j ;

$(TRATOR_{it}^j)$ é a quantidade de tratores utilizadas na produção de milho no município i no tempo t na macrorregião j ;

$(PLUV_{it}^j)$ é a nível médio pluviométrico no município i no tempo t na macrorregião j ;

$(TEMP_{it}^j)$ é a temperatura média no município i no tempo t na macrorregião j ;

ε_{it}^j é a termo de erro no município i no tempo t na macrorregião j , onde v_{it} são os erros aleatórios por hipótese $iid \sim N(0, \sigma^2)$, isto é, independentes e identicamente distribuídos, com distribuição normal de média zero e variância σ^2 ; u_{it} a ineficiência técnica a ser estimada no modelo.

Assim, a Equação (21) expressa a função de fronteira estocástica desta pesquisa para os municípios do Piauí, nas suas macrorregiões. Faz-se necessário, também, estimar os parâmetros da função de produção para cada macrorregião, providência a ser efetivada pelo método de máxima verossimilhança, permitindo o cálculo das eficiências técnicas para cada

¹ Para Kopp e Smith (1980), os níveis de eficiência técnica são afetados mais intensamente pela metodologia de estimação das fronteiras estocásticas (Análise envoltória de dados ou fronteira estocástica), do que pela maneira funcional escolhida.

macrorregião (Litoral, Meio-Norte, Cerrado e Semiárido) e da fronteira geral ao largo da série estabelecida.

Salienta-se ainda, que os parâmetros da fronteira estocástica de produção foram estimados no *software* R-Project, por meio do pacote *frontier*. Enquanto isso, a estimação dos parâmetros da *metafronteira* de produção e das meta-tecnologias deram-se pelo *software* estatístico Shazam.

3.3.1 Testes realizados

Para identificar se a maneira funcional escolhida foi a mais adequada, fez-se uso do Teste da Razão Máxima Verossimilhança, o mesmo utilizado nos trabalhos de Silva (2017), Monteiro *et al.* (2019), Silva *et al.* (2019) e Soares *et al.* (2019). O Teste de Especificação da Forma Funcional do Modelo de Fronteira de Produção Estocástica considerou as duas modalidades funcionais: (i) função Cobb-Douglas; (ii) função Translog.

A função Cobb-Douglas exprime simplicidade de estimação, por ser linear nos parâmetros; os coeficientes da regressão são comparáveis e independentes dos valores de produção (Y); é uma função homogênea com retornos de escala constantes, obtidos pela soma dos coeficientes da regressão; denota pequeno número de parâmetros a serem estimados, o que proporciona maior número de graus de liberdade, estando menos suscetível a multicolinearidade. No que se refere à função Translog, a forma funcional é mais flexível se comparada com a Cobb-Douglas, não impondo restrições aos retornos de escala, exibindo elasticidade de substituição variável. É, entretanto, mais suscetível ao problema da multicolinearidade (Heady; Dillon, 1961; Chambers, 1988; Villa, 2004; Almeida, 2012; Silva, 2007).

Este teste é feito após a obtenção do modelo, e seus valores de log-verossimilhança (LL), de acordo com a seguinte especificação:

$$H_0: \text{Cobb} - \text{Douglas}$$

$$H_1: \text{Translog}$$

$$\lambda = -2[\ln LLH_0 - \ln LLH_1] \sim \chi^2 \#(22)$$

$$\lambda > \text{TKP (tabela de Kodde e Palm, 1986) rejeita-se } H_0$$

Em seguida, verifica-se se o modelo capta a ineficiência dos municípios. Admite-se, novamente, o valor da log-verossimilhança do modelo estimado sem esta variável. Por meio do método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), adota-se o teste LR, comparando o

valor crítico da tabela de Kodde e Palm (1986). Os graus de liberdade satisfazem às variáveis estabelecidas pela função de produção (Equação 21). O Teste da Existência de Ineficiência fica assim definido:

$$H_0 = \text{MQO (inexistência de ineficiência técnica)}$$

$$H_1 = \text{SFA (a ineficiência deve ser considerada no modelo)}$$

$$\lambda = -2[\ln LLH_0 - \ln LLH_1] \sim \chi^2 \#(23)$$

$$\lambda > \text{TKP (tabela de Kodde e Palm, 1986) rejeita-se } H_0$$

No passo seguinte, verifica-se se as macrorregiões compartilham a mesma tecnologia, realizando, mais uma vez, o Teste da Razão de Verossimilhança (LR), com o objetivo de verificar se as macrorregiões são representáveis pela mesma fronteira de produção estocástica.

A hipótese H_0 pressupõe a inexistência de diferenças de tecnologia entre as regiões, ou seja, as macrorregiões do Litoral, do Meio-Norte, do Semiárido e do Cerrado possuem a mesma fronteira de produção, compartilhando igual tecnologia; e a H_1 assume que existem diferenças tecnológicas entre as macrorregiões, isto é, possuem fronteiras de possibilidades de produção e utilizam tecnologias diferentes (Equação (15)).

Logo, se H_0 for rejeitada, aceita-se a hipótese de que existem fronteiras regionais distintas, e a abordagem a ser estabelecida pelo modelo de MFP é a mais adequada para estimar e comparar a ET das distintas macrorregiões. Em suma, tem-se:

$$H_0 = \text{fronteira geral}$$

$$H_1 = \text{fronteira de produção distintas}$$

$$\lambda = -2[\ln LLH_0 - \ln LLH_1] \sim \chi^2 \#(24)$$

$$\lambda > \text{TKP (tabela de Kodde e Palm, 1986) rejeita-se } H_0$$

3.4 Base de dados

Os dados de produção do milho utilizados neste estudo são de natureza secundária, compreendendo os insumos usados e o produto gerado nos municípios do Piauí, agrupados por macrorregião, oriundos do Censo Agropecuário, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e disponibilizado na plataforma IpeaData do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. O período de análise abrangeu 47 anos, cobrindo os anos de 1970 a 2017, em um espaço de 1970/1973, 1975, 1980, 1985, 1995, 2006, 2017.

O produto milho é a variável dependente, representada pela quantidade produzida de milho, em cada município do Piauí. Para essa variável, por indisponibilidade de dados, considera-se como o primeiro ano (1970) o ano de 1973, procedimento denominado *proxy*². As variáveis explicativas do modelo, consideradas como insumos, foram: área irrigada, pessoal ocupado e quantidade de tratores, oriundas do Censo Agropecuário, e correspondem, respectivamente, às dimensões terra (T), trabalho (L) e capital (K). As variáveis de clima, pluviometria e temperatura foram extraídas da base de dados da *National Oceanic and Atmospheric Agency* (NOAA). O Quadro 2 mostra as variáveis utilizadas no modelo de *metafronteira* da produção de milho no Piauí.

Para mensurar a força de trabalho, optou-se por utilizar os dados relativos ao pessoal ocupado pelo grupo de atividades classificado como lavouras temporárias, que abrange proprietários, trabalhadores e contratados. A área irrigada em estabelecimentos rurais foi selecionada por ser uma prática que faz uso de técnicas de fornecimento de água em quantidades adequadas para as culturas, afetando, assim, a produtividade da terra. A variável quantidade de tratores foi eleita por ser o equipamento usualmente utilizado na produção de milho; e as variáveis de clima, pluviometria e temperatura por serem condicionantes para o desenvolvimento da cultura de maneira adequada.

Quadro 3 – Variáveis do modelo de *metafronteira*

Variável	Dimensão	Fonte
Produção de milho	Produto (Y_{it}^j)	IBGE, IPEA data
Área irrigada em estabelecimentos rurais	Terra (x_{it}^1)	Censo Agropecuário IBGE, IPEA data
Pessoal ocupado por grupo de atividades classificado como Lavouras Temporárias	Trabalho (x_{it}^2)	Censo Agropecuário -IBGE
Quantidade de tratores	Capital (x_{it}^3)	Censo Agropecuário IBGE, IPEA data
Pluviometria	Clima (x_{it}^4)	NOAA
Temperatura	Clima (x_{it}^5)	NOAA

Fonte: elaboração própria. Nota: a produção é mensurada em toneladas; a área irrigada e colhida em hectares; pluviometria em milímetro e temperatura em graus Celsius.

² “Variáveis instrumentais ou *proxy* são aquelas que estejam altamente correlacionadas com as variáveis originais (Gujarati; Porter, p. 483, 2011).”

Nesta demanda acadêmica, não foram utilizados dados de municípios com valores faltantes (ou *missings*), para que o painel não fique desbalanceado, seguindo procedimento adotado por Silva *et al.* (2019). Inicialmente, a observação contava com um total de 1568, no entanto, com a retirada de informações faltosas das variáveis à extensão do período, restaram 735 observações a serem trabalhadas, as quais estão divididas em 105 observações para cada um dos sete períodos considerados. Destas, 37 para o Cerrado, 33 para o Meio-Norte, 31 para o Semiárido e quatro referem-se ao Litoral.

Partindo das variáveis estabelecidas, do número de observações efetivas utilizadas e do conceito de heterogeneidade produtiva³, foram realizadas, também, análises das diferenças e das similaridades em relação à produção de milho, e os fatores de produção, por macrorregião piauiense. Para isso, empregaram-se as medidas de concentração (média) e dispersão (desvio-padrão, mínimos e máximos), E, ainda, foi feita representação espacial das modificações identificadas durante a série temporal.

³Heterogeneidade produtiva está associada ao modo como os agentes econômicos combinam ou escolhem utilizar os fatores de produção no processo produtivo (Santos; Vieira Filho, 2012).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, exprimem-se, originalmente, a estatística descritiva das variáveis utilizadas no modelo de *metafronteira* e sua representação espacial, no intuito de revelar a heterogeneidade da produção de milho. Em seguida, expõem-se os resultados e as análises das estimativas das fronteiras macrorregionais de produção de milho, bem como os resultados dos testes de especificação da maneira funcional e da existência de *multifronteiras* regionais da produção de milho, por macrorregião ambiental. Por último, mostra-se e argumenta-se sobre a estimação do modelo de *metafronteira* e as eficiências técnicas das macrorregiões piauienses em relação à produção de milho.

4.1 Análise da estatística descritiva das variáveis

As variáveis analisadas estatisticamente foram área irrigada, pessoal ocupado, quantidade de tratores, pluviometria e temperatura (desvio-padrão, valores máximos e valores mínimos). A Tabela 1 expõe as medidas de concentração e dispersão dessas variáveis, por macrorregião.

As medidas de concentração e dispersão apontam que a quantidade produzida de milho no Piauí exprime heterogeneidade dentro das próprias macrorregiões, que se intensifica durante o período analisado. Em 1970/1973, as quantidades médias produzidas de milho nas macrorregiões do Cerrado, Litoral, Meio-Norte e Semiárido, são de 887, 597, 1.428 e 1.143 toneladas, respectivamente, com desvios-padrão de 1.142, 464, 1.945, e 2.135, que demonstram grande variabilidade das observações. Em 2017, a produção de milho atingiu o auge, quando a macrorregião do Cerrado exibiu produção média de 23.837 toneladas, indicando desvio-padrão de 70.408, com variações de mínimos e máximos de 46 a 398.206 toneladas de milho.

