

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE**  
**CAMPUS DE TOLEDO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO**  
**REGIONAL E AGRONEGÓCIO – PGDRA**  
**MESTRADO**

**LEONARDO BRESOLIN GALAFASSI**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA AGROPECUÁRIA**  
**DAS MICRORREGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ**  
**NOS ANOS DE 2006 E 2017**

Toledo  
2022

**LEONARDO BRESOLIN GALAFASSI**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA AGROPECUÁRIA  
DAS MICRORREGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ  
NOS ANOS DE 2006 E 2017**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Agronegócio - Mestrado, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/*Campus* de Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Profa. Dra. Crislaine Colla  
Coorientador: Prof. Dr. Cristiano Stamm

Toledo

2022

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Galafassi, Leonardo Bresolin  
Análise da eficiência técnica agropecuária das microrregiões do Estado do Paraná nos anos de 2006 e 2017 / Leonardo Bresolin Galafassi; orientadora Crislaine Colla; coorientador Cristiano Stamm. -- Toledo, 2022.  
72 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Toledo) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Agronegócio, 2022.

1. Eficiência técnica. 2. Agropecuária. 3. Análise envoltória de dados. I. Colla, Crislaine, orient. II. Stamm, Cristiano, coorient. III. Título.

# **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA AGROPECUÁRIA DAS MICRORREGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ NOS ANOS DE 2006 E 2017**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Agronegócio – Mestrado, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/*Campus* de Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

## **COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Cristiano Stamm  
Universidade Estadual de Oeste do  
Paraná

---

Prof. Dr. Carlos Alberto Piacenti  
Universidade Estadual de Oeste do  
Paraná

---

Profa. Dra. Eliane Pinheiro de Sousa  
Universidade Regional do Cariri

Toledo, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2022.

A Deus e a minha família,  
Pelo incentivo diário.

## **AGRADECIMENTOS**

**A Deus, pela força de cada dia, mantendo em mim a fé e a esperança.**

**Ao Prof. Dr. Cristiano Stamm, que me manteve motivado nas etapas deste trabalho.**

**A minha família, por sempre estarem comigo.**

**A minha noiva, por me dar força e encorajamento.**

**Aos colegas Engenheiros Agrônomos que me ajudaram no pensamento crítico sobre assuntos diversos.**

**Aos colegas de mestrado pela força de vontade e superação perante um momento difícil vivido durante o curso.**

**A Profa. Eliane Pinheiro de Sousa e a Ms. Renata Benício de Oliveira, pelo suporte e correções do trabalho.**

**Aqueles, que por bem me incentivaram e ajudaram na realização deste trabalho.**

GALAFASSI, L. B. **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA AGROPECUÁRIA DAS MICRORREGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ NOS ANOS DE 2006 E 2017.** 72 f. (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) – Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná *Campus* de Toledo, 2022.

## RESUMO

A agropecuária tem papel importante na economia paranaense e brasileira. Estudar a eficiência técnica deste setor se torna primordial para melhorar o desempenho competitivo e melhorar também o aproveitamento dos insumos utilizados na produção. Desta forma, o trabalho analisou a eficiência técnica das 39 microrregiões paranaenses nos anos de 2006 e 2017, por meio dos Censos Agropecuários. Os dados indicaram que houve um aumento na frota de máquinas e implementos e uma diminuição no número de pessoas ocupadas no campo. Já a área útil dos estabelecimentos se manteve durante o período, enquanto o valor da produção aumentou, indicando um crescimento vertical. O modelo DEA-CCR sob a ótica dos insumos, resultou que, em 2006, havia nove microrregiões eficientes tecnicamente e, para o ano de 2017, este número caiu para duas, indicando uma mudança no paradigma produtivo do Estado, uma vez que a metodologia é comparativa e retrata apenas um ano por vez. Através do modelo DEA-Malmquist, foi possível comparar a eficiência técnica dos anos de 2006 e 2017, que apresentou uma evolução em apenas duas microrregiões, Floraí e Goioerê, número muito pequeno para um Estado tão pujante no setor agropecuário, indicando que os produtores aderiram as novas tecnologias, porém não são orientados tecnicamente e não possuem educação adequada para otimizar o seu uso. Servindo assim de alerta para toda a cadeia produtiva.

**Palavras-chave:** eficiência técnica, agropecuária, análise envoltória de dados.

GALAFASSI, L. B. ANALYSIS OF THE AGRICULTURAL TECHNICAL EFFICIENCY OF THE MICROREGIONS OF THE STATE OF PARANÁ BRAZIL IN THE YEARS 2006 AND 2017. 72 p. (Master's degree in Regional Development and Agribusiness) – Center of Applied Social Science, Western Parana State University, Toledo Campus, 2022.

## ABSTRACT

Agriculture plays an important role in the economy of Paraná and Brazil. Studying the technical efficiency of this sector becomes essential to improve competitive performance and also improve the use of inputs used in production. In this way, the work analyzed the technical efficiency of the 39 micro-regions of Paraná in the years 2006 and 2017, through the Agricultural Censuses. The data indicated that there was an increase in the fleet of machines and implements and a decrease in the number of people employed in the field. The useful area of the establishments remained the same during the period, while the value of production increased, indicating a vertical growth. The DEA-CCR model from the perspective of inputs, it emerged that, in 2006, there were nine technically efficient micro-regions and, for the year 2017, this number dropped to two, indicating a change in the productive paradigm of the State, since the methodology is comparative and depicts only one year at a time. Through the DEA-Malmquist model, it was possible to compare the technical efficiency of the years 2006 and 2017, which presented an evolution in only two micro-regions, Floraí and Goioerê, a very small number for a State so vigorous in the agricultural sector, indicating that the new technologies, but they are not technically oriented and do not have adequate education to optimize their use. Thus serving as an alert for the entire production chain

**Key-words:** technical efficiency, agriculture, data envelopment analysis.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração de uma <i>Decision Making Units</i> – DMU.	18
Figura 2 – Eficiência técnica segundo os insumos X e Y.	20
Figura 3 – Relação produção Z e insumo X, com outro insumo permanecendo constante.	21
Figura 4 – Relação produção e insumo X, com insumo Y constante.	22
Figura 5 – Modelo de eficiência pela orientação do produto (esquerda) e orientação insumo (direita).	25
Figura 6 – Mapa do Estado do Paraná dividido em microrregiões geográficas.	36
Figura 7 – Número de máquinas e implementos para o ano de 2006 e 2017 nas 39 microrregiões paranaenses.	41
Figura 8 – Diferença no número de máquinas e implementos nas microrregiões do Estado do Paraná entre 2006 e 2017.	42
Figura 9 – Número de pessoas ocupadas para os anos de 2006 e 2017 nas 39 microrregiões paranaenses.	43
Figura 10 – Diferença no número de pessoas ocupadas nas microrregiões do Estado do Paraná entre 2006 e 2017.	44
Figura 11 – Correlação entre o número de máquinas/implementos e o número de pessoas ocupadas nas 39 microrregiões paranaense.	45
Figura 12 – Área útil dos estabelecimentos para os anos de 2006 e 2017 nas 39 microrregiões paranaenses.	46
Figura 13 – Diferença na área útil dos estabelecimentos agropecuários nas microrregiões do Estado do Paraná entre 2006 e 2017.	47
Figura 14 – Valor da produção para os anos de 2006 e 2017 nas 39 microrregiões paranaenses.	48
Figura 15 – Diferença do valor da produção agropecuária (em reais) nas microrregiões do Estado do Paraná entre 2006 e 2017.	49
Figura 16 – Boxplot com os escores DEA para os anos de 2006 e 2017.	52
Figura 17 – Boxplot com os escores DEA-Malmquist.	54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo dos trabalhos descritos na Revisão de Literatura.	33
Quadro 2 – Descrição da variável e a referência dos <i>inputs</i> e <i>output</i> utilizados no modelo DEA.	37
Quadro 3 – Resultados da modelagem DEA para o ano de 2006.	50
Quadro 4 – Resultados da modelagem DEA para o ano de 2017.	51
Quadro 5 – Resultados do Índice de Malmquist (IM), das Alterações na Eficiência (AE) e das Alterações Tecnológicas (AT) para as 39 microrregiões paranaenses.	53
Quadro 6 – Grupos de tamanho da população e número de microrregiões por grupo.	71

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. CONCEITOS DE EFICIÊNCIA TÉCNICA	16
2.2. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA NA AGROPECUÁRIA	25
3. REVISÃO DE LITERATURA	28
4. METODOLOGIA	35
4.1. SELEÇÃO DAS DMUs	35
4.2. SELEÇÃO DOS INPUTS E OUTPUTS	36
4.3. TÉCNICA PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1. ANÁLISE DOS DADOS SECUNDÁRIOS	41
5.2. EFICIÊNCIA DAS MICRORREGIÕES PARANAENSES (2006 E 2017)	50
5.3. COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA DAS MICRORREGIÕES PARANAENSES (2006 E 2017)	53
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS	64
ANEXO 1	71

## 1. INTRODUÇÃO

Até a década de 1970, a produção do setor agropecuário brasileiro era de forma rudimentar, com sistemas de cultivo de baixa intensidade e fatores, como a mão de obra, subexplorados. A mínima taxa de crescimento do setor à época era pautada pelo acréscimo em áreas exploradas de forma abusiva e exaustiva (SILVA; FREITAS; COSTA, 2018). Com a revolução verde na década de 1970, ocorreram evoluções significativas no ambiente produtivo do agronegócio, intensificando a produção do meio rural. Por exemplo, o desenvolvimento de sementes e sistemas de cultivo adaptados ao clima tropical brasileiro permitiu que regiões consideradas improdutivas tornassem exploráveis. Combinado com a introdução de outras tecnologias, como máquinas e defensivos químicos, a atividade agropecuária passou por um processo de profissionalização que possibilitou o aumento considerável na produtividade (SILVA; FREITAS; COSTA, 2018).