Tabela 1 – Estatística descritiva das variáveis

Variáveis	Macrorregião	1970/1973					1995					2017				
		Obs	Média	Desvio Padrão	Min	Máx	Obs	Média	Desvio Padrão	Min	Máx	Obs	Média	Desvio Padrão	Min	Máx
Produção milho	Geral	105	1.122,06	1.731,20	2,00	11.700,00	105	3.119,66	3.911,78	113,00	28.609,00	105	9.080,83	42.856,18	3,00	398.206,00
	Cerrado	37	887,57	1.142,43	55,00	6.047,00	37	2.676,70	3.309,06	252,00	13.905,00	37	23.867,14	70.408,74	46,00	398.206,00
	Litoral	4	597,25	464,58	150,00	1.138,00	4	2.562,00	1.096,09	1.204,00	3.885,00	4	1.724,00	1.738,30	128,00	4.013,00
	Meio Norte	33	1.428,27	1.945,04	46,00	10.080,00	33	2.642,61	2.172,95	134,00	8.524,00	33	1.170,00	693,51	190,00	2.701,00
	Semiárido	31	1.143,68	2.135,06	2,00	11.700,00	31	4.228,13	5.739,95	113,00	28.609,00	31	803,13	930,78	3,00	3.760,00
Área irrigada	Geral	105	17,49	58,48	0,00	456,40	105	167,98	384,92	0,00	2.281,15	105	246,84	426,63	0,00	2.263,00
	Cerrado	37	14,38	75,02	0,00	456,40	37	89,20	234,29	0,00	1.356,56	37	193,24	443,75	0,00	2.046,00
	Litoral	4	36,50	69,03	0,00	140,00	4	582,42	864,26	4,00	1.857,19	4	592,50	605,59	66,00	1.306,00
	Meio Norte	33	22,24	42,06	0,00	202,30	33	285,65	523,00	0,00	2.281,15	33	325,94	525,43	0,00	2.263,00
	Semiárido	31	13,71	51,36	0,00	283,20	31	83,28	167,66	0,00	799,43	31	182,00	181,16	14,00	583,00
Pessoal Ocupado	Geral	105	4.725,50	4.518,27	765,00	23.836,00	105	5.195,61	3.764,93	612,00	17.167,00	105	3.928,96	3.072,19	269,00	13.535,00
	Cerrado	37	2.919,70	2.825,10	765,00	13.988,00	37	3.929,35	3.383,97	631,00	15.643,00	37	2.705,57	1.796,13	337,00	6.708,00
	Litoral	4	6.737,25	1.342,43	4947,00	7.867,00	4	8.233,75	3.104,72	3.620,00	10.251,00	4	7.108,75	4.647,94	2.943,00	13.106,00
	Meio Norte	33	6.299,91	4.827,39	795,00	22.382,00	33	6.197,88	4.114,39	612,00	17.167,00	33	5.193,15	3.912,23	269,00	13.535,00
	Semiárido	31	4.945,23	5.368,27	929,00	23.836,00	31	5.248,00	3.472,87	1.092,00	16.563,00	31	3.633,10	2.306,42	733,00	10.587,00
Tratores	Geral	105	2,30	5,14	0,00	29,00	105	19,88	23,46	0,00	133,00	105	34,04	63,07	0,00	491,00
	Cerrado	37	0,92	2,56	0,00	13,00	37	24,70	22,70	1,00	99,00	37	63,68	96,82	0,00	491,00
	Litoral	4	4,75	4,92	0,00	9,00	4	22,75	20,48	3,00	50,00	4	20,50	19,81	0,00	44,00
	Meio Norte	33	4,06	7,68	0,00	29,00	33	19,91	28,14	0,00	133,00	33	22,33	23,91	0,00	99,00
	Semiárido	31	1,74	3,40	0,00	13,00	31	13,71	18,26	0,00	86,00	31	12,87	13,06	0,00	62,00
Pluviometria	Geral	105	858,74	276,19	358,20	1.475,10	105	1.099,39	302,50	564,50	1.704,40	105	936,65	296,25	388,53	1.403,90
	Cerrado	37	919,09	273,15	412,33	1.475,10	37	1.049,45	199,09	564,50	1.345,15	37	929,74	215,87	388,53	1.195,70
	Litoral	4	1.016,75	155,59	872,15	1.237,60	4	1.265,41	41,35	1.214,90	1.306,60	4	886,25	5,72	881,30	891,20
	Meio Norte	33	1.024,72	197,71	607,67	1.333,50	33	1.415,07	202,54	923,91	1.704,40	33	1.215,44	175,16	748,51	1.403,90
	Semiárido	31	589,64	133,54	358,20	962,37	31	801,51	132,88	599,80	1.120,35	31	654,62	217,98	391,80	1.227,10
Temperatura	Geral	105	27,90	0,82	25,30	28,89	105	27,18	0,57	25,24	27,93	105	28,02	1,13	25,14	29,95
	Cerrado	37	27,46	1,01	25,30	28,88	37	26,99	0,70	25,24	27,93	37	27,44	1,49	25,14	29,95
	Litoral	4	27,57	0,24	27,23	27,78	4	27,22	0,32	26,75	27,50	4	28,36	0,39	27,80	28,65
	Meio Norte	33	28,43	0,38	27,33	28,89	33	27,44	0,31	26,58	27,83	33	28,65	0,41	27,54	29,16
	Semiárido	31	27,90	0,61	26,50	28,83	31	27,13	0,55	25,81	27,85	31	28,00	0,86	25,87	29,15

Fonte: elaboração própria, com dados da pesquisa.

No que tange à área irrigada, em 1970/1973, a variável aparece com pouca expressividade em todas as macrorregiões, com médias de 14, 36, 22, e 13 hectares para o Cerrado, Litoral, Meio-Norte e Semiárido, respectivamente. Em 2017, se comparado ao período inicial, ocorreu um aumento de 1.311%, tendo-se observado, ainda, que o crescimento acentuado ocorreu de 1970/1973 a 1995 ⁴. No mesmo ano, as macrorregiões do Meio-Norte e do Cerrado estavam com as maiores áreas irrigadas (41,50% e 27,58%), respectivamente, que, somadas, representam mais de 69% do total das áreas irrigadas nas macrorregiões.

De acordo com Andrade *et al.* (2006), o Cerrado exprime períodos de veranicos capazes de afetar a produtividade e a qualidade do milho, o que justifica o aumento das áreas irrigadas na macrorregião. Esses especialistas, ainda, assinalam que a necessidade de irrigação tende a ser maior em regiões semiáridas, o que incentivaria o uso desta tecnologia na região. Os elevados custos da irrigação, todavia, decerto, representam uma barreira para a expansão da tecnologia ⁵ na macrorregião do Semiárido piauiense, já que está macrorregião concentra a maior parcela da população em situação de pobreza no Estado sob exame⁶.

Em relação à quantidade de pessoas ocupadas na produção de milho, no decurso do período analisado, houve uma redução gradual do quantitativo em todas as macrorregiões. Em 1970/1973, o Semiárido apresentava-se como a macrorregião que possuía o maior número de pessoas ocupadas (23.836), porém esse quantitativo reduziu em 55,58% em 2017. Durante o mesmo período, as pessoas ocupadas na produção de milho na macrorregião do Meio-Norte também exibiram redução de 39,52%. Por sua vez, a região do Cerrado mostrou a menor média de pessoal ocupado (2.705) na produção de milho.

Essa realidade corrobora a ideiação de Almeida (2023), que apontou uma redução de 38,72%, no período de 1995/1996 a 2017, em termos de pessoas ocupadas nos estabelecimentos produtores de milho no Brasil. Para Delgrossi e Balsadi (2020), esse comportamento não se restringe a culturas específicas, tendo sido observada esta tendência em estabelecimentos agrícolas de maneira geral.

O número de tratores utilizados na produção de milho no Piauí, em contraposição às pessoas ocupadas, em todas as macrorregiões, cresceu em todo o período observado. A média de tratores empregada na produção do milho no Cerrado piauiense, no período de 1970/1973 a 2017, cresceu em 6.755% - diferentemente do que ocorre nas macrorregiões do Meio-Norte,

⁴ A abertura comercial da economia brasileira na década de 1990 impulsionou a diversificação das técnicas utilizadas na agricultura brasileira (Coura, Figueiredo; Santos, 2006).

⁵ De acordo com Fornazier e Vieira (2013), a desigualdade de renda também é fator gerador de heterogeneidade na produção agrícola.

⁶ Veja-se a relação dos municípios com maiores e menores PIBs do Piauí, no documento **Produto Interno Bruto dos municípios do estado do Piauí 2021** (Superintendência cepro/seplan, 2023).

do Semiárido e do Litoral, onde o emprego do trator cresceu acentuadamente entre 1970/1973 e 1995, e em seguida, reduziu no período de 1995 a 2017. Este resultado corrobora Dias e Campos (2022), quando assinalam que o Piauí, quando comparado com os estados do Nordeste, denota a maior heterogeneidade em relação ao uso de instrumentos modernos entre os agricultores familiares

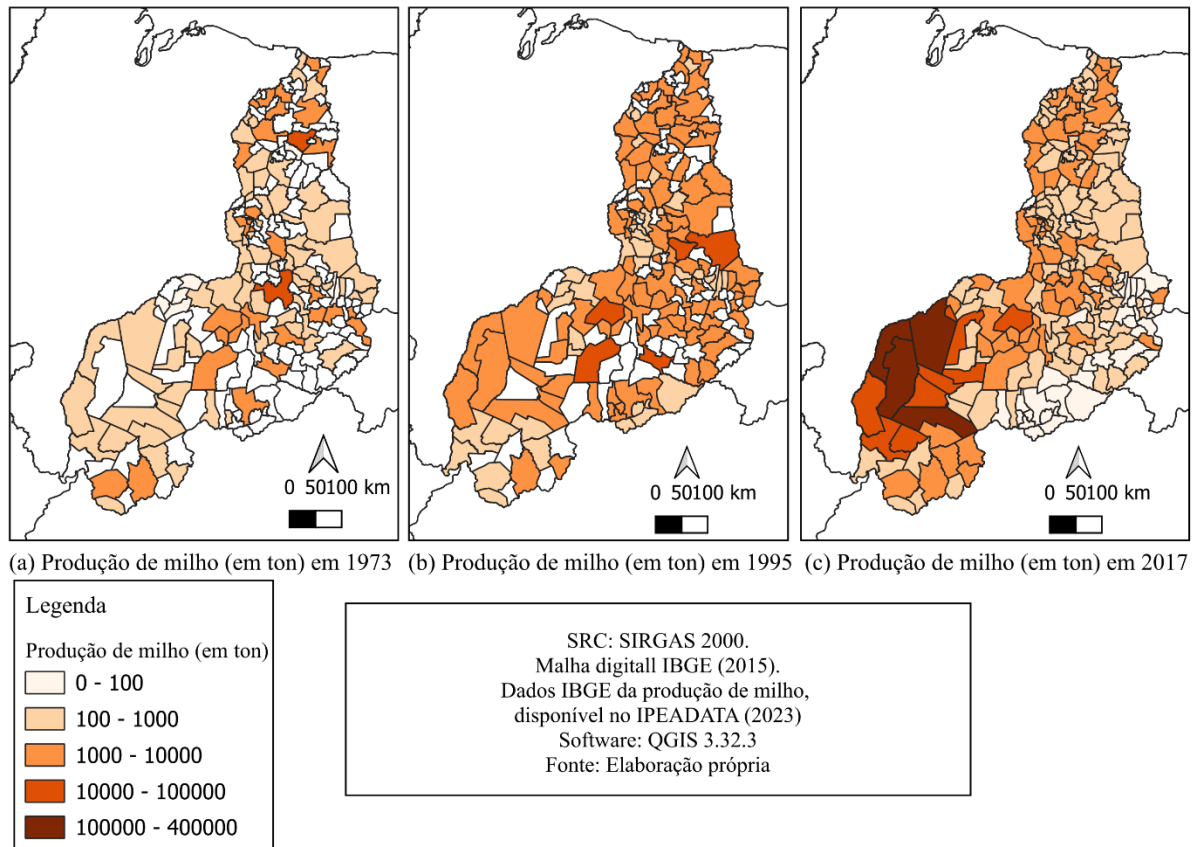
No concernente às variáveis de clima - as precipitações pluviométricas, como era de se esperar - ⁷as menores médias ocorreram no semiárido piauiense, 589 mm, 801 mm e 654 mm, respectivamente, nos três períodos elencados. A variável temperatura exprimiu baixa variabilidade, como mostra os desvios-padrão, para todas as macrorregiões, no correr do tempo examinado.

Salienta-se que, desde meados da década de 1970, a produção de milho no Brasil aponta recordes de produtividade e evolução do seu sistema produtivo, que vão desde as formas de manejo do solo e plantio ao uso de expedientes fitossanitários e de sementes melhoradas na produção (Galvão *et al.*, 2014). Ademais, após a abertura comercial e da valorização cambial na década de 1990, sucederam a valorização do preço do grão e o aumento das áreas cultivadas no Brasil, inclusive no Nordeste, com a expansão do cultivo em novas fronteiras agrícolas, como a MATOPIBA (Duarte, Cruz e Garcia, 2007; Souza *et al.*, 2018; Martinelli *et al.*, 2017; Bolfe *et al.*, 2016). O Piauí obteve destaque na produção de milho no Nordeste, tendo 33 municípios pertencentes à MATOPIBA, tendo, desde 2014, aparecido entre os maiores produtores de milho do Nordeste, alcançando sucessivos recordes de produção (Cepro, 2014; Cepro, 2015; Cepro, 2017, Seplan, 2023).

A Figura 3 mostra o gradiente da produção de milho, por municípios, no Estado do Piauí nos anos de 1970/1973, 1995 a 2017. Observa-se que a produção de milho ocorre em praticamente todos os municípios do Estado, em quantidades variadas, havendo uma tendência de aumento da produção em 1970/1973 e 2017. Verifica-se que, em 2017, as produções de milho no maior quantitativo concentravam-se na macrorregião do Cerrado.

⁷ Características edafoclimáticas apontadas por Lima (2000), para o semiárido piauiense.

Figura 3 – Evolução da distribuição da produção de milho no Piauí de 1970/1973 a 2017.



Fonte: elaboração própria. Nota: a quantidade produzida está expressa em toneladas/ano.

No ano de 1973 (Figura (a)), a produção de milho concentrava-se em municípios da região do Meio-Norte e do Semiárido piauiense. O Cerrado exprimia-se como região que possuía uma produção de milho inexpressiva, uma vez que a maioria dos municípios da região produzia menos do que mil toneladas/ano do grão, enquanto outros não apareciam como produtores.

No ano de 1995 (Figura (b)), nota-se significativa modificação na distribuição produtiva de milho no Piauí. A macrorregião do Cerrado, além de aumentar o número de municípios produtores de milho, mostrou aumento na quantidade produzida, tendência esta verificada também nas demais macrorregiões. O Semiárido passou a indicar municípios com produção de até 10 mil toneladas ao ano. Tal expansão é capaz de ter sido influenciada, como apontam Souza *et al.* (2018), pelos aperfeiçoamentos no manejo do solo, na utilização de sementes modificadas e melhoradas tecnicamente e pela utilização de defensivos agrícolas.

No ano de 2017 (Figura(c)), passados 47 anos em relação ao período inicial, a produção de milho no Piauí foi objeto de mudanças marcantes. Durante este tempo, ocorreu a disseminação do cultivo de milho no Estado, movendo-se das macrorregiões do Meio-Norte e do Semiárido para a macrorregião do Cerrado, onde se desenvolveu fortemente. Isto reforçou as conclusões de Alves, Souza e Garagorry (1999), que asseguraram ter a produção de milho no Nordeste se deslocado para as regiões onde microclimas são favoráveis ao cultivo e onde a soja está em franca expansão.

Observa-se, ainda, que a mudança ocorre também em termos de quantidade de produção, quando os municípios da região passaram a produzir mais de 100 mil toneladas ao ano. De fato, o Cerrado piauiense destaca-se pela produção de soja e milho, tendo exprimido recordes de produção nos últimos anos, como registrado nos documentos **Conjuntura Econômica**, elaborados pela Superintendência Cepro (Cepro, 2014; 2015; 2017; 2023).

4.2 Análise da fronteira estocástica

A Tabela 2 mostra os resultados dos testes de especificação, de existência de ineficiência técnica e de ocorrência de fronteiras regionais. Em relação ao teste da forma funcional, as estimações da forma funcional translog mostraram, para as macrorregiões do Cerrado e do Litoral, não existir ineficiência ou má especificação no modelo, pois os resultados apontavam que o termo de erro violava a hipótese de normalidade da distribuição. Posto isso, escolheu-se a Cobb-Douglas, pois se exibiu como a mais adequada para as cinco macrorregiões, não havendo indícios de má especificação.

Tabela 2 – Resultados dos testes da Prova Estatística da Razão Verossimilhança

Teste	Macrorregiões	Hipótese nula	Lambda λ	Graus de liberdade	Valor crítico	Decisão
Ineficiência técnica (Cobb-Douglas)	Geral	: MQO	64,951***	1	2,706	Rejeita H_0
	Cerrado		4,9564***	1	2,706	Rejeita H_0
	Litoral		4,1165**	1	2,706	Rejeita H_0
	Meio Norte		27,679***	1	2,706	Rejeita H_0
	Semiárido		20,003***	1	2,706	Rejeita H_0
Ineficiência técnica (Translog)	Geral	: MQO	15,471***	1	2,706	Rejeita H_0
	Cerrado		0	1	2,706	Não Rejeita H_0
	Litoral		0	1	2,706	Não Rejeita H_0
	Meio Norte		9,4598***	1	2,706	Rejeita H_0
	Semiárido		18,379***	1	2,706	Rejeita H_0
Existência de fronteiras estocásticas distintas	Geral Cerrado, Litoral, Meio Norte, Semiárido	: fronteira geral	111,082***	7	13,401	Rejeita H_0

Fonte: elaboração própria, com suporte nos dados da pesquisa. Nota 1: λ : prova estatística da razão de máximo verossimilhança em que $\lambda = -2[LL(H_0) - LL(H_1)] \sim \chi^2$.

Nota 2: ¹ para 7 graus de liberdade, a um nível de significância de 1%. ***, **, *, denota significância estatística de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Estabelecida a funcional Cobb-Douglas, resolveu-se testar os modelos para saber se cada um captou o efeito da ineficiência técnica. Em caso de não rejeição da hipótese nula (Método de Mínimos Quadrados Ordinários), a utilização do modelo de fronteira estocástica não era adequada, cabendo o uso do MQO. O teste foi aplicado aos cinco modelos de fronteira estocástica: o modelo de Fronteira Estocástica Geral (FEG), b) o modelo de Fronteira Estocástica da Macrorregião do Cerrado (FEC); c) o modelo de Fronteira Estocástica da Macrorregião do Litoral (FEL); d) o modelo de Fronteira Estocástica da Macrorregião do Meio-Norte (FEMN); e e) o modelo de Fronteira Estocástica da Macrorregião do Semiárido (FES). Os resultados mostraram, dados os níveis de significância, que a hipótese nula foi rejeitada para os cinco modelos, isto é, os valores de λ foram maiores do que os encontrados na tabela Kodde e Palm (1986). Desse modo, o resultado demonstrou ser o modelo de fronteira estocástica o mais adequado para análise de eficiência.

Em relação ao Teste da Existência de Diferenciação nas Fronteiras de possibilidades de produção para as quatro macrorregiões, a hipótese nula, que pressupõe única fronteira tecnológica para o Estado, foi rejeitada, pois o valor calculado de λ foi igual a 111,082, sendo maior do que o valor crítico tabelado. Com efeito, a hipótese alternativa foi aceita, o que indica a existência de níveis tecnológicos diferentes entre as quatro macrorregiões na produção de milho no Estado do Piauí. Portanto, a utilização do modelo de *metafronteira* de produção é validada, permitindo, assim, a comparação das eficiências técnicas (ET) de produção de milho entre as quatro macrorregiões.

4.2.1 Fronteiras de produção estocástica, por macrorregião

A estimação das fronteiras de produção estocástica macrorregionais piauienses é a primeira etapa da análise de *metafronteira* de produção estocástica. A Tabela 3 abriga os resultados de estimativas dos parâmetros para os cinco modelos de fronteira estocástica: FEG, FEC, FEL, FEMN, FES.

Cada um dos modelos foi estimado com os dados dos municípios pertencentes à sua respectiva macrorregião, 105 observações para cada um dos sete períodos considerados. Destas, 37 para o Cerrado, 33 para o Meio-Norte, 31 para o Semiárido, enquanto quatro são referentes ao Litoral.

Tabela 3 – Resultados das fronteiras estocásticas por macrorregião

Variáveis	Geral	Cerrado	Litoral	Meio-Norte	Semiárido
$\beta 1$ Constante	3,4625 (0,5188475)	16,15556* (0,08618)	-19,7266 (0,6788119)	-2,2995 (0,7976523)	-20,5747* (0,065425)
$\beta 2$ Log (Área Irrigada)	-0,0049 (0,8496148)	-0,0177 (0,70680)	0,0680 (0,4534338)	0,0329 (0,3897337)	0,0249 (0,62667)
$\beta 3$ Log (Pessoal Ocupada)	0,4311*** (5,673e-10)	0,2575* (0,05081)	0,8588** (0,0321595)	0,4399*** (0,0001015)	0,7396*** (1,068e-05)
$\beta 4$ Log (Tratores)	0,1845*** (7,238e-06)	0,3837*** (1,351e-07)	-0,3059* (0,0903292)	-0,0217 (0,7493553)	0,0591 (0,501867)
$\beta 5$ Log (Pluviometria)	0,4447*** (0,0008509)	-0,6789** (0,02306)	0,5965 (0,3582294)	0,6109** (0,0147658)	1,5581*** (2,161e-08)
$\beta 6$ Log (Temperatura)	1,1685 (0,4227105)	-0,0384 (0,98741)	6,6868 (0,5918097)	2,5562 (0,2702604)	5,4863* (0,067308)
σ^2	1,5773*** ($< 2,2e-16$)	1,5704*** (8,035e-12)	0,4342 (0,0005828)	1,0039*** (4,424e-06)	1,9809*** (1,707e-05)
γ	0,2939*** (7,190e-05)	0,1423 (0,23845)	0,0027*** (0,8000173)	0,3568** (0,0208300)	0,4419*** (0,001247)
Tempo	0,0839*** (0,0043708)	0,0702 (0,42912)	0,5965** (0,0407610)	0,1075** (0,0135254)	0,0110 (0,839997)
Log-Verossimilhança	-1.134,2320	-415,0213	-29,4094	-298,3322	-335,9013
ET média	0,5548	0,6587	0,7727	0,5540	0,5432
Obs	735	259	28	231	217

Fonte: elaboração própria. Onde: $\gamma = \frac{\sigma^2 u}{\sigma^2 v + \sigma^2 u}$. Nota 1: ***, **, *, denota significância estatística de 1%, 5% e 10%, respectivamente. Nota 2: Os valores entre parênteses são do P-valor.

De acordo com a Tabela 3, ao nível de significância de 10%, a variável pessoal ocupado afetou, positiva e significativamente, a produção de milho nas quatro macrorregiões, inclusive na FEG. Os maiores efeitos marginais desta variável foram observados nos modelos FEL (0,8588), FEMN (0,4399) e na FES (0,7396), ou seja, o aumento de 1% na quantidade de pessoas ocupadas de milho aumentará em 0,85%, 0,43 e 0,73%, respectivamente, nas macrorregiões a quantidade produzida do Litoral, Meio-Norte e Litoral. Destaca-se, ainda, o modelo FEC revelando que a produção de milho tem o menor efeito marginal do aumento de pessoal ocupado, o que colabora com a diminuição da força de trabalho empregada ao longo da série temporal analisada (Tabela 1).