Em 1970, o Brasil possuía 165.870 tratores agrícolas, após uma década, este número saltou para 545.205, um aumento de 228%. Como resultado, houve um aumento de 188% na produção vegetal em toneladas neste período, superior ao aumento da área que foi de 128% (IBGE, 2021). Fato determinante para comprovar que os “pacotes tecnológicos”, como eram chamadas as inovações trazidas pela revolução verde, foram fundamentais para o aumento de produção por área cultivada.

Com a crescente demanda mundial por *commodities* na década de 1990 e início dos anos 2000, a agropecuária foi determinante para a geração de divisas internacionais. O setor agropecuário se destaca em função das altas produções de soja, milho, carne bovina, cana-de-açúcar, leite, frango, café e algodão, além de possibilitar encadeamentos com outros setores econômicos na pré-produção, como as indústrias de máquinas, e na pós-produção, como as indústrias processadoras de alimento (BACHA, 2018). Ainda de acordo com o autor, as exportações brasileiras dos produtos oriundos da agropecuária em 1987 eram de US\$ 9,7 bilhões, e passaram a ser de US\$ 92 bilhões no ano de 2013. Atualmente, a produção vegetal e animal continua sendo uma das atividades econômicas de maior destaque no Brasil, toda a cadeia que cerca estas produções contribuíram com o 21,4% do PIB brasileiro no ano de 2019 (BACHA, 2018; CNA, 2020).

Com a flutuação das *commodities* no mercado mundial a partir de 2018 e a

recente crise de 2020, o setor do agronegócio foi o único da economia brasileira com margem positiva, principalmente pelo aporte dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Rio Grande do Sul e Paraná (BAHTA; JORDAAN; SABASTAIN, 2020; CNA, 2020). Em valores absolutos, os cinco estados no ano de 2017, corresponderam a mais de 60% de todo o valor oriundo da produção agropecuária nacional. Porém, ao se analisar a área territorial de cada estado, o maior destaque é o Paraná com 199 mil km<sup>2</sup> e faturamento de R\$ 48,5 bilhões no ano de 2017. Valor expressivo devido à liderança nacional na produção de carne de frango e vice-liderança na produção de carne de porco, produtos que possuem maior valor de mercado comparado às *commodities* de origem vegetal (IBGE, 2019).

O sucesso da evolução agropecuário paranaense passa pelas mãos das cooperativas agroindustriais, que fornecem aos seus cooperados serviços de assistência técnica, crédito rural, seguro de máquinas e produção, insumos agrícolas mais baratos que os praticados no mercado, armazenamento e processamento. No ano de 2017, as cooperativas paranaenses contavam com 136.000 produtores associados, um terço dos produtores do estado, e o Paraná possuía 15 das 30 maiores cooperativas do Brasil voltadas ao setor do agronegócio (CHADDAD, 2017).

Se tratando da evolução no setor agropecuário paranaense, percebe-se uma dinamização da produção ao longo dos anos, atualmente o estado possui uma versatilidade de produtos oriundos do campo. Fato que se deve à heterogeneidade de suas microrregiões, como em relação ao clima, condições de relevo, vegetação nativa e tipos de solo. Além destes fatores intrínsecos, a escolha do produto a ser explorado em cada localidade advém também dos acontecimentos mercadológicos, estrutura fundiária do produtor, infraestrutura disponível para transporte, armazenamento e processamento (CHADDAD, 2017).

Mesmo com o aperfeiçoamento do método de cultivo na década de 1970, a versatilidade na produção e a heterogeneidade das microrregiões paranaenses demandam investimentos financeiros específicos e adequados à realidade de cada uma delas, assim como adequações de políticas públicas que facilitam e auxiliam o produtor a acessar recursos básicos de produção, como terra, tecnologia, crédito, insumos e assistência técnica. Assim, o desenvolvimento da agropecuária brasileira e paranaense é marcada principalmente pelo avanço tecnológico, inovação e investimentos financeiros. Fatores que foram decisivos para o aumento na produtividade, aumento na segurança do alimento e competitividade do setor. A falta

destes incentivos específicos e adequados a cada região acarreta empecilhos limitantes ao crescimento produtivo no estado (MOZAMBANI; SOUZA FILHO; MIRANDA, 2019; RUDINSKAYA; NÁGLOVA, 2018; SILVA et al., 2019).

A otimização dos recursos disponíveis na busca pela máxima produtividade é a definição de eficiência técnica que, de acordo com Scherer e Porsse (2017), medir a eficiência técnica permite compreender quais são os limites ao desenvolvimento da agropecuária local. A eficiência técnica é aplicada com o intuito de investigar as diferenças existentes entre as práticas produtivas atuais e o potencial produtivo máximo, de acordo com os insumos e as tecnologias empregadas (*inputs*), bem como a produtividade alcançada (*output*). Sendo assim, a eficiência técnica nos permite comparar as diferentes microrregiões do estado, baseada na qualidade do gerenciamento da atividade e tecnologia empregada (SCHERER; PORSSE, 2017; ZHOU et al., 2021). Essencialmente, a base para uma atividade eficiente diz respeito ao modo como o agente produtor é capaz de combinar os recursos e as técnicas disponíveis. O melhor manejo dos insumos, combinados às condições ideais de clima, acarreta a sustentabilidade do processo, minimizando os custos e maximizando os lucros (CASTRO; SAES, 2018).

Para Zhou et al. (2021), pesquisas na busca pela maior eficiência produtiva dos sistemas corroboram para o combate à fome e a sustentabilidade da agropecuária. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2009) estipula que o crescimento sustentável da produção, analisando os caracteres econômico, ambiental e social, é medida primordial para o combate à fome e redução da pobreza. Segundo os dados da própria Organização, a população mundial em 2050 será de 9,1 bilhões de pessoas, aumentando assim a demanda por alimentos. Para os cereais, o aumento deverá ser de 1 bilhão de toneladas/ano e a demanda por carne crescerá em 200 milhões de toneladas/ano. Aumentar a produção, sem a abertura de novas áreas se tornará o grande dilema da agropecuária moderna. A escassez e o encarecimento dos recursos disponíveis também motivam os produtores na busca pela eficiência do sistema com a otimização dos fatores de produção, o que consequentemente auxilia no desenvolvimento local, uma vez que os recursos são despendidos de forma correta e sustentável (SCHERER; PORSSE, 2017; ZHOU et al., 2021).

Em um ambiente de mercado extremamente competitivo, com diferentes produtores e agroindústrias, analisar a eficiência técnica das microrregiões ao longo

de um período possibilita medir a produtividade das regiões e, conseqüentemente, permite fazer comparações entre elas e sugerir adequações no processo produtivo e auxiliar na elaboração de políticas públicas propícias a cada uma. Também, estudos (SCHERER; PORSSE, 2017; ZHOU et al., 2021) que caracterizam a evolução da eficiência técnica em dois períodos produtivos são importantes para identificar regiões que se desenvolveram positivamente ao longo do tempo, determinando fatores que expliquem quais foram as modificações no período nas microrregiões para subsidiar futuros projetos de políticas públicas, programas de fomento ao setor da agropecuária e técnicas produtivas aplicadas ao meio rural visando o desenvolvimento regional. Desta forma, o trabalho proposto tem o intuito de responder o seguinte problema de pesquisa: Quais as microrregiões paranaenses se destacaram em eficiência técnica no setor agropecuário nos anos de 2006 e 2017?

O objetivo principal deste trabalho é investigar a eficiência técnica nas microrregiões do estado do Paraná no setor agropecuário. Optou-se por utilizar o setor com a intenção de mensurar tanto produções agrícolas quanto pecuárias, observando a variação da eficiência técnica com as mudanças nas explorações de cada microrregião. Já os objetivos específicos são:

- Medir a eficiência técnica das microrregiões paranaenses nos anos de 2006 e 2017;
- Comparar a eficiência técnica de cada microrregião paranaense durante os anos de 2006 e 2017;
- Analisar as ações adotadas, ou falta delas, que expliquem as modificações ao longo do período.

Para cada microrregião, foi realizada uma medição da eficiência técnica para os anos de 2006 e 2017 separadamente. Posteriormente, comparou-se a eficiência técnica de cada microrregião paranaense durante os anos de 2006 e 2017, o que permite por fim analisar as ações ali adotadas explicando as modificações ao longo do período. Estudar a evolução da eficiência técnica nas microrregiões é uma importante ferramenta competitiva, haja vista a expressiva concorrência do setor agropecuário. Será possível posteriormente melhorar os aspectos técnicos voltados à produção, realocar e adequar os insumos, de modo a obter a máxima produtividade. Os resultados obtidos neste trabalho, através da evolução da eficiência técnica, poderão auxiliar como subsídio aos setores público e privado na adequação da

infraestrutura disponível em cada microrregião, fornecimento do crédito de forma correta, apoio a mecanização rural, provimento de assistência técnica e mercadológica aos produtores.

Além desta introdução, o trabalho está dividido em outras cinco seções, sendo o referencial teórico (2) em que se abordam os principais conceitos de eficiência técnica e a relação com a agropecuária; a revisão de literatura (3) a qual traz os métodos e os resultados dos trabalhos mais recentes voltados ao tema agropecuário; a metodologia (4) que foi empregada para alcançar os objetivos propostos; os resultados e discussão (5); e, por fim, as considerações finais (6) do trabalho.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Esta seção do trabalho tem por finalidade contextualizar o leitor sobre a atividade agropecuária e sua relação com a tecnologia, bem como trazer os parâmetros conceituando a eficiência técnica.

### **2.1. CONCEITOS DE EFICIÊNCIA TÉCNICA**

No final do século XX, a globalização proporcionou um intercâmbio de mercadorias entre diversos países do mundo, o que facilitou a obtenção de diferentes itens, porém foi intensificada a competitividade, tornando imprescindível para a sobrevivência das empresas a maximização da receita e a minimização dos custos. Para Mariano (2008), esta básica premissa incentivou o desejo em estudar e buscar a eficiência produtiva das firmas. Segundo Coelli et al. (2005), a eficiência é a capacidade de utilizar e alocar os insumos disponíveis de forma a obter a máxima produtividade ou a máxima lucratividade. A produção é considerada eficiente quando não é possível substituir ou diminuir a quantidade dos insumos utilizados e obter os mesmos ganhos (REIS; MOREIRA; VILPOUX, 2018).

Já os insumos (fatores de produção) de um sistema produtivo podem ser classificados em três grandes grupos: (i) recursos naturais ou terra; (ii) mão de obra ou trabalho; e (iii) capital, que seria todo o conjunto de bens para efetuar a produção, como as máquinas, os equipamentos e as instalações. Ambos dependem da capacidade tecnológica disponível no momento e da capacidade gerencial da firma.



Ocorre que a sociedade possui uma infinidade de necessidades de consumo, porém existe uma quantidade limitada de fatores de produção. Isto culmina na decisão de evitar desperdícios e na busca pela eficiência do processo produtivo (VICECONTI; NEVES, 2013).

É corriqueira a utilização de eficácia e eficiência como sinônimos, porém seus significados são distintos. A eficácia é empregada no intuito de cumprir metas preestabelecidas. Já a eficiência dos sistemas diz respeito à relação ideal entre os insumos e os produtos, sendo obtida através de duas formas: (i) capacidade de obter a máxima produtividade com os mesmos insumos empregados ou (ii) minimizar os insumos de modo a manter a mesma produtividade. Um sistema não necessita ser eficaz para ser eficiente, do mesmo modo, um sistema não necessita ser eficiente para ser eficaz. A eficiência (E) pode ser resumida através da equação 1, na qual expressa a razão entre o indicador de desempenho atual ( $Ind_{atual}$ ) e o indicador de desempenho máximo ( $Ind_{max}$ ) (NOGUEIRA, 2005).

$$E = \frac{Ind_{atual}}{Ind_{max}} \quad (1)$$

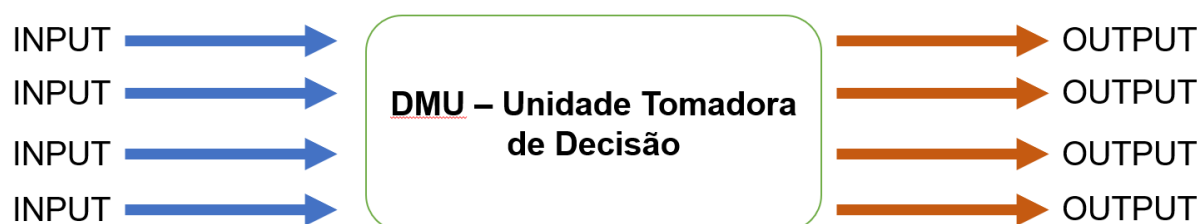
Os valores da eficiência também podem ser encontrados através de indicadores de produtividade. O índice de Produtividade Total dos Fatores (PTF) aglutina os múltiplos fatores de produção e os múltiplos produtos oriundos de uma empresa em um único insumo e produto. A eficiência é o resultado da razão entre a produtividade atual (P) e a produtividade máxima alcançável ( $P_{max}$ ) (Equação 2). Existem dois tipos de eficiência que podem ser calculados para uma empresa: eficiência absoluta e eficiência relativa. A eficiência absoluta diz respeito à  $P_{max}$  teórica, ideal e impossível de se atingir dadas as perdas naturais de qualquer sistema. Já a eficiência relativa se baseia na  $P_{max}$  atingida por outras empresas similares, servindo como parâmetro comparativo (AVILA; GARAGORRY; CARDOSO, 2013; NOGUEIRA, 2005).

$$E = \frac{P}{P_{max}} \quad (2)$$

A utilização e o estudo da eficiência podem ser replicados em qualquer sistema produtivo que seja orientado por um conjunto de saídas (*outputs* ou produtos)

provenientes de um conjunto de entradas (*inputs* ou insumos). A definição de um sistema ou empresa eficiente está relacionada com a capacidade de combinar da melhor maneira possível os recursos disponíveis (*inputs*), de acordo com a tecnologia existente e o aproveitamento máximo das condições ambientais, objetivando a máxima produtividade ou lucratividade possível (*outputs*) (MARIANO, 2008). Segundo Mello et al. (2005), uma empresa ou até mesmo qualquer sistema orientado por *inputs* e *outputs* é uma Unidade Tomadora de Decisão (termo que vem do inglês *Decision Making Units*, daqui para frente será chamado de DMU) (Figura 1), uma vez que ela decide e gerencia o método produtivo, sendo responsável pela produtividade e pela eficiência do sistema. Caso uma DMU não esteja empregando de maneira adequada os insumos disponíveis, na busca pela máxima produtividade, seu desempenho competitivo ficará comprometido, pois a ineficiência do processo influenciará diretamente no preço do produto final (MARIANO, 2008).

Figura 1 – Ilustração de uma *Decision Making Units* – DMU.



Fonte: adaptado de Pimentel (2009).

A capacidade de uma DMU em obter o melhor rendimento com o mínimo de recursos, energia, tempo, dinheiro e fatores de produção se denomina eficiência. Este conceito está relacionado aos resultados obtidos e os recursos empregados, de acordo com as características do meio que se produz (SCHERER; PORSSE, 2017). Na busca por mensurar a produção do sistema, e posteriormente a eficiência, Debreu (1951) propôs uma metodologia denominada “coeficiente de utilização de recursos” baseada nas distâncias entre a posição atual produtiva da firma até a posição máxima de produção atingível, considerando que a partir deste último ponto o aumento de produção depende da realocação de insumos. Desta forma, a distância entre o ponto atual de produção e o ponto máximo deveria ser a mínima possível para que o sistema fosse considerado eficiente. Ainda no mesmo ano, Koopmans (1951) definiu que o ponto eficiente de um sistema deveria possuir a combinação perfeita entre os insumos

a fim de gerar o máximo de produto, sendo impossível o acréscimo de uma quantidade de insumo sem o decréscimo de outro (SILVA; FREITAS; COSTA, 2018).

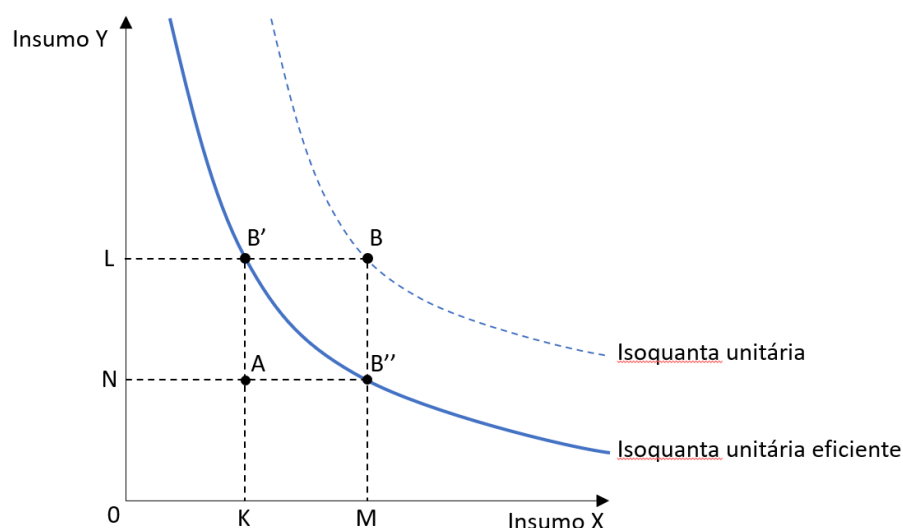
Em relação à agricultura, Liebig em 1843, citado por Nachtigall (2014), introduziu a Lei dos Mínimos, em que definia que a produção era limitada pelo elemento presente em menor quantidade, mesmo com a alocação de outros insumos, a produção ficaria inalterada até que houvesse a correção daquele insumo limitante. Em seguida, estes elementos foram expandidos para qualquer variável sendo nutricional, edafoclimática ou fisiológica (NACHTIGALL, 2014).