Aguiar e Monteiro (2005), estudando sobre o Cerrado piauiense, expressaram que empresários e produtores agrícolas de grande parte dessa região, em sua maioria, são emigrantes sulistas, que possuem elevado grau de instrução e utilizam tecnologias intensivas em capital (máquinas e equipamentos) em detrimento de uma mão de obra rural local com baixo grau de escolaridade, empregada em regime de trabalho temporário ou pagamento diário.

Em relação às variáveis de clima, a pluviometria foi a que indigitou significância em quase todos os modelos, com exceção na FEL. Isso é justificando pelo fato de a macrorregião do Litoral, diferentemente das demais, possuir menor amplitude de volume de chuva durante o ano, pois seus índices pluviométricos variam de 800 mm a 1.680 mm ao ano, como apontam Silva *et al.* (2013).

Salienta-se que a variável pluviometria também denota a maior significância na FES e é a única fronteira em que a variável temperatura se mostrou significativa ao nível de 10%. Tal se justifica por ser essa a macrorregião que possui o clima mais seco e quente e com maiores irregularidades de chuva do Estado, como apontado por Lima (2000), fazendo com que variações no nível da chuva e temperatura impactem na produção de milho nessa região.

A variável área irrigada mostrou-se não significativa para a função de produção de milho no Piauí em todas as macrorregiões durante o período analisado. Estudos como os de Vian *et al.* (2016), e Zanetti, Cosmo e Galeriani (2019), já apontavam que a produtividade do milho, mesmo em áreas irrigadas, demonstra bastante instabilidade, estando mais intimamente relacionada à adequada distribuição espacial das plantas, ao sistema de produção (rotação ou consorcio de culturas), e ao tipo de solo. A ilação é reforçada por Araújo Neto *et al.* (2015), assinalando que o manejo inadequado da técnica de irrigação é suscetível de contribuir para o aumento nos custos e perda na produção. Destaca-se, ainda, que o plantio de sequeira, aquele que faz uso apenas da água da chuva para a irrigação da plantação, é o principal método utilizado na produção de milho no Brasil.

No referente à variável número de tratores, que funciona como uma *proxy* para maquinários utilizados no processo produtivo do milho, somente se verifica significância estatística positiva no FEC, ou seja, a cada 1% de elevação no número de tratores na cultura, a produção de milho aumentaria em 0,38%. Os autores Martins, Campos e Lima (2014) já declaravam a necessidade de investimento em máquinas e equipamentos para melhorar as técnicas agrícolas no Estado do Piauí. Na FEL, a variável número de tratores aponta efeito negativo, ao nível de significância de 10%, o que, decerto, se associa ao fato de a

macrorregião estar utilizando máquinas acima do nível de eficiência técnica de produção ⁸, de modo que o acréscimo de 1% de tratores decresceria a produção de milho nessa região em 0,30%.

O indicador de ineficiência técnica γ^1 foi estimado em 0,003 para a FEL, 0,35 para o a FEMN e 0,44 para a FES. Esses parâmetros mostram, em termos médios, que a variância total do erro composto nos modelos corresponde à variância da ineficiência técnica em 3%, 35% e 44%, respectivamente, ou seja, as variações na produção de milho observadas no modelo procedem da ineficiência técnica. Na FEL, assinala-se, no plano de significância de 1%, que as variações na produção decorrem de erros aleatórios.

A Tabela 4 demonstra os resultados das eficiências técnicas ⁹ (ET) médias nas macrorregiões, calculados para cada ano e o período analisado. Observa-se que as médias de ET experimentaram aumentos gradativos e sistemáticos nas macrorregiões e no Estado como um todo em toda a configuração da demanda ora efetivada. Salienta-se que as médias de ET média das macrorregiões não são comparáveis entre si, haja vista que cada macrorregião possui fronteira tecnológica distinta.

Tabela 4 – Evolução das eficiências técnicas médias, estimadas por macrorregião do Piauí

Período	ET médio				
	Geral	Cerrado	Litoral	Meio Norte	Semiárido
1970/1973	48,58%	60,66%	41,17%	46,40%	53,44%
1975	50,92%	62,47%	58,96%	49,46%	53,73%
1980	53,24%	64,24%	73,77%	52,50%	54,03%
1985	55,54%	65,96%	84,22%	55,51%	54,32%
1995	57,81%	67,64%	90,86%	58,46%	54,62%
2006	60,03%	69,27%	94,82%	61,34%	54,91%
2017	62,21%	70,85%	97,10%	64,11%	55,21%
1970-2017	55,48%	65,87%	77,27%	55,40%	54,32%

Fonte: elaboração própria, com amparo nos dados da pesquisa.

A macrorregião do Cerrado revelou eficiência técnica média de 60,66% no ano de 1970/1973, tendo aumentado gradativamente até alcançar o valor médio de 70,85% ¹⁰. Isso

⁸ De acordo com Silva (1997), a eficiência técnica é mensurada pelo resultado da produção, com suporte nos fatores de produção disponíveis.

⁹ De acordo com Farrel (1957), uma firma é tecnicamente eficiente quando a ET=1.

¹⁰ De acordo com Conceição e Araújo (2000), níveis de eficiência técnica acima de 70% devem ser considerados elevados, no entanto, ainda demonstram que as firmas têm espaço para implementar ganhos de eficiência.

demonstra, dados os fatores de produção disponíveis, que a região possui capacidade de aumentar o nível de produto por meio da melhoria da sua eficiência técnica. O Mapa (2013) mostrou que a produtividade média por hectare para a produção de milho na região está abaixo da média nacional, tendo capacidade de se expandir sem a necessidade de acréscimos de novos insumos.

A média da eficiência técnica calculada para a macrorregião do Litoral variou de 41,17% (1970/1973) a 97,10% em 2017, diferenciando-se do comportamento observado nas outras macrorregiões. Esses resultados devem ser observados com cautela, já que foram calculados com apenas quatro observações por ano, não sendo, portanto, representativos dos municípios desta macrorregião. Apesar disso, Cardoso *et al.* (2004) já apontavam a macrorregião como uma potencialidade para a produção de milho do tipo híbrido.

Analisando-se as ET médias do Meio-Norte, disse-se que, em razão da fronteira tecnológica de 2017, a produção de milho nessa macrorregião é capaz de ser acrescida em cerca de 40%, passível, assim, de obter ganhos de produtividade. Os trabalhos de Cardoso *et al.* (2001) e Cardoso (2023) indicam que essa região tem condições de elevar sua produtividade do milho (em grãos híbridos), salientando o risco climático relacionado com a destruição de chuvas para que isso se concretize.

A macrorregião do Semiárido é a que demonstra os menores níveis de crescimento na sua ET média, aumentando somente em 1,77% ao correr dos 47 anos analisados, ratificando a não significância do efeito tempo sobre a ET dessa região, verificada nos resultados estimados na Tabela 3.

4.2.2 Análise das eficiências técnicas na metafronteira

A razão da meta-tecnologia (MTR), estabelecida na Equação (18), mede a lacuna tecnológica entre as fronteiras de produção das macrorregiões e a *metafronteira* de produção estocástica. Logo, as meta-tecnologias representam o quanto longe estão as fronteiras macrorregionais do Cerrado, do Litoral, do Meio-Norte e do Semiárido da região definida como *metafronteira*.

A Tabela 5 mostra as estimativas de ET, MTR e ET^M para todo o ciclo analisado. A MTR das macrorregiões do Cerrado, do Litoral, do Meio-Norte e do Semiárido foram de 0,47, 0,23, 0,43 e 0,33. Esse resultado aponta, em média, que existe uma lacuna tecnológica considerável entre a tecnologia nas macrorregiões específicas e a melhor

tecnologia disponível, estando a macrorregião do Cerrado mais próxima, pelo fato de exibir MTR relativamente maior (0,47), seguido da macrorregião do Meio-Norte (0,43). As macrorregiões do Litoral (0,23) e do Semiárido (0,33) exprimiram-se como mais distantes da *metafronteira*. Esse fato indica que a tecnologia utilizada na produção de milho no Estado do Piauí, em todas as suas macrorregiões, dados os insumos e o período estabelecidos, encontra-se ainda bem distante da melhor maneira de utilização da tecnologia disponível.

Tabela 5 – Estatística e distribuição de frequência das eficiências técnicas na *metafronteira*

Estatísticas	Cerrado			Litoral			Meio-Norte			Semiárido		
	ET	MTR	<i>ET^M</i>	ET	MTR	<i>ET^M</i>	ET	MTR	<i>ET^M</i>	ET	MTR	<i>ET^M</i>
Média	0,66	0,47	0,31	0,77	0,23	0,19	0,55	0,43	0,24	0,54	0,33	0,18
Desvio-padrão	0,13	0,17	0,13	0,21	0,15	0,14	0,20	0,17	0,14	0,20	0,18	0,13
Mínimo	0,29	0,18	0,07	0,19	0,10	0,02	0,16	0,13	0,04	0,10	0,09	0,02
Máximo	0,90	1,00	0,84	0,98	0,76	0,62	0,94	1,00	0,74	0,82	1,00	0,72
Obs	259	259	259	28	28	28	231	231	231	217	217	217
<0,6	71	205	248	7	27	27	132	195	223	106	198	214
0,6-0,7	82	23	8	1	1	1	34	19	7	55	7	2
0,7-0,8	68	12	2	4	0	0	35	9	1	38	2	1
0,8-0,9	37	12	1	4	0	0	18	3	0	18	5	0
0,9-1	1	7	0	12	0	0	12	5	0	0	5	0

Fonte: elaboração própria, com escora nos dados da pesquisa.

A eficiência técnica em relação à *metafronteira* de produção (ET^M) foi estimada para todos os municípios correspondentes às macrorregiões, conforme Equação (20). As ET^M das macrorregiões do Cerrado, do Litoral, do Meio-Norte e do Semiárido, de 1970/1973 e 2017 revelam média de cerca de 31%, 19%, 24% e 18%, respectivamente, ou seja, todas as macrorregiões não estão se utilizando, da melhor maneira, dos insumos disponíveis na produção de milho, possuindo capacidade de ampliar sua produtividade e eficiência.

Para o período analisado, a macrorregião do Cerrado avulta como a mais eficiente região pertencente à MATOPIBA e que expande, continuamente, a produção de grãos do Estado do Piauí nos últimos anos. A macrorregião do Semiárido mostra-se como a menos eficiente, pois representa a mais pobre do Estado e é alvo do clima quente e seco durante todo o ano, o que é passível de haver trazido influxo negativo para a produção de milho nos seus municípios.

Na Tabela 5, também, se verificam as distribuições de frequências absolutas das ET^M . Durante o período, as faixas que obtiveram as maiores frequências foram a de 0,6 ou a de menos em todas as macrorregiões. As faixas em que não se observou estimativa de eficiência técnica na *metafronteira* foram as de 0,9-1, no Cerrado, 7,8-1, no Litoral, e 8-1, no Meio-Norte e Semiárido. Desse modo, válido é asserir o fato de que, na contextura do tempo examinado, e em razão dos insumos estabelecidos, a maioria dos municípios piauienses demarcou baixo nível de eficiência técnica na produção de milho.

A Tabela 6 contém o ranque dos municípios mais tecnicamente eficientes em relação à *metafronteira* (ET^M) para a macrorregião do Cerrado, bem assim aqueles menos tecnicamente eficientes no Semiárido. Em 1970/1973, os municípios mais eficientes foram Itaueira, Jaicós, Canto do Buriti e Corrente, patenteando, respectivamente, os escores de ET^M de 45%, 34% e 33%. No mesmo ano, os municípios menos eficientes do Semiárido - Francisco Santos, Santo Antônio de Lisboa e Santo Inácio do Piauí - expunham escores de 3% e 4%, respectivamente.

Verifica-se ainda, que o Cerrado apresentou no ano de 1995 elevados escores de ET^M , e em 2017 os municípios mais eficientes exibiam eficiências técnicas similares ao primeiro recorte temporal. Tal situação não é observada entre os municípios menos eficientes do Semiárido. Francisco Santos, Santo Antônio de Lisboa e São Francisco do Piauí são os municípios menos eficientes nos três recortes temporais, com escores de 2% e 3%. Isto

é, no curso dos 47 anos analisados, não ocorreram alterações que conduzissem a ganhos de eficiência nessa macrorregião.