Posteriormente a Debreu (1951) e Koopmans (1951), Farrell (1957) subdividiu a eficiência nos conceitos de eficiência técnica e eficiência alocativa (ou de preço). A eficiência técnica é voltada a se produzir o máximo com os insumos dados. Já a eficiência alocativa tem caráter financeiro, com o objetivo de combinar os insumos analisando os respectivos preços, produzindo o maior volume de produtos com os menores custos. A relação entre a eficiência técnica e a alocativa resulta na eficiência econômica (ou global), produzindo o máximo com insumos disponíveis e com o menor custo. De maneira mais ampla, a eficiência técnica é a mais buscada e estudada. Porém, se o objetivo desejado do sistema for o lucro, deve-se analisar a eficiência alocativa e seus parâmetros, dependentes do preço e na habilidade de alocar os insumos e os produtos em proporção ótima, de maneira a obter a máxima produtividade com o menor custo. Muitas vezes, empresas podem ser consideradas eficientes tecnicamente, porém ineficientes alocativamente, ou seja, produzem o máximo com os insumos disponíveis, mas não obtêm a máxima lucratividade possível. O oposto também é verdadeiro, empresas podem ser ineficientes tecnicamente, porém eficientes alocativamente, gastando o mínimo com insumos e subestimando a produção, porém obtendo a máxima lucratividade. A combinação das duas eficiências é a eficiência econômica (ALBUQUERQUE, 1987).

Por exemplo, suponha que uma DMU possua dois insumos básicos de produção X e Y, tendo em vista a tecnologia disponível no momento. Para ser considerada eficiente tecnicamente, esta DMU necessita empregar quantidades ideais de X e Y de maneira que a produção seja a máxima possível, chegando ao ponto ótimo de produção, ou fronteira de eficiência (SILVA; FREITAS; COSTA, 2018). A Figura 2 representa o sistema produtivo de uma propriedade rural mediante isoquantas, curvas que combinam os insumos presentes nos eixos X e Y, resultando na mesma quantidade de produção obtida em qualquer ponto da curva. A isoquanta

unitária eficiente diz respeito à máxima produtividade obtida com os insumos X e Y disponíveis. Desta forma, a utilização de K unidades do insumo X e L unidades do insumo Y resultaria na mesma produtividade se forem utilizados M unidades do insumo X e N unidades do insumo Y. Conseqüentemente, os pontos B' e B'' seriam eficientes em termos técnicos, visto a tecnologia atualmente disponível e empregada. O ponto a esquerda da isoquanta unitária eficiente, ponto A, é ineficiente tecnicamente, pois sobram insumos X e Y em estoque. Do mesmo modo, a produção no ponto B, à direita da isoquanta unitária eficiente, é inviável, haja vista a obtenção da mesma produção utilizando quantidades menores dos insumos X e Y.

Figura 2 – Eficiência técnica segundo os insumos X e Y.



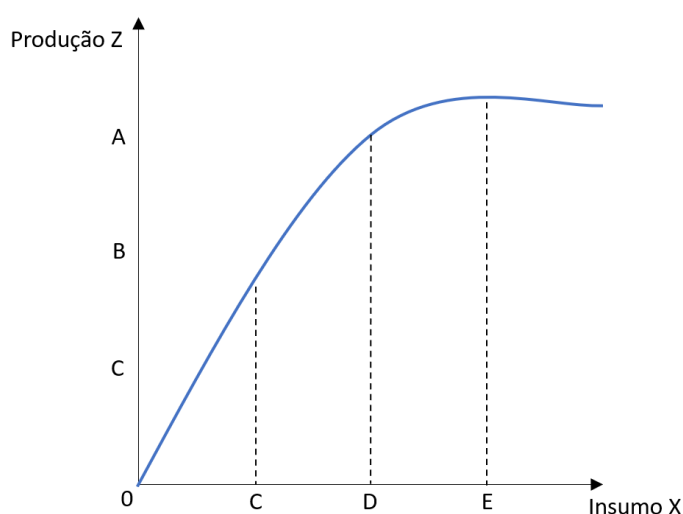
Fonte: Adaptado de Nogueira (2005).

Ao se adicionar uma quantidade maior de insumos, não ocorrerá necessariamente um aumento na eficiência técnica, contudo a evolução constante da pesquisa e da ciência acarreta o surgimento de novas ferramentas e insumos produtivos, modificando radicalmente o *modus operandi* de uma DMU. Assim, a teoria econômica através da lei das proporções variáveis explica que se for adicionado gradualmente um novo insumo e os outros permanecerem constantes, *a priori*, haverá um acréscimo na produção, porém posteriormente, estes valores se tornarão decrescentes (Figura 3) (VICECONTI; NEVES, 2013).

Na Figura 3, até se adicionar a quantidade D do Insumo X, a produção do produto Z tem crescimento constante. A partir do ponto D, mesmo se adicionar uma maior quantidade do insumo X, a produção irá aumentar, porém, de forma decrescente

(acréscimo decrescente). Chegando-se ao ápice na quantidade E do insumo X, a partir deste ponto, haverá um decréscimo de produção. Isto ocorre, pois há uma limitação imposta pelos outros insumos que permaneceram constantes. Ao atingir o ápice produtivo, a limitação de produção passa a ser imposta por outro agente do sistema. Do mesmo modo, adicionar uma quantidade maior que D do insumo X, diminuiria a eficiência do processo (VICECONTI; NEVES, 2013).

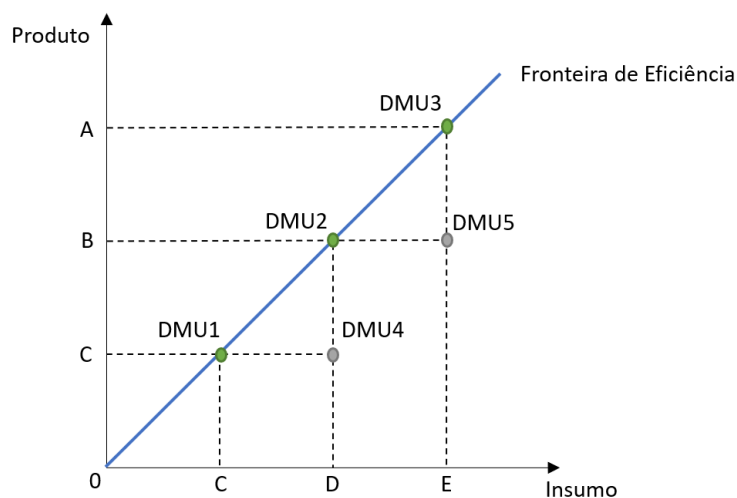
Figura 3 – Relação produção Z e insumo X, com outro insumo permanecendo constante.



Fonte: adaptado de Viceconti e Neves (2013).

Para melhor compreender o conceito de eficiência técnica, a Figura 4 apresenta a fronteira de eficiência relacionando os vários insumos e produtos de homogêneas DMUs. As Unidades que se encontram sob a fronteira (DMU1, DMU2 e DMU3) são consideradas eficientes tecnicamente, já aquelas que se encontram à direita da fronteira (DMU4 e DMU5) são ineficientes. Por exemplo, a DMU2 utilizando D quantidade de insumos, produz a quantidade B de produtos, enquanto a DMU4 utiliza a mesma quantidade D de insumos, porém produz uma unidade a menos, C quantidade de produtos.

Figura 4 – Relação produção e insumo X, com insumo Y constante.



Fonte: adaptado de Mariano (2008).

No longo prazo, a DMU pode aumentar a quantidade e expandir todos os insumos que afetam o processo produtivo, ganhando rendimento de escala. A partir daí, são três os cenários possíveis: (i) rendimentos constantes de escala, a produção cresce proporcionalmente ao aumento na quantidade de insumos; (ii) rendimentos crescentes de escala, a produção aumenta em proporções maiores do que a quantidade inserida de insumos; (iii) rendimentos decrescentes de escala, a produção aumenta em proporção menor do que a quantidade inserida de insumos (VICECONTI; NEVES, 2013).

Em um ambiente controlado, duas DMUs usando a mesma quantidade e os mesmos insumos inerentes à produção dos mesmos produtos, deveriam ter a mesma produtividade. Porém, na prática, a produção é afetada por inúmeras variáveis, muitas vezes independentes da ação humana (VICECONTI; NEVES, 2013). Por exemplo, na agricultura, mesmo empregando-se a mesma quantidade de semente e adubo em duas fazendas localizadas em regiões geográficas diferentes, alguns insumos essenciais à produção, como água, luz e temperatura, independem da ação humana. Por isso, existem regiões mais produtivas do que outras. Entretanto, duas fazendas podem possuir produtividades diferentes e serem consideradas eficientes, por utilizarem de maneira satisfatória e adequada os insumos disponíveis.

Avaliar a qualidade da DMU apenas com indicadores de produtividade gera uma limitação, haja vista que a mesma produtividade pode ser observada com o insumo e os métodos de produção distintos, não mensurando o aproveitamento da

empresa em relação às possibilidades tecnológicas existentes no momento. Um índice de eficiência indica o valor máximo possível de produção, a partir das condições ambientais somadas aos recursos disponíveis. Desta forma, os indicadores de desempenho que analisam a produtividade são complementares aos de eficiência (POZO, 2002). É preciso analisar criteriosamente os fatores de produção inerentes a cada região com a finalidade de utilizar os insumos disponíveis da melhor maneira, e encontrar as melhores combinações produtivas das diferentes localidades. Ao longo dos anos, as análises de produtividade eram balizadoras para implantação de políticas públicas e investimentos, ocasionando heterogeneidades entre regiões e conseqüentemente um ciclo vicioso, uma vez que regiões que produzem mais recebiam mais recursos, aumentando os insumos e as tecnologias disponíveis, por conseguinte aumentando a produtividade, e assim sucessivamente (VIEIRA FILHO, 2013).

A heterogeneidade entre regiões pode ser dividida em heterogeneidade estrutural e heterogeneidade produtiva (CIMOLI, 2005). A heterogeneidade estrutural consiste nas diferenças estáticas, intrínsecas a cada região, como a disponibilidade de água, fator solo e relevo, infraestrutura disponível para o escoamento dos produtos, entre outros. Já a heterogeneidade produtiva é a diferença entre as atividades exploradas por cada região e o ganho econômico e produtivo de cada uma. As condições estruturais de uma região podem justificar as diferenças produtivas, porém nem sempre a heterogeneidade produtiva está associada a uma heterogeneidade estrutural. A grande questão seria quantificar a produção eficiente, quais seriam os parâmetros para compor a Fronteira de Eficiência de uma propriedade agropecuária? Para se quantificar a Fronteira de Eficiência e conseqüentemente definir os parâmetros de eficiência técnica, deve-se conhecer a função de produção ou o conjunto de fatores que influenciam na produção (COELLI et al., 2005).

Divide-se, então, a metodologia envolvendo a eficiência técnica em metodologia paramétrica e metodologia não paramétrica. Os estudos que envolvem a primeira metodologia partem do pressuposto de que a função de produção pode ser determinada através do conhecimento das variáveis e insumos que afetam o processo, relacionando funcionalmente e estatisticamente os insumos e os produtos do sistema, resultando em uma expressão matemática ideal. A metodologia não-paramétrica não pressupõe o conhecimento de todas as variáveis e não resulta em uma equação matemática ideal para a produção, ela considera a performance da DMU

comparativamente a outras do mesmo grupo. DMUs que empregam quantidades maiores de um determinado insumo e obtém a mesma produção comparativamente aquelas que empregam quantidades menores do mesmo insumo são consideradas ineficientes nesta metodologia. Sendo assim, existirão empresas sobre a fronteira de eficiência e outras abaixo dela (COELLI et al., 2005).

Na atividade agropecuária, existe uma vasta variedade de insumos que envolvem a produção, além dos quantificáveis, como sementes, fertilizantes e defensivos químicos, outros insumos como água, luz, temperatura e elementos microbiológicos também afetam direta ou indiretamente a taxa de produção. Farrell (1957) propôs, através dos modelos não-paramétricos, uma metodologia capaz de realizar a medição da eficiência por meio de uma expressão analítica comparativa entre diferentes unidades produtoras. Assim, o método proposto resultaria na aproximação empírica da fronteira de eficiência das propriedades analisadas, válidas quando a função de produção é desconhecida e elas utilizam dos mesmos insumos e produzem os mesmos produtos.

Os indicadores utilizados para medir a eficiência produtiva de uma DMU estão associados majoritariamente à função de produção, delimitando uma fronteira na qual, entre o conjunto de observações, nenhuma função encontra-se acima dela, observando um limite de produção eficiente e um desejo em alcançá-lo por parte das outras DMUs, visando a otimização do processo, de acordo com os insumos disponíveis e a máxima produtividade alcançada (BARBOSA et al., 2013).

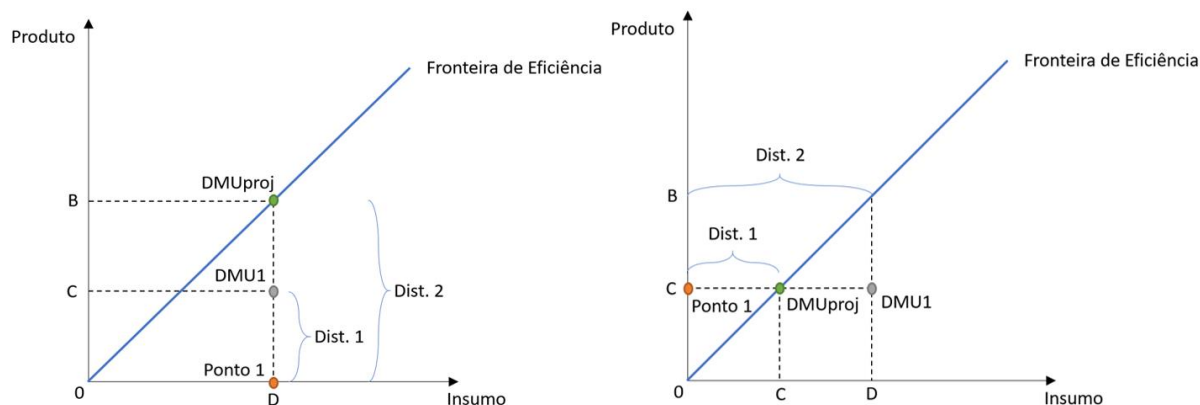
Após a mensuração da fronteira de eficiência, a produção das DMUs estaria classificada quanto a sua eficiência técnica conforme já observada na Figura 4. Outros dois métodos mensuram a distância entre a produção atual da empresa e a fronteira de eficiência, sendo o método determinístico e o método estocástico. O método determinístico assume que a distância é derivada da ineficiência da empresa, enquanto o método estocástico pressupõe que a distância é proveniente de perturbações aleatórias ao processo produtivo (COELLI et al., 2005).

A busca pela eficiência técnica pode ser tanto diminuindo os insumos (orientação insumo), quanto aumentando a produtividade (orientação produto) (FARRELL, 1957). O cálculo da eficiência técnica depende graficamente da definição de três pontos, linearmente ligados: (i) o que representa o cenário atual da DMU (DMU1); (ii) a projeção da DMU na fronteira de eficiência (DMUproj); e, (iii) um ponto qualquer encontrado sobre um dos eixos x ou y (ponto 1). A direção da reta define a



orientação do modelo de eficiência, (Figura 5), em que o valor da eficiência técnica pode ser obtido através da razão entre a Dist. 1 e Dist. 2.

Figura 5 – Modelo de eficiência pela orientação do produto (esquerda) e orientação insumo (direita).



Fonte: adaptado de Mariano (2008).

A produtividade máxima deve mudar de acordo com a orientação do modelo. Do mesmo modo, o ponto 1 sofrerá alteração de acordo com a DMU observada e a orientação. Desta forma, o valor da eficiência técnica sob a ótica das duas orientações pode variar de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, mais eficiente ela será, com isso, sendo possível direcionar o comportamento da DMU na adequação produtiva e busca pela eficiência do sistema. A ineficiência sob a orientação produto diz respeito à necessidade de se aumentar a produção sem o acréscimo de insumo. Já sob a orientação insumo, deve-se reduzir a quantidade de insumo utilizado mantendo a mesma produção (SALUSTIANO; BARBOSA; MOREIRA, 2020).

## 2.2. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA NA AGROPECUÁRIA

Até a década de 1970, o principal fator de produção no setor agropecuário brasileiro era a terra, sendo ela majoritariamente responsável pelo crescimento produtivo. As áreas eram exploradas de forma exaustiva e a partir do esgotamento físico e químico do solo, novas fronteiras de produção eram abertas. O *modus operandi* da produção agropecuária mudou a partir desta década, produto do tripé

composto pela pesquisa, extensão e crédito rural, incentivado pela escassez de mão de obra e o incentivo à conservação ambiental. Assim, a tecnologia e o conhecimento foram fundamentais para a mudança de paradigma deste setor (VIEIRA FILHO, 2014). Os principais avanços tecnológicos na agropecuária podem ser divididos em seis grandes grupos: (i) das técnicas de cultivo ou criação; (ii) de máquinas; (iii) de fertilizantes; (iv) de defensivos químicos; (v) do melhoramento genético de plantas e animais; e (vi) da logística (AVILA; GARAGORRY; CARDOSO, 2013).