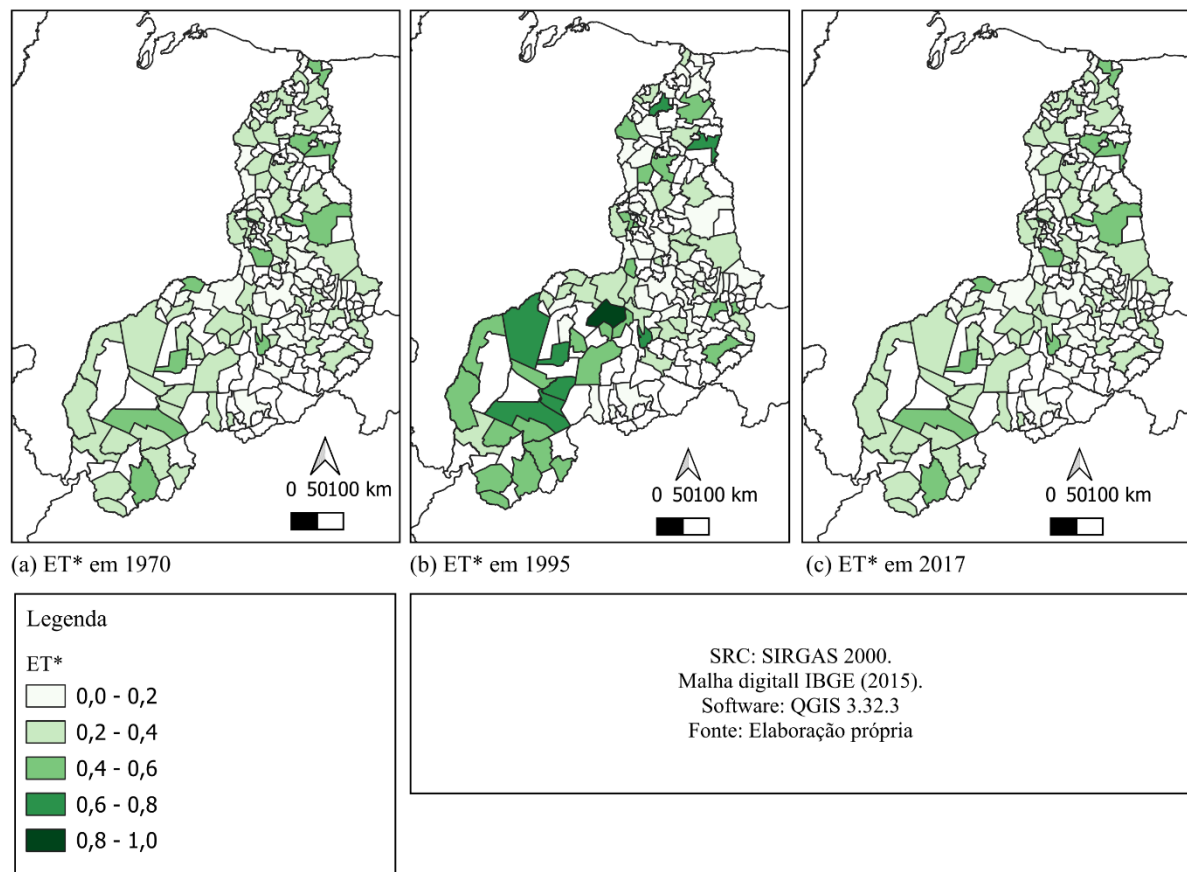
Tabela 6 – Ranque dos municípios mais e menos eficientes (ET^M)

Ranque	Municípios	ET*	Ranque	Municípios	ET*	Ranque	Municípios	ET*
1970			1995			2017		
Mais eficientes – Cerrado								
1º	Itaueira	0,4597	1º	Itaueira	0,8360	1º	Guadalupe	0,4526
2º	Jaicós	0,3414	2º	Bom Jesus	0,7917	2º	Socorro do Piauí	0,4518
3º	Canto do Buriti	0,3314	3º	Manoel Emídio	0,7090	3º	Manoel Emídio	0,4150
4º	Corrente	0,3098	4º	Socorro do Piauí	0,6817	4º	Bom Jesus	0,4078
5º	Santa Luz	0,2985	5º	Santa Luz	0,6551	5º	Parnaguá	0,4021
6º	Palmeira do Piauí	0,2951	6º	Cristino Castro	0,6539	6º	Flores do Piauí	0,3764
7º	Paes Landim	0,2914	7º	Uruçuí	0,6040	7º	Palmeira do Piauí	0,3762
8º	Manoel Emídio	0,2874	8º	Cristalândia do Piauí	0,5998	8º	Cristalândia do Piauí	0,3381
9º	Paulistana	0,2837	9º	Redenção do Gurguéia	0,5527	9º	Canto do Buriti	0,3362
10º	Eliseu Martins	0,2629	10º	Avelino Lopes	0,5463	10º	Redenção do Gurguéia	0,3275
11º	Rio Grande do Piauí	0,2605	11º	Corrente	0,5433	11º	Uruçuí	0,3163
Ranque	Municípios	ET*	Ranque	Municípios	ET*	Ranque	Municípios	ET*
1970			1995			2017		
Menos eficientes – Semiárido								
1º	Francisco Santos	0,0341	1º	Santo Antônio de Lisboa	0,0232	1º	Francisco Santos	0,0341
2º	Santo Antônio de Lisboa	0,0344	2º	Monsenhor Hipólito	0,0260	2º	Santo Antônio de Lisboa	0,0351
3º	Santo Inácio do Piauí	0,0475	3º	Novo Oriente do Piauí	0,0411	3º	Francinópolis	0,0585
4º	Ipiranga do Piauí	0,0525	4º	Francisco Santos	0,0724	4º	Dom Expedito Lopes	0,0638
5º	Aroazes	0,0561	5º	Ipiranga do Piauí	0,0735	5º	São José do Piauí	0,0678
6º	São Francisco do Piauí	0,0583	6º	Inhuma	0,0796	6º	São Francisco do Piauí	0,0694
7º	Caracol	0,0778	7º	Itainópolis	0,0986	7º	Inhuma	0,0779
8º	Várzea Grande	0,0945	8º	Francinópolis	0,0993	8º	Monsenhor Hipólito	0,0788
9º	Bocaina	0,0954	9º	Caracol	0,0998	9º	Simplicio Mendes	0,0801
10º	São Raimundo Nonato	0,1038	10º	Conceição do Canindé	0,1044	10º	Ipiranga do Piauí	0,0817
11º	Conceição do Canindé	0,1080	11º	São Francisco do Piauí	0,1072	11º	Aroazes	0,0873

Fonte: elaboração própria, com recurso aos dados da pesquisa.

A Figura 4 ilustra a distribuição espacial da meta eficiência técnica (ET^M) para todas as macrorregiões na produção de milho no Piauí, estando segmentada em três cortes temporais: a) para 1970, b) 1995 e c) 2017. Observa-se que, nesses anos, aconteceu uma desigual distribuição das ET^M entre os municípios do Estado do Piauí. Devido a Em consequência da lacuna tecnológica (Tabela 5) entre os municípios que compõem cada macrorregião, é possível observar, também, o fato de que ocorre heterogeneidades entre as macrorregiões e inter macrorregiões, existindo municípios que se comportaram de maneira mais eficiente na produção do milho em detrimento de outros, no decorrer do tempo estudado.

Figura 4 – Meta eficiência técnica média dos municípios produtores de milho no Piauí, de 1970/1973 a 2017



Fonte: elaboração própria, com base nos dados da pesquisa. Nota: $ET^* = ET^M$.

No ano de 1973 (Figura(a)), observa-se certa uniformidade no conjunto de meta eficiência em todo o Estado. No período de 1970/1973 – 1995 (Figura (b)), ocorreu uma elevação das ET^M , principalmente no Cerrado. Ressalta-se, ainda, o fato de que tal

elevação da eficiência em relação à *metafronteira* não se concretiza quando se observa o ano de 2017 (Figura (c)), significando que, mesmo tendo aumentado sua produção, não conseguiu extrair o máximo dos insumos nesse ano específico, ratificando a constatação, feita por Buainain e Garcia (2016), sobre as possibilidades de expansão da produção de grãos na região.

Portanto, durante o tempo examinado, o Piauí manifestou heterogeneidades na produção de milho entre as macrorregiões e entre os municípios que compõem a mesma região. O Cerrado mostrou-se como a macrorregião mais eficiente. A macrorregião do Semiárido, além de indicar os municípios mesmos eficientes na produção de milho no Piauí, mostra que não houve alterações de estruturas produtivas que consentissem em elevações nos seus escores de eficiência.

5 CONCLUSÕES

O texto dissertativo que ora se experimenta rematar teve como propósito mensurar a eficiência técnica da produção de milho no Estado do Piauí, por macrorregião ambiental (Litoral, Meio-Norte, Semiárido e Cerrado), o que concedeu ensejo à comparação dos níveis de eficiência técnica entre as macrorregiões piauienses. Os resultados mostraram, primeiramente, que a produção de milho no Estado denota a existência de níveis tecnológicos ali distintos, devendo, assim, ser procedida a uma análise por meio da abordagem de *multifronteiras* de produção estocásticas macrorregionais – conforme resultou efetivada.

As estimativas das *multifronteiras* apontaram que a variável de insumo, pessoal ocupado em lavouras temporárias, foi a que mais influenciou, positivamente, na produção de milho no Piauí em todas as macrorregiões. Isso tem o condão de significar que o Estado sob exame, malgrado haja aperfeiçoado as técnicas de produção, *pro rata temporis*, para a produção de milho, ainda é muito dependente das pessoas ocupadas na produção. Sendo assim, possíveis políticas públicas educacionais ou de assistência técnica tendidas para o aperfeiçoamento de práticas de manejo estão habilitadas a ensejar ganhos de eficiência técnica na produção de milho em todo o Estado.

A variável área irrigada não apontou significância estatística para a produção de milho no Estado, informação relevante, que reforça a necessidade de estudos antecipados de viabilidade sobre a técnica nas áreas que cultivam o milho. A quantidade de tratores mostrou-se importante para o aumento da produção de milho no Cerrado, pois elevações de 1% na quantidade do insumo proporcionariam incrementos de 0,38% na produção. A pluviometria foi a variável de clima mais importante para o cultivo do milho no Piauí, evidenciando a necessidade da quantidade de chuva adequada nos períodos de floração e enchimento do grão para a sua produtividade.

Com base nas estimativas de eficiência técnica média específicas para cada macrorregião, sobrou comprovado o fato de que todas as macrorregiões, individualmente, tiveram ganhos de eficiência no decurso dos 47 anos do estudo exercitado. A macrorregião do Litoral, entretanto, se sobressaiu, relatando elevação contínua nos escores de eficiência média, desde a quadra iniciada em 1995, chegando a alcançar 97% em 2017. O Cerrado também se destacou, porquanto transitou por acelerada expansão da sua produtividade, propiciando significativos proveitos de eficiência.

Posto isso, a hipótese, suscitada pelo experimento, de que o Piauí denota heterogeneidade na produção de milho, restou admitida como verdadeira, uma vez que o Estado, nos 47 anos analisados, passou por desenvolvimento e concentração da cultura do milho. Em 1970/1973, a produção tinha curso de maneira mais intensa na macrorregião do Meio-Norte e do Semiárido, e foi, *pari passu*, transferida para a macrorregião do Cerrado, com acentuado salto de produtividade no Piauí do período de 1970/1973 a 1995. Desde então, remansou concentrada a produção de milho nessa macrorregião, harmonizando-se com o período de expansão dos incentivos estatais para fomentar a modernização na agricultura brasileira.