A agropecuária brasileira era dependente das inovações desenvolvidas em países de clima temperado, como os do continente Europeu e os Estados Unidos. A criação da Embrapa e o avanço na difusão de sistemas de cultivo adaptados ao clima tropical brasileiro moldaram todas as tecnologias posteriormente desenvolvidas. O Sistema de Plantio Direto (SPD) ajudou no combate à erosão do solo e aumento da fertilidade. As máquinas originalmente desenvolvidas para o revolvimento do solo e consequentemente degelo nos países do hemisfério norte, foram substituídas por implementos menos agressivos ao solo (PASSOS; ALVARENGA; SANTOS, 2018). A baixa fertilidade natural dos solos brasileiros produzida pelo grau elevado de intemperismo foi corrigida com a utilização de corretivos e fertilizantes, aumentando a produtividade. Apesar destes incrementos e da possibilidade de produzir em várias épocas do ano, o Brasil sofreu com o ataque de pragas e doenças inexistentes nos países de clima temperado. Por isso, foram e ainda são desenvolvidos defensivos químicos que ajudam no controle, causando o mínimo possível de contaminação ambiental (CHADDAD, 2017).

Atrelado aos defensivos químicos, com o melhoramento genético, as plantas e os animais foram selecionados e adaptados às condições edafoclimáticas de cada região brasileira (CHADDAD, 2017). A última tecnologia abordada é a logística que envolve toda estratégia de transporte e armazenamento que cerca a cadeia do agronegócio. Para o sucesso produtivo, é primordial a existência de uma ligação entre os centros produtores e os centros consumidores, adequada ao tipo de produto e sendo o meio logístico economicamente o mais viável (CAIXETA FILHO, 2018).

Na economia, considera-se o mercado do agronegócio, mais precisamente o de macro produtos primários, uma concorrência perfeita, pois (i) existe um grande número de compradores e vendedores; (ii) os macro produtos são homogêneos; (iii) há a livre entrada e saída dos agentes envolvidos; (iv) conhecimento das tecnologias utilizadas pelos agentes, gerando uma transparência no mercado; (v) o preço dos

fatores de produção e dos produtos são determinados pelo mercado, a depender da demanda e da oferta (VICECONTI; NEVES, 2013). O objetivo principal dos avanços tecnológicos é a redução dos custos e o aumento da quantidade produzida. A busca por uma nova tecnologia é exigida quando os ganhos financeiros ou em produtividade deslocam-se abaixo de um determinado limite. Porém, na concorrência perfeita, os agentes que forem pioneiros tecnológicos e introduzirem rapidamente inovações, que aumentem a eficiência, alcançarão ganhos positivos. Em um segundo momento, com a maior quantidade de produto ofertado, desloca-se a curva de oferta para a direita, diminuindo o preço do produto no mercado. Com a disseminação do conhecimento, o ganho proporcional da tecnologia se torna menos vantajoso. Com isso, os produtores retardatários na introdução dos novos mecanismos produtivos tendem a ser menos beneficiados, prejudicando a modernização agrícola e até ocasionando o abandono do mercado por esses últimos agentes, pois apenas uma parte dos agropecuaristas de fato se beneficia economicamente da nova tecnologia (RUTTAN, 2001; VICECONTI; NEVES, 2013).

O fator cultural do produtor rural interfere significativamente no conhecimento educacional e de gestão, sendo estes fundamentais para que ele usufrua das novas tecnologias e forneça um feedback aos pesquisadores e desenvolvedores dos insumos, direcionando cada vez mais o processo de criação e difusão. Por mais básica que seja a tecnologia, o fator cultural se torna uma barreira à entrada de inovações, criando *clusters* de produtividade ao longo dos anos. Este problema é conhecido como assimetria de informações e é gerado, entre outras coisas, pela desigualdade no acesso ao crédito, extensão rural, educação e terra (CHADDAD, 2017; VIEIRA FILHO; FISHLOW, 2017). A partir daí, a base para o aumento produtivo e de eficiência passa pelo investimento em inovação e difusão do conhecimento. Segundo Vieira Filho e Fishlow (2017), o agente adotante da tecnologia interfere na decisão dos agentes não adotantes, ocorrendo em um primeiro momento um comportamento exponencial na introdução de uma inovação. Porém, com o passar do tempo, os indivíduos menos propensos a aceitarem a tecnologia modificam a trajetória do desenvolvimento tecnológico para a forma decrescente.

Nesse sentido, existem em uma mesma região três tipos de produtores, (i) os totalmente tecnificados e modernos, considerados inovadores; (ii) os que utilizam de técnicas ou equipamentos tradicionais e antigos; (iii) e um grupo majoritário que mescla as inovações com o tradicionalismo. Porém, nem sempre a inovação é

sinônimo de ganho em eficiência. A efetividade da tecnologia é definida pela: (i) razão entre a produtividade com o insumo moderno sobre a produtividade com o tradicional; (ii) quantidade/preço do insumo moderno frente ao tradicional; e, (iii) o custo de introdução ou transação, que pode depender de produtor para produtor e da complexidade da tecnologia (PAIVA, 1971; KUGIZAKI, 1983).

Basicamente, consegue-se decompor a modernização tecnológica agropecuária em três grupos: (i) o que fornece aumento na produtividade, porém sem a redução do custo marginal (aumento do custo total quando se adiciona uma unidade do bem produzido), pois possuem um grande custo fixo, como é o caso das máquinas e equipamentos; (ii) o que fornece aumento na produtividade e diminuição do custo marginal, pois tem baixo custo fixo, como é o caso dos fertilizantes, defensivos químicos e ração para animais; e, (iii) o que não exige custos adicionais, proporcionando o maior retorno produtivo e financeiro, pois aumenta a produtividade e reduz custos marginais, sendo obtido através das técnicas de cultivo ou criação (VIEIRA FILHO; FISHLOW, 2017).

As inovações e tecnologias são essenciais ao aumento de produtividade na agropecuária e adequação do modo produtivo a cada realidade. Por isso, a importância das microrregiões investirem em pesquisa e desenvolvimento. Do mesmo modo, os produtores, habitantes de cada localidade, devem estar abertos às novas ferramentas.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

Estudos que avaliam a eficiência técnica são ferramentas importantes na tomada de decisão de diferentes setores da economia. No setor agropecuário, estudos que avaliam eficiência técnica são aplicados com diferentes intuitos. Para tentar compreender quais são os objetivos e as metodologias mais utilizadas pelos trabalhos desenvolvidos recentemente, realizou-se uma revisão de literatura que consistiu em quatro passos: (i) identificação: junto ao Portal de Periódicos da CAPES, procurou-se qualquer trabalho que contenha as palavras-chave “eficiência técnica” e “agropecuária”, obtendo para esta etapa um resultado de 83 trabalhos; (ii) seleção: definiu-se como data de publicação trabalhos divulgados entre 2017-2021, obtendo 13 trabalhos; (iii) elegibilidade: o objetivo desta etapa foi analisar o conteúdo através

da leitura dos resumos, observar a disponibilidade do trabalho completo na forma online, considerar a relação com a temática da agropecuária, excluindo aqueles de outras áreas, por exemplo, de natureza médica, e também analisar o objetivo, a metodologia, as variáveis e as conclusões dos artigos; (iv) artigos selecionados: como resultado, 2 trabalhos foram efetivamente selecionados.

De modo a ampliar a base de artigos da revisão literária, foi realizada uma busca no mesmo formato, porém com as palavras-chaves em inglês “technical efficiency” e “agriculture”, obtendo como resultado 3.806 trabalhos. Privilegiando as publicações dos últimos 5 anos (2017 a 2021), chegou-se a um total de 1.169 trabalhos. Posteriormente restringiu-se a pesquisa apenas a periódicos revisados por pares, resultando em 1.124 trabalhos. Em seguida, definiu-se o tipo de recurso como apenas artigos, obtendo 1.118 trabalhos. Depois estes artigos foram restringidos a aqueles que contenham apenas os tópicos: *agriculture*, *technical efficiency*, *economics* e *agricultural production*, resultando em 51 artigos. Na etapa de elegibilidade, os trabalhos restantes foram submetidos a leitura dos resumos, com o intuito de analisar o seu conteúdo, considerar a relação com a temática da agropecuária e também avaliar o objetivo, a metodologia, as variáveis e a conclusão dos artigos e posteriormente observar a disponibilidade do trabalho completo na forma online. Por fim, a revisão resultou em 15 trabalhos efetivamente selecionados. Ao todo, essa revisão de literatura contou com 17 trabalhos os quais são brevemente relatados na forma cronológica.

Avaliando a eficiência técnica dos produtores rurais da Etiópia em sistemas de cultivo irrigado e de sequeiro, entre os anos de 2005 e 2006, Makombe et al. (2017) utilizaram a metodologia da fronteira de eficiência estocástica e as seguintes variáveis: valor da produção, área plantada, mão de obra, utilização de fertilizantes, irrigação, e dias para preparação do solo. Eles perceberam que as eficiências técnicas de ambos os sistemas eram relativamente similares, 71% para lavouras irrigadas e 78% para sequeiro.

Ma et al. (2017) utilizaram o método da fronteira de produção estocástica e através das variáveis: percepção da população quanto à realocação fundiária, percepção da população quanto à regularização fundiária, distância até a cidade, idade, educação, qualidade de vida, área cultivada, utilização de fertilizantes e declividade. Observaram que fornecer os certificados de registro de propriedade da terra não aumentou a eficiência técnica entre os produtores rurais do Noroeste da

China, porém eles esperam que esta segurança jurídica possa, no futuro, evitar êxodos rurais e conseqüentemente contribuir com o ganho em eficiência.