Ressalta-se, ainda, que a produção de milho acontece em todo o Estado, no entanto, com níveis distintos de eficiência técnica. A macrorregião do Cerrado concentra a maior produtividade do grão no âmbito estadual, e ainda demonstra capacidade de aperfeiçoamento e expansão, o que significa – parece não sobrar dúvida - a continuidade dos recordes de produção regional.

A macrorregião do Cerrado, também, se exprimiu como a mais eficiente para o período sondado pela investigação, isto é, foi o *locus* onde os municípios utilizaram de maneira mais eficiente os insumos produtivos disponíveis para a produção de milho no Estado do Piauí. Em relação aos municípios do Cerrado, os mais eficientes na corrida dos três cortes temporais realizados foram: Bom Jesus, Manoel Emídio, Socorro do Piauí, Redenção de Gurguéia e Uruçuí. Ademais, a macrorregião do Semiárido concentra os municípios menos eficientes - Francisco Santos, Santo Antônio de Lisboa e São Francisco do Piauí - o que demonstra subaproveitamento dos insumos utilizados na produção de milho nessas regiões no período.

Portanto, o estado do Piauí manifesta heterogeneidade produtiva no cultivo do milho para o período de 1970/1973 a 2017, ensejando a coexistência de macrorregiões eficientes e menos eficientes no Estado. E, ainda, existem municípios eficientes ao lado dos não eficientes. Entende-se, com efeito, que políticas públicas de capacitação agrícola e relacionadas com serviços de assistência técnica estão habilitadas a ensejar aperfeiçoamentos no pessoal ocupado nessa cultura, ocasionando rendimentos de eficiência, haja vista a importância do pessoal ocupado para a produção de milho no Piauí.

O estudo deparou barreiras relacionadas às disponibilidades dos dados para todo o período analisado, e, além disso, a opção por constituir um painel balanceado impôs a retirada de número considerável de observações. Tal dificuldade, no entanto, tem a possibilidade de ser minimizada e repelida em trabalhos futuros, ao se recorrer a fases mais recentes, ou

mesmo em abordagens *cross-section*. Ademais, sugestiona-se, também, a inclusão de variáveis, como, *exempli gratia*, **escolaridade** e **disponibilidade de crédito**, estas, entretanto, disponíveis somente para períodos mais recentes.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, T. J. A de.; MONTEIRO, M. S. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do cerrado piauiense. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 8, n. 2, jul-dez., 2005. DOI:10.1590/S1414-753X2005000200009.

AHMAD, M.; BRAVO-URETA, B.E. Technical efficiency measures for dairy farms using panel data: a comparison of alternative model specifications. **Journal of Productivity Analysis**, [S.l.], v.7, p. 399-415, 1997.

AIGNER, D.J.; LOVELL, C. A.K.; SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production functions models. **Journal of Econometrics**, [S.l.], v. 6, n.1, p. 21-37, july. 1977.

ALMEIDA, F. M. de S. **Decomposição da produtividade total dos fatores da lavoura de milho no Brasil, 1995/96 a 2017**. 2023. 69f. Tese (Doutorado em economia aplicada) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-07122023-113539/en.php>. Acesso em: 4 fev. 2024.

ALMEIDA, P. N. A. **Fronteira de produção e eficiência técnica da agropecuária brasileira em 2006**. 2012. 214f. Tese (Doutorado em Economia aplicada) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-25042012-151416/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

ALVES, E.; SOUZA, G. da. S.; GARAGORRY, F. L. A evolução da produção do milho. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 77- 96, 1999.

ALVES, E.; SOUZA, G. da S.; ROCHA, D. de P. Lucratividade da agricultura. **Revista Política Agrícola**, São Paulo, v. 21, n. 2, jun. 2012.

ALVES, H. C. R.; AMARAL, R.F. Produção, área colhida e produtividade do milho no Nordeste. **Informe Rural ETENE – Banco do Nordeste**, n. 16, set., 2011.

ALVES, V. E. L. **Mobilização e modernização nos cerrados piauienses: Formação territorial no império do Agronegócio**. 2006. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ANDRADE, C. de L. T. *et al.* **Viabilidade e manejo da irrigação da cultura do milho**. Sete Lagoas – MG, dez. 2006. (Circular técnica n. 85).

ANDRADE JÚNIOR, A. S. *et al.* **Zoneamento de risco climático para a cultura de milho no Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008.

ARAÚJO NETO, R. A.; *et al.* Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v.13, n.1, p.15-18, 2015.

- ARTUZO, F. D. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá - PR, v. 12, n. 2, p. 515-540, jun., 2019.
- BANCO DO BRASIL. Evolução histórica do crédito rural. **Revista de Política Agrícola**. São Paulo, v.13, n. 4, dez. 2004.
- BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A cultura do milho**. Universidade de Évora. 2014. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/10804>. Acesso em: 20 jan. 2023.
- BARROS, J. R. M. Transição e descontinuidade no crescimento agrícola. In: DIAS, G.L.S.; BARROS, J. R. M. **Fundamentos de uma nova política agrícola**. Brasília: Ministério da Agricultura/CFP, 1983. 39 p. (Coleção Análise e Pesquisa, v. 26).
- BATTESE, G. E.; COELLI, T. J. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, v. 3, p. 153-169, 1992.
- BATESSE, G.E; COELLI, T.J. A model for technical inefficiency effects in stochastic frontier production functions for panel data. **Empirical Economics**, [S.l.], v. 20, p. 325-332, 1995.
- BATESSE, G.E; CORRA, G.S. Estimation of a production frontier model: with application to the pastoral zone of Eastern Australia. **Australia Journal of Agricultural Economics**, Australia, v. 21, n. 3, p. 169-179, 1977.
- BATTESE, G.E. A Note on the Estimation of Cobb-Douglas Production Functions When Some Explanatory Variables Have Zero Values. **Journal of agricultural Economics**, [S.l.], v.48, p. 250-252. 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.1997.tb01149.x>. Acesso em: 10 dez. 2023.
- BATTESE, G.E., RAO, D.S.P. & O'DONNELL, C.J. A Metafrontier Production Function for Estimation of Technical Efficiencies and Technology Gaps for Firms Operating Under Different Technologies. **Journal of Productivity Analysis** [S.l.], v. 21, p. 91–103, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B:PROD.0000012454.06094.29>. Acesso em: 10 dez. 2023.
- BELIK, W. A heterogeneidade e suas implicações para as políticas públicas no rural brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 53, p. 9-30, 2015.
- BEZERRA, F. J. A. *et al.* **Perfil socioeconômico do Piauí**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2015.
- BOLFE, É. L. *et al.* MATOPIBA em crescimento agrícola. Aspectos territoriais e socioeconômicos. **Revista de Política Agrícola**. São Paulo, n. 4. 2016. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1202/1025>>. Acesso em: 5 jan. 2024.
- BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Crescimento da agricultura no Cerrado nordestino: fatores condicionantes, limites e resultados socioeconômicos. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. p. 109-142. Brasília: IPEA, 2016.

BÚRIGO, F. L. *et al.* O Sistema Nacional de Crédito Rural no Brasil: principais continuidades e descontinuidades no período 2003-2014. **Estudos: Sociedade e Agricultura**, Rio de Janeiro, v.29, n.3, set., 2021.

CALDARELLI, C. E; BACCHI. M. R.P. Fatores de influência no preço do milho no Brasil. **Nova Economia**, Belo Horizonte, p. 141-164, abr., 2012.

CARDOSO, M. J. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho na região Meio-Norte do Brasil no ano agrícola de 1999/2000. **Agrotrópica**, Brasília, v. 13, n. 2, p. 59-66, 2001.

CARDOSO, M. J. *et al.* Comportamento de cultivares de milho na Microrregião do Litoral Piauiense. In: **CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25**, Cuiabá, Empaer, 2004.

CARDOSO, M. J. **A cultura do milho no Piauí: inovações tecnológicas**. Teresina: EMBRAPA - L'EPAE, 1993. (Circular Técnica n. 12).

CARDOSO, M. J. *et al.* Desempenho de híbridos de milho na região Meio-Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, v.2, n.1, p.43-52, 2003.

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; MELO, F. B. Milho consorciado ao feijão-caupi para sistema agrícola familiar do semiárido piauiense. In: **Congresso Nacional de Feijão-Caupi**, 2, Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

CARDOSO, M. J. *et al.* **Rendimentos de grãos de híbridos comerciais de milho, safra 2020/2021, em ambientes do Meio-Norte brasileiro**. Teresina: EMBRAPA, 2023. (Comunicado Técnico n. 267).

CARVALHO, R. M. **Três ensaios sobre produtividade agrícola**. 2003. 133 p. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-graduação em Economia, CAEN, Fortaleza, 2003.

CEPRO. FUNDAÇÃO CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ. **Conjuntura econômica e social**. Boletim Analítico Anual 2014. Teresina: Fundação Centro de Pesquisas econômicas e sociais do Piauí, 2014. Disponível em: <http://www.cepro.pi.gov.br/conjuntura.php>. Acesso em: 5 jan. 2024.

CEPRO. FUNDAÇÃO CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ. **Conjuntura econômica e social**. Boletim Analítico Anual 2015. Teresina: Fundação Centro de Pesquisas econômicas e sociais do Piauí, 2015. Disponível em: <http://www.cepro.pi.gov.br/conjuntura.php>. Acesso em: 5 jan.2024.

CEPRO. FUNDAÇÃO CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ. **Conjuntura econômica e social**. Boletim Analítico Anual 2016. Teresina: Fundação Centro de Pesquisas econômicas e sociais do Piauí, 2017. Disponível em: <http://www.cepro.pi.gov.br/conjuntura.php>. Acesso em:5 jan. 2024.

CEPRO. SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS E PLANEJAMENTO PARTICIPATIVO. **Conjuntura econômica**. Boletim Analítico Anual 2022. Teresina: Superintendência Cepro/Seplan, 2023. Disponível em: <http://www.cepro.pi.gov.br/conjuntura.php>. Acesso em: 5 jan. 2024.

CHAMBERS, R. G. **Applied production analysis: a dual approach**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 331 p.

CIPRANDI, O.; FERT NETO, J. As perspectivas da pequena produção familiar na agricultura. **Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v. 26, n. 1, p. 135-141, 1996.

COÊLHO, J. D. Milho: produção e mercados. **Caderno Setorial ETENE** – Banco do Nordeste, n. 210, dez., 2021.

COELLI, T.J. *et al.* **An introduction to efficiency and productivity analysis**. 2 ed. [S.], Siger, 2005.

COELLI, T. J.; RAO, D.S.P.; BATTESE, G.E. **An Introduction to efficiency and productivity analysis**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.

COLOMBO, L. A.; GILENO, C. H. A contribuição de Celso Furtado para o Nordeste Brasileiro: do nascimento da SUDENE às transformações atuais. **Revista Política e Planejamento Regional – RPPR**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 204-225, maio-ago., 2019.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. (CBHSF). **A agricultura de sequeiro**. Minas Gerais. 2015. Disponível em: https://cbhsaofrancisco.org.br/noticias/cultura_blog/a-agricultura-de-sequeiro-3/. Acesso em: 10 jan. 2024

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - (CONAB) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2020/2021**. 9. Levantamento, Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 8 dez. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. - (CONAB) **Calendário de plantio e colheita de grãos no Brasil, 2022**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2022.

CONCEIÇÃO, J. C. P. R.; ARAÚJO, P. F. C. de. Fronteira de produção estocástica e eficiência técnica na agricultura. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 45-64, 2000.

CONCEIÇÃO, J.C.; CONCEIÇÃO, P.H.Z. **Agricultura: evolução e importância para a balança comercial brasileira**. Brasília: IPEA, 2014. (Texto para discussão, 1944).