Scherer e Porsse (2017) utilizaram a metodologia de fronteira de produção estocástica para avaliar os desempenhos de cada região brasileira com relação às culturas permanentes e temporárias, usando as variáveis contidas no Censo Agropecuário no ano de 2006: quantidade produzida, área colhida, utilização ou não de tratores, número de empregados, valor dos financiamentos, índice de especialização, escolaridade dos produtores, precipitação média, temperatura média, e tipo de bioma na qual a região está inserida. Os resultados apontaram que as regiões Sul e Nordeste foram as mais eficientes no cultivo das lavouras permanentes e a região Sudeste nas lavouras temporárias.

Bajrami et al. (2017) estudaram a fronteira de produção estocástica de 243 produtores de vaca leiteira em Kosovo, no ano de 2015, utilizando como variáveis obtidas de dados primários: idade do agricultor, sexo, número de indivíduos na família, escolaridade, anos de experiência profissional, tamanho da fazenda, especialização da fazenda, número de máquinas, quantidade produzida, valor recebido com as vendas, qualidade do leite e custo dos insumos, que incluem: mão de obra, custos de alimentação, transporte e depreciação. Eles observaram um aumento significativo na eficiência técnica melhorando a qualidade da ração, tornando-a mais digestiva e mudando o sistema extensivo de criação para um mais intensivo.

Silva, Freitas e Costa (2018) examinaram a eficiência técnica na combinação das atividades agrícolas e não agrícolas nas propriedades rurais brasileiras. Utilizando a metodologia de fronteira de produção estocástica, em conjunto com um modelo Probit, e usando como variáveis o tamanho da área e a pluralidade de produtos produzidos (Censo Agropecuário de 2006). Concluindo que aqueles que se dedicam apenas às atividades agrícolas aproveitam melhor os recursos disponíveis, ao contrário dos que mesclam as atividades.

Balogun et al. (2018) desenvolveram um trabalho com o objetivo de analisar a eficiência técnica de produtores de abacaxi da Nigéria no ano de 2017. Utilizando a fronteira de eficiência estocástica e as seguintes variáveis: sexo, idade, experiência, tamanho da área, participa de cooperativas, escolaridade, estado civil e assistência técnica. Eles perceberam que 60% dos produtores são ineficientes tecnicamente, recomendando políticas públicas melhores aos produtores de abacaxi.

Entre os anos de 2003 e 2005, as propriedades com agricultura orgânica da

Áustria, Suíça e Alemanha foram estudadas por Lakner et al. (2018). Eles observaram, utilizando a fronteira de produção estocástica e as seguintes variáveis: área não orgânica, área orgânica, respectivas produções, custo de produção e mão de obra, que as fazendas mais eficientes tecnicamente possuíam diversidade produtiva e que o subsídio dado aos produtores ajudava principalmente na manutenção das fazendas orgânicas.

Silva et al. (2019) utilizaram a metodologia de fronteira de produção estocástica e com o objetivo de comparar a eficiência técnica da região do semiárido com o não semiárido nordestino. Eles utilizaram as seguintes variáveis no modelo com base nos Censos Agropecuários de 1975 a 2006: PIB agrícola municipal, área plantada, mão de obra, despesas com insumos, máquinas e equipamentos. Chegando à conclusão de que o não semiárido possui maior eficiência técnica devido às maiores oportunidades oferecidas.

Para aumentar a competitividade dos produtores agrícola da Eslováquia, Lazíková et al. (2019) mediram a eficiência técnica entre os anos de 2015 e 2016, através da metodologia DEA-BCC (Análise Envoltória de Dados – BBC – Banker, Charnes e Cooper), seguindo a orientação por insumos, e utilizando as seguintes variáveis: valor da produção, área cultivada, mão de obra e custos de produção. Eles observaram que a falta de política pública interferia diretamente na eficiência técnica, inclusive das regiões mais desenvolvidas.

Segundo Bagchi, Rahman e Shunbo (2019), a eficiência técnica dos produtores rurais de Bangladesh sofre influência da pesquisa, da extensão rural e da diversidade de cultivo. Eles observaram, através da metodologia DEA-BCC, pela orientação insumo entre os anos de 1987 e 2009, e utilizando as seguintes variáveis: produção, área cultivada, mão de obra, utilização de fertilizante e irrigação, que o país sofre com as desigualdades regionais e o declínio da eficiência técnica ao longo dos anos.

Horvat et al. (2019), no ano de 2018, estudaram a eficiência técnica dos produtores sérvios, utilizando a metodologia DEA-BCC, seguindo a orientação por produto, e as seguintes variáveis: área cultivada, mão de obra e capital, e observaram que os produtores apresentam níveis altos de eficiência, em média 90%.

Analisando a eficiência técnica de 150 produtores de algodão do Togo no ano de 2018, Ali e Kpakpabia (2019) perceberam, através da metodologia fronteira de produção estocástica, que apenas 48,33% dos produtores eram eficientes

tecnicamente. Dentre os fatores analisados, estão: a quantidade de algodão produzida, área cultivada, quantidade aplicada de pesticidas, mão de obra, quantidade de fertilizante, quantidade de semente, idade, sexo, experiência na atividade, escolaridade, membro de cooperativas ou associações, assistência técnica, classificação pedológica do solo, exerce outra atividade remunerada.

Ngango e Kim (2019) avaliaram a eficiência técnica de 320 cafeicultores em Ruanda, entre os anos de 2016 e 2017, observando, através do método fronteira de produção estocástica, que 18% deles são ineficientes. Dentre os fatores de produção analisados, estão: quantidade produzida, mão de obra, quantidade de fertilizante utilizado, quantidade de pesticidas, escolaridade, tamanho da família, assistência técnica, acesso ao crédito e qualidade técnica da plantação.

Tenaye (2020) utilizando o método de fronteira de produção estocástica e um conjunto de variáveis que envolvem: sexo, idade, escolaridade, mão de obra, área, tipo de solo, quantidade de fertilizante, quantidade de semente, obtenção de financiamento, assistência técnica e precipitação. Ele concluiu que 41% dos produtores rurais da Etiópia, entre os anos de 1994 e 2009, eram ineficientes tecnicamente e sugeriu projetos de políticas públicas voltados à qualificação da mão de obra, educação do produtor, assistência técnica e pesquisa de cultivares adaptadas à região.

Utilizando a metodologia DEA, seguindo a orientação por insumos, Bahta, Jordaan e Sabastain (2020) avaliaram a eficiência técnica de pequenos produtores de milho irrigado no Zimbábue no ano de 2011. Os fatores de produção analisados foram divididos em: gestão, mão de obra e assistência técnica, obtendo como conclusão que 70% dos produtores eram tecnicamente eficientes.

Utilizando a mesma metodologia DEA, seguindo a orientação por insumos, além da metodologia Tobit, com as seguintes variáveis: idade, tamanho da família, escolaridade, assistência técnica, grau de especialização, área e utilização de herbicidas, Anang, Alhassan e Abbeam (2020) observaram, no ano de 2016, que apenas 57% dos 340 produtores de milho estudados em Gana eram eficientes tecnicamente. Sugeriram mudanças com relação à escolaridade dos produtores, acesso à assistência técnica e combate às plantas daninhas para aumento da porcentagem observada.

Zhou et al. (2021) desenvolveram um trabalho com 6.895 produtores chineses de trigo, milho e arroz, principais culturas do país, no ano de 2016. Através das



seguintes variáveis: sexo, idade, escolaridade, mão de obra, especialidade, irrigação, utilização de fertilizantes, máquinas, área, produção, quantidade de pesticidas, quantidade de sementes, e através do método DEA, seguindo a orientação por insumos, juntamente com a metodologia de função produtiva de Coob-Douglas, eles observaram que 90% deles são tecnicamente eficientes, números impressionantes que só foram possíveis devido ao cooperativismo e à difusão tecnológica em massa.

Dentre os trabalhos mais recentes publicados, duas são as técnicas aplicadas para obtenção da eficiência técnica: a fronteira de produção estocástica e o DEA. Para esta dissertação, optou-se pela utilização do método DEA. O uso de tal técnica no setor agropecuário é recorrente, pois não é necessário conhecer previamente todos os *inputs* inerentes à produção, sendo dispensável especificar quais as formas funcionais e as informações relacionadas aos preços. Possibilitando também analisar DMUs que produzem diferentes quantidades de produtos através de diferentes quantidades de insumos (COELLI et al., 2005). As variáveis utilizadas nos diferentes artigos contidos nesta revisão de literatura serviram como base para justificar a escolha dos *inputs* e *outputs*, com o propósito de cumprir os objetivos deste trabalho. Os produtos e os insumos estão contidos no item 4.2 desta dissertação.

O Quadro 1 resume os artigos descritos na Revisão de Literatura.

Quadro 1 – Resumo dos trabalhos descritos na Revisão de Literatura.