COURA, R. M.; FIGUEIREDO, A. M.; SANTOS, M. L. Eficiência e tecnologia na agricultura paulista entre 1985 e 2001. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, [S.], v. 8, n. 2, p. 216-226, 2006.

CRUZ, J. C. *et al.* **Produção de milho na Agricultura Familiar**. Sete Lagoas – MG, set., 2011. (Circular Técnica n. 159).

CUENCA, M. A. G.; NAZARIO, C. C.; MANDARINO, D. C. **Aspectos agroeconômicos da cultura do milho**: características e evolução da cultura no Estado do Piauí entre 1990 e 2004. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006. (Documento, n. 87).

DAO, G. T. N. **An Analysis of the technical efficiency of crop farms in the Northern Region of Vietnam**. 182 p. 2013. Professional Doctorate in Business Administration at the University of Canberra, Canberra, 2013.

DELGADO, G. C. **Do capital financeiro na agricultura à economia do agronegócio – mudanças cíclicas em meio século**. Porto Alegre: UFRGS, 2012.

DELGROSSI, M. E.; BALSADI, O. V. Mercado de trabalho e agricultura no Brasil contemporâneo. *In*: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Orgs). **Uma jornada pelos contratos do Brasil**: cem anos do censo agropecuário. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2020. p. 205-218.

DIAS, R. K. M; CAMPOS, K. C. Índice de modernização da agricultura familiar no Nordeste do Brasil. **Revista de Política Agrícola**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 72-84, out-dez, 2022.

DE NEGRI, F.; CALVACANTE, L. R. (Org.) **Produtividade no Brasil**: desempenho e determinantes. Brasília: IPEA, 2014.

DOORENBOS. J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 306 p. 1994.

DUARTE, J. de O. *et al.* Economia da produção. *In*: CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - (EMBRAPA.) **Desenvolvimento territorial estratégico para região do MATOPIBA** - Parceria INCRA e Embrapa (MDA e MAPA). GITE - Grupo de Inteligência Territorial Estratégica. Campinas: 2015. Disponível em: <http://bit.ly/2NDRkqK>. Acesso em: 11 Jan. 2024.

DUARTE, J. de O.; CRUZ, J. C. GARCIA, J. C. **A evolução da produção de milho em Mato Grosso**: a importância da safrinha. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007.

FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of Royal Statistical Society**. Series A (General), v. 120, n. 3, p.253-290, 1957. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5118108/mod_resource/content/1/Farrell%201957.pdf . Acesso em: 11 jan.2024.

FAVRO, J. *et. al.* Análise da evolução da produtividade do milho em estados selecionados no Brasil para os anos de 2001 e 2011. **Economia e Região**, Londrina -Paraná, v.3, n.2, p. 25-45, dez., 2015.

FELEMA, J.; RAIHER, A.P.; FERREIRA, C. Agropecuária brasileira: desempenho regional e determinantes da produtividade. **RESR**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 555-574, set., 2013.

FONSECA, T. C. O. da. **Fronteira de produção estocástica**: uma abordagem bayesiana. Rio de Janeiro: IPEA, 2005. (Texto para discussão n. 1073).

- FORNAZIER, A.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Heterogeneidade estrutural no setor agropecuário brasileiro**: evidências a partir do Censo Agropecuário de 2006. Brasília: Ipea, 2012. (Texto para Discussão, n. 1708).
- FORNAZIER, A.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Heterogeneidade estrutural na produção agropecuária**: uma comparação da produtividade total dos fatores no Brasil e nos Estados Unidos. Brasília: Ipea, 2013. (Texto para Discussão, 1819).
- FREITAS, C. O. de.; SILVA, F.F.; BRAGA, M. J. Extensão rural e eficiência técnica na agropecuária brasileira: uma análise a partir dos microdados do censo agropecuário. *In: Encontro Nacional de Economia – ANPEC*, 45. Natal- RN, 2017.
- FUGLIE, K. O. ; WANG, S. L. New evidence points to robust but uneven productivity growth in global agriculture. Amber Waves Feature, **Economic Research Service**, U.S. Department of Agriculture, 2012.
- FURTADO, C. Uma política de desenvolvimento para o Nordeste. **Novos Estudos**: São Paulo, v. 1, p. 12-19, dez., 1981.
- GALVÃO, J. C. C. *et al.* Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. *Revista Ceres*, Viçosa/MG, v. 61, p. 819-828, 2014.
- GASQUES, J. G. *et al.* Produtividade da agricultura brasileira e os efeitos de algumas políticas. **Revista Política Agrícola**, São Paulo, n.3, set., 2012.
- GASQUES, J. G.; BACCHI, M. R. P.; BASTOS, E. T. **Crescimento e produtividade da agricultura brasileira** de 1975 a 2016. Brasília: Ipea, 2018. (Carta de Conjuntura, n. 38).
- GASQUES, J. G.; CONCEIÇÃO, J. C. P. R da. **Crescimento e Produtividade da agricultura brasileira**. Brasília: Ipea, julho, 1997. (Texto para discussão, n. 502).
- GASQUES, J. G.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; NAVARRO, Z. (Orgs.). **A agricultura brasileira**: desempenho, desafios e perspectivas. Brasília: Ipea, 2010.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- GREENE, W. H. Maximum likelihood estimation of econometric frontier functions. **Journal of Econometrics**, North-Holland, v. 13, n. 1, p. 27-56, 1980.
- HAYAMI, Y. Sources of agricultural productivity gap among selected countries. **American Journal of Agricultural Economics**, [S.l.], v.51, p. 564-575, 1969.
- HEADY, E. O, DILLON, J.L. **Agricultural production functions**. Ames: Iowa State University Press, 1961. 667 p.
- HUANG, C. F.; HUANG, T.H.; LIU, N.H. A new approach to estimating the metafrontier production function based on a stochastic frontier framework. **Journal of Productivity Analysis**, [S.l.], v.42, n. 3, p. 241-254, 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - (IBGE). **Censo Agropecuário**. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/pesquisa/24/27745>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - (IBGE). **Censo Demográfico**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/panorama>. Acesso em: 15 jan.2024.

KODDE, D. A.; PALM, F. C. Wald criteria for jointly testing equality and inequality restrictions. **Econometric**, Washington, v. 54, n. 5, p. 1243-1248, 1986. (Notes and Comments).

KOPP, R.J.; SMITH, V. K. Frontier production function estimates for steam elective generation: a comparative analysis. **Southern Economic journal**, [S.l.], v. 46, n. 4, p. 1049-1059, apr. 1980. (Chapel Hill).

KOOPMANS, T. C. Analysis of production as an efficient combination of activities. *In*: **Activity analysis of production and allocation**: proceedings of a conference. New York: John Wiley & Sons, Inc.; London: Chapman & Hall, 1951.

KUMBHAKAR, Subal C; WANG, Hung-Jen; HORNCastle, Alan P. A. **A Practitioner's Guide to Stochastic Frontier analysis using stata**. Cambridge: Cambridge University Press; 2015. Disponível em: doi:10.1017/CBO9781139342070. Acesso em: 14 jan. 2024.

LEAL, F. Seca afeta as lavouras de soja, arroz e milho no Piauí. **Diário Oficial do Piauí**. 2013. Disponível em: http://www.diariooficial.pi.gov.br/diario/201304/DIARIO12_0bd777a394.pdf. Acesso em: 5 fev. 2024.

LAMAS, F. M. A evolução da agricultura no Brasil. **EMBRAPA**, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/81665485/artigo---a-evolucao-da-agricultura-do-brasil#:~:text=A%20evolu%C3%A7%C3%A3o%20da%20agricultura%20garantiu,%2C6%25%20das%20exporta%C3%A7%C3%B5es%20brasileira>. Acesso em: 6 jan 2024.

LEÃO, C. **Determinação do padrão de eficiência técnica da agricultura brasileira, 1970-1995**. Tese (Doutorado em Economia Rural), Universidade Federal de Viçosa, 2000.

LEMOS, J. J. S. *et al.* Rainfed crops forecasting in the semi-arid region under scenarios of rainfall instability in Ceará, Brazil. **Journal of Agricultural Science and Technology**. Germany, v. 12, n. 2, apr., 2022.

LEMOS, J. J. S. **Vulnerabilidades induzidas no Semiárido**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020.

LIMA, de S. E. **Semiárido piauiense**: principais características. Disponível em: <https://educacaonosemiarido.blogspot.com/p/historias-do-semiarido.html>. Acesso em: 11 jan. 2024.

LIMA, I. M.M.F.; ABREU, I. G.; LIMA, M. G. Semiárido Piauiense: Delimitação e Regionalização. **Carta CEPRO**, Teresina, v. 18, p. 162-183, 2000.

LIU, C.; LAPORTE, A.; FERGUSON, B.S. The quantile regression approach to efficiency measurement: insights from Monte Carlo simulations. **Health Economics**, [S.l.], v.17, n.9, p. 1973-1087, 2008.

MAJUSKI, L. Seca prejudica a produção de soja e milho no Piauí. **Revista Cultivar**, 2016. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/seca-prejudica-producao-de-soja-e-milho-no-piaui>. Acesso em: 11 fev. 2024.

MAGALHÃES, P.C.; DURÕES, F.O.M. **Fisiologia da produção do milho**. Sete Lagoas-MG, dez., 2006. (Circular Técnica n.76).

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - (MAPA)
Projeções do agronegócio: Brasil 2012-2013 a 2022-2023. Brasília: Mapa, jun. 2013.

MARINHO, A. P. da S. **Planejamento subnacional: o caso específico de pequenos municípios no Estado de Sergipe.** 2011. 174 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Gestão de Empreendimentos Locais), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2011.

MARTINELLI, L. A. *et. al.* Soy Expansion and Socioeconomic Development in Municipalities of Brazil. **Land**, Basel (Suíça) v. 6, n.62, p.62-76, set. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land6030062>. Acesso em: 11 jan. 2024.

MARTINS, E. de A.; CAMPOS, K.C.; LIMA, P.V.P.S. Índice de modernização agrícola no estado do Piauí. *In*: ARAUJO, J.A. de; REIS, J.N.P.; PAULO, E.M.; MANCAL, A. (Org.). **Desafios da sustentabilidade no semiárido nordestino.** Fortaleza: RDS, p.139-154, 2014.

MATOS, F. de O. **Formação e Limitações regionais do plano de desenvolvimento sustentável da região turística do Meio-Norte (Brasil).** 2013. 250 f. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

MEDEIROS, R. M. de. **Isoietas médias mensais e anuais do Estado do Piauí.** Teresina: Secretaria de Agricultura, Abastecimento e Irrigação Departamento de Hidrometeorologia, 1996.

MEEUSEN, W., BROECK, J.V.D. Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. **International Economic Review**, [S.l.], v. 18, n. 2, p. 435-444, jun..1977.

MELO, F. B. H de. **Questão da produção e do abastecimento alimentar no Brasil: um diagnóstico macro com cortes regionais.** Tradução. Brasília: Ipea, 1988.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. PORTARIA No - 244, DE 12 DE NOVEMBRO DE 2015. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 de novembro de 2015. Seção 1: p.8. 2015.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS.MDIC/COMEX. **Piauí: Exportações, importações e balança comercial.** Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MONTEIRO, J.V. *et. al.* Metafronteira de produção e eficiência técnica da carcinicultura nos Estados do Ceará e do Rio Grande do Norte. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.57, n. 4, p. 530-544, 2019.

MORAIS, M. D. C.; SOUSA, A.M.B.; ARAÚJO, C.F.S. Agricultura familiar no Piauí: uma leitura do Censo agropecuário 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v.51, p.71-97, agosto, 2020.

MOURA, M.S.B. *et al.* Clima e água de chuva no semiárido. Brasília. **EMBRAPA**, 2007. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/36534/1/OPB1515.pdf>. Acesso em: 5 jan .2024.

PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 15, n. 43, p. 303-326, 2001.

PEREIRA, M. F *et. al.* Mensuração da eficiência técnica na agropecuária através da estimação econométrica de fronteiras de produção. *In: CONGRESSO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL*, 39. Brasília: SOBER, 2001.

PEREIRA, S. L. B; NASCIMENTO, M. do S.; RODRIGUES, J. V. de S. Compatibilização entre territórios de desenvolvimento e instâncias de gestão regionais. **Fundação CEPRO**, Teresina, 2017.

PEREIRA, V. V. **A construção da concepção centro e periferia no pensamento econômico: das teses do imperialismo às teorias da dependência**. Vitória, ES: EDUFES, p.464, 2019.

PIAUI. **Lei Complementar Nº 87 de 22/08/2007**. Estabelece o Planejamento Participativo Territorial para o Desenvolvimento Sustentável do Estado do Piauí e dá outras providências. Piauí, 2017. Disponível em: <http://www.seplan.pi.gov.br/ppt.php>. Acesso em: 10 dez. 2023.

PIAUI. **Lei Nº 6.967, de 03 de abril de 2017**. Altera a Lei complementar nº 87 de 22 de agosto de 2007, que estabelece o Planejamento Participativo Territorial para o desenvolvimento Sustentável do estado do Piauí e dá outras providências. Piauí, 2017.

PINTO, A. Natureza e implicações da heterogeneidade estrutural da América Latina. **El Trimestre Económico**, Ciudad de México, v. 37, n. 1, 1970.

PINTO, L. C. G. **Notas sobre Política Agrícola e Crédito Rural no Brasil**. Campinas: UNICAMP, p. 343, 1980.

PITT, M. M.; LEE, L. F. The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian Weaving Industry. **Journal of Development Economics**, Washington, n. 9, p. 43-64, 1981.

PRADO JUNIOR, C. **Formação do Brasil contemporâneo: colônia**. 6. ed. São Paulo: Brasiliense, 1961.

PROCÓPIO, S de O. *et al.* **Sealba: região agrícola no Nordeste brasileiro**. Embrapa Tabuleiros Costeieiros, Aracaju, 2019.

PUTRICK, Simone Cristina. **O turismo na rota das emoções e no desenvolvimento socioeconômico de municípios do Estado do Piauí**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

REIS, L. D. R. *et al.* Eficiência técnica da produção agrícola dos países da América Latina e do Caribe. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.58, n.4, 2020.

REZENDE, G. C. Políticas trabalhistas, fundiária e de crédito agrícola no Brasil: uma avaliação crítica. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 44, n.1, p. 47-78, mar., 2006.

RODRIGUES, F. dos S. B. *et al.* Impactos provocados pelo turismo na atividade de pesca artesanal no Rio Camurupim em Barra Grande, Cajueiro da Praia, Piauí. **Ateliê do Turismo**, Campo Grande - MS, v. 3, n. 1, p. 55-66, 2019.

RIBEIRO, M.; COUTO, J. L. do. A Produção de Milho na Nova Fronteira Agrícola: SEALBA. **Indicadores da Agropecuária**, CONAB: Superintendência Regional da Bahia – SUREG- BA, 2020.

RICHMOND, J. Estimating the efficiency of production. **International Economic Review**, Pennsylvania, v.15, n. 2, p. 515-521, jun. 1974.

SALVIANO, J. I. A. **Relações entre instabilidades das chuvas e indicadores de produção de lavouras de sequeiro no semiárido cearense, Brasil**. 2021. 131 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

SANTOS, G. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Heterogeneidade produtiva na agricultura brasileira**: elementos estruturais e dinâmicas da trajetória produtiva recente. Rio de Janeiro: Ipea, jun., 2012. (Texto para discussão n. 1740).

SANTOS, I. O.; TAVARES, M. Eficiência técnica, alocativa e de custos na produção de arroz no Brasil. **Revista Observatório de la Economía Latinoamericana**, [S.l.], out., 2018.

SCHERER, C. E. M.; PORSSE, A. A. Eficiência Produtiva Regional da Agricultura Brasileira: uma análise de fronteira estocástica. **RESR**, Piracicaba- SP, v. 55, n. 2, p. 389-410, jun. 2017.

SCHIMIDT, P.; SICKLES, R. Production Frontiers and Panel Data, **Journal of Business and Economic Statistics**, Oxford, v .2, n. 4, p. 367-374, 1984.

SCHWANKE, F. H.; MORAES, A. Nordeste: o novo polo produtor de milho no Brasil?. **Agroanalysis**, São Paulo, out., 2020.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO DO ESTADO DO PIAUÍ - (SEPLAN). **Balança comercial do Piauí apresenta record em superavit para o primeiro trimestre, com destaque para produção de soja e milho**. Teresina: Seplan, 2022. (Informe Econômico n. 011) Disponível em: http://www.cepro.pi.gov.br/download/202208/CEPRO26_b0b48f92d3.pdf. Acesso em: 18 nov. 2023.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO DO ESTADO DO PIAUÍ - (SEPLAN). **Conjuntura econômica**. Rio de Janeiro, Teresina: Superintendência Cepro, 2023. Disponível em: <http://www.cepro.pi.gov.br/conjuntura.php>. Acesso em: 10 jan. 2024.

SILVA, F. C. T. da. Pecuária e formação do mercado interno no Brasil-colônia. **Estudos Sociedade e Agricultura**, Rio de Janeiro - RJ, v.8, p.119-156, 1997.

SILVA, F. D. V. da. **Determinação da eficiência técnica e da rentabilidade econômica dos produtores de leite do Estado do Ceará**: uma aplicação de fronteira estocástica de produção. 91f. 2007. Dissertação (mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007.

SILVA, F. P. de. **Eficiência técnica e heterogeneidade tecnológica na agropecuária brasileira**. 89f. 2017. Dissertação (mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará . Fortaleza, 2017.

- SILVA, M. M. M. **O turismo nas ondas do litoral e das políticas públicas do Piauí**. 2013. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.
- SILVA, A. J da. *et al.* Estratégias de reprodução socioeconômica da agricultura familiar no Cerrado Piauiense. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista - SP, v. 10, n.14, 2021.
- SILVA, F. P. da. *et al.* Eficiência técnica e heterogeneidade tecnológica na agropecuária das regiões semiárida e não semiárida do Nordeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 57, n.3, p. 379–395, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.177355>. Acesso em: 5 jan. 2024.
- SILVA, V. M. de A. *et al.* Variabilidade pluviométrica entre regimes diferenciados de precipitação do Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 5, p. 1463-1475, 2013.
- SILVA, C. M. S.; LIMA, I. M de M. Litoral do Estado do Piauí: proposta de compartimentação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 21, n. 1, 2020.
- SILVA, C. R da.; SOUZA, K. B. de.; FURTADO, W. F. Avaliação do avanço da agricultura intensiva no cerrado piauiense. **Engevista**, [S.l.], v. 16, n.3, p. 432-439, set., 2014.
- SILVA, J. C.; KAGEYAMA, A. A.; ROMÃO, D. A. Tecnologia e campesinato: o caso brasileiro. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v,3 n. 4, p. 21-56, dez 1983.
- SILVA, R. G. da.; FERREIRA JÚNIOR, S. Eficiência técnica: uma análise comparativa entre Acre e Rondônia. *In*: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL**, 40. Brasília: SOBER, 2000.
- SIMÕES, A. F. *et al.* Enhancing adaptive capacity to climate change: the case of smallholder farmers in the Brazilian semi-arid region. **Environmental Science and Policy**, [S.l.], v. 13, n. 8, p. 801-808, 2010.
- SOARES, P.; SPOLADOR, H.F.S. Eficiência técnica da produção de milho no estado de São Paulo: uma abordagem por metafronteira estocástica. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.57, p. 545-558, 2019.
- SOUZA, I. R. P de.; MAIA, A. de H. N.; ANDRADE, C. de L. T. de. Introdução e avaliação de milho doce na região do Baixo Parnaíba. **Embrapa Meio-Norte**, Buenos Aires, Teresina - PI, Folhetos, n. 3, p. 1-7, jan.,1990.
- SOUZA, A. E. de. *et al.* Estudo da produção do milho no Brasil: regiões produtoras, exportação e perspectivas. **South American Development Society Journal**, São Paulo, v. 4, n. 11, 2018.
- SOUZA, M.V.P.; SOUZA, R.C.; PESSANHA, J.F.M. Custos operacionais eficientes das distribuidoras de energia elétrica: comparando modelos DEA e SFA. *In*:
- SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL**, 331, Fortaleza, ago., 2007.

SUPERINTENDÊNCIA CEPRO/SEPLAN. **Informe Socioeconômico N. 011**. Teresina: CEPRO/SEPLAN, 2022.

SUPERINTENDÊNCIA CEPRO/SEPLAN. **Piauí em números**. 11 ed. Teresina: CEPRO/SEPLAN, 2019.

SUPERINTENDÊNCIA CEPRO/SEPLAN. **Produto Interno Bruto dos municípios do Estado do Piauí 2021**. Teresina: CEPRO/SEPLAN, 2023.

TANGERMANN, S. Análise das políticas agrícolas do Brasil (Apresentação de estudo da OCDE). **Revista de Política Agrícola**, Brasília, out. 2005.

TUPY, O.; YAMAGUCHI, L. C. T. Eficiência e Produtividade: Conceitos e Medição. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 45, n. 2, p. 39-51, 1998.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - (USDA) Corn 2022 world production. **IPAD**, 2023. Disponível em: https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0440000&sel_year=2022&rankby=Production. Acesso em: 15 jan. 2024.

VIEIRA FILHO, J. E. R. A fronteira agropecuária brasileira: redistribuição produtiva, efeito poupa-terra e desafios estruturais logísticos. *In*: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: IPEA, 2016. Cap.3, p. 89-108.

VIEN, A. L. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 46, n.3, p. 464-471, mar., 2016.

VILLA, Juan M. **Estimación de algunas formas funcionales de relaciones tecnológicas entre producto y factores que dan origen a éste**. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2004. Disponível em: <http://econpapers.repec.org/paper/wpawuwpem/0410005.htm>. Acesso em: 26 jan. 2024.

WANDERLEY, M. de N. B. O camponês: um trabalhador para o capital. **Cadernos de Difusão de Tecnologia**, Brasília: Embrapa, v.2, n.1. p.13 -78, jan. – abr.,1985.

WESZ JUNIOR, V. J.; GRISA, C. O Estado e a soja no Brasil: a atuação do crédito rural de custeio (1999-2015). *In*: MALUF, R.S.; FLEXOR, G. (Orgs). **Questões agrárias, agrícolas e rurais: conjunturas e políticas públicas**. Rio de Janeiro: E-Papers, 2017. Parte II, p. 97- 111. Disponível em: https://lemate.paginas.ufsc.br/files/2018/04/MalufR-FlexorG-Quest%C3%B5es-agr%C3%A1rias-e-agr%C3%ADcolas_colet%C3%A2nea.pdf. Acesso em: 26 jan. 2024.

WILKINSON, J. Transformações e perspectivas dos agronegócios brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, p. 26-34, 2010.

ZANETTI, W. A. L.; COSMO, B. M. N.; GALERIANI, T. M. Irrigação na cultura do milho: qual sistema usar? **JORNADA CIENTÍFICA**,8, Botucatu, out.-nov., 2019.

ANEXO

Anexo - Metafronteira Produção de milho no Piauí (1970/1973-2017)

Variáveis	Metafronteira
$\beta 1$ Constante	-2,99
$\beta 2$ Log (Área Irrigada)	-0,05
$\beta 3$ Log (Pessoal Ocupada)	0,68
$\beta 4$ Log (Tratores)	0,21
$\beta 5$ Log (Pluviometria)	0,06
$\beta 6$ Log (Temperatura)	3,57

Fonte: elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.