<b>Autores</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Método</b>	<b>Variáveis</b>
Makombe et al. (2017)	Avaliar a eficiência técnica dos produtores rurais da Etiópia em cultivo irrigado e de sequeiro.	Fronteira de eficiência estocástica	Valor da produção; área plantada; mão de obra; utilização de fertilizantes; irrigação; e dias para preparação do solo.
Ma et al. (2017)	Observar a diferença em eficiência técnica entre propriedades rurais com e sem certificação de registro.	Fronteira de produção estocástica	Percepção da população quanto à realocação fundiária; percepção da população quanto à regularização fundiária; distância até a cidade, idade; educação; qualidade de vida; área cultivada; utilização de fertilizantes; e declividade.
Scherer e Porsse (2017)	Avaliar os desempenhos de cada região brasileira com relação às culturas permanentes e temporárias.	Fronteira de produção estocástica	Quantidade produzida; área colhida; utilização ou não de tratores; número de empregados; valor dos financiamentos; índice de especialização; escolaridade dos produtores; precipitação média; temperatura média; e tipo de bioma na qual a região está inserida.
Bajrami et al. (2017)	Avaliar a eficiência técnica de 243 produtores de leite em Kosovo.	Fronteira de produção estocástica	Idade do agricultor; sexo; número de indivíduos na família; escolaridade; anos de experiência profissional; tamanho da fazenda; especialização da fazenda; número de máquinas; quantidade produzida; valor

			recebido com as vendas; qualidade do leite; e custo dos insumos, que incluem: mão de obra; custos de alimentação; transporte; e depreciação.
Silva, Freitas e Costa (2018)	Examinar a eficiência técnica na combinação das atividades agrícolas e não agrícolas nas propriedades rurais brasileiras.	Fronteira de produção estocástica	Tamanho da área e a pluralidade de produtos produzidos.
Balogun et al. (2018)	Analisar a eficiência técnica de produtores de abacaxi da Nigéria.	Fronteira de eficiência estocástica	Sexo; idade; experiência; tamanho da área; participa de cooperativas; escolaridade; estado civil; e assistência técnica.
Lakner et al. (2018)	Observar a eficiência técnica das propriedades com agricultura orgânica da Áustria, Suíça e Alemanha.	Fronteira de produção estocástica	Área não orgânica; área orgânica; respectivas produções; custo de produção; e mão de obra.
Silva et al. (2019)	Comparar a eficiência técnica da região do semiárido com o não semiárido nordestino.	Fronteira de produção estocástica	PIB agrícola municipal; área plantada; mão de obra; despesas com insumos; máquinas e equipamentos.
Lazíková et al. (2019)	Observar a eficiência técnica dos produtores agrícola da Eslováquia.	DEA-BCC	Valor da produção; área cultivada; mão de obra; e custos de produção.
Bagchi, Rahman e Shunbo (2019)	Analisar a eficiência técnica dos produtores rurais de Bangladesh.	DEA-BCC	Produção; área cultivada; mão de obra; utilização de fertilizante; e irrigação.
Horvat et al. (2019)	Estudar a eficiência técnica dos produtores rurais sérvios.	DEA-BCC	Área cultivada; mão de obra; e capital.
Ali e Kpakpabia (2019)	Analisar a eficiência técnica de 150 produtores de algodão do Togo.	Fronteira de produção estocástica	Quantidade de algodão produzida; área cultivada; quantidade aplicada de pesticidas; mão de obra; quantidade de fertilizante; quantidade de semente; idade; sexo; experiência na atividade; escolaridade; membro de cooperativas ou associações; assistência técnica; classificação pedológica do solo; exerce outra atividade remunerada.
Ngango e Kim (2019)	Avaliar a eficiência técnica de 320 cafeicultores em Ruanda.	Fronteira de produção estocástica	Quantidade produzida; mão de obra; quantidade de fertilizante utilizado; quantidade de pesticidas; escolaridade; tamanho da família; assistência técnica; acesso ao crédito; e qualidade técnica da plantação.
Tenaye (2020)	Avaliar a eficiência técnica dos produtores rurais da Etiópia.	Fronteira de produção estocástica	Sexo; idade; escolaridade; mão de obra; área; tipo de solo; quantidade de fertilizante; quantidade de semente; obtenção de financiamento; assistência técnica; e precipitação.
Bahta, Jordaan e Sabastain (2020)	Avaliar a eficiência técnica de pequenos produtores de milho irrigado no Zimbábue.	DEA	Gestão; mão-de-obra; e assistência técnica.
Anang, Alhassan e	Observar a eficiência técnica de 340	DEA e Tobit	Idade; tamanho da família; escolaridade; assistência técnica; grau de especialização;

Abbeam (2020)	produtores de milho em Gana.		área; e utilização de herbicidas.
Zhou et al. (2021)	Avaliar a eficiência técnica de 6.895 produtores chineses de trigo, milho e arroz.	DEA e função produtiva Cobb-Douglas	Sexo; idade; escolaridade; mão de obra; especialidade; irrigação; utilização de fertilizantes; máquinas; área; produção; quantidade de pesticidas; e quantidade de sementes.

## 4. METODOLOGIA

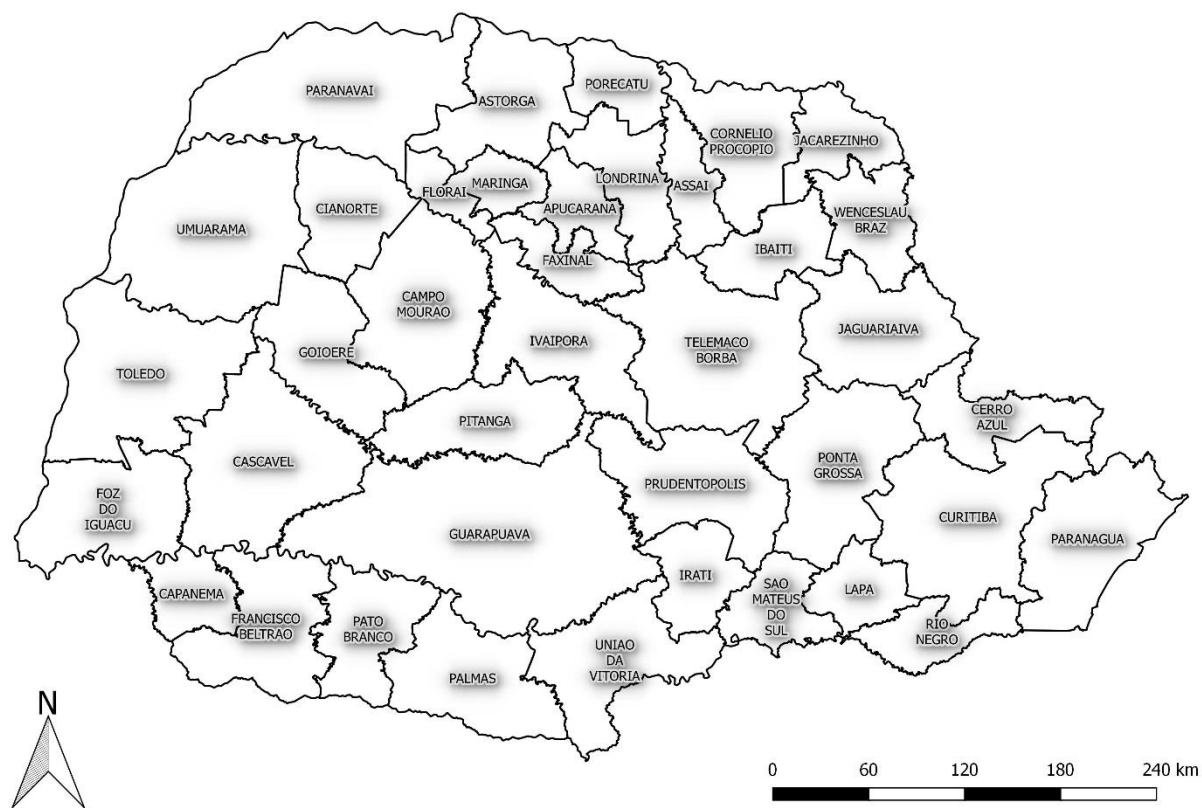
Nesta seção, serão abordadas as DMUs estudadas, a seleção dos *inputs* e *outputs* que farão parte do modelo e, por fim, será explanado o conceito da técnica adotada na estimativa da eficiência.

### 4.1. SELEÇÃO DAS DMUs

O conjunto de DMUs analisados deverá obrigatoriamente possuir os mesmos insumos e produtos abordados, variando apenas em magnitudes. É importante que as Unidades sejam homogêneas, tomem decisões individuais e participem do mesmo setor econômico, buscando os mesmos agentes compradores e vendedores (MELLO et al., 2005).

Sendo o Estado do Paraná o objeto de estudo deste trabalho, foram delimitadas as DMUs de acordo com as 39 microrregiões estipuladas pelo IBGE (2020) (Figura 6). Tornando assim, homogênea cada DMU com relação às características edafoclimáticas ali presentes. Preferiu-se a utilização das microrregiões como forma de homogeneizar municípios próximos, com características similares com relação ao relevo, tipo de solo e clima. Do mesmo modo, as microrregiões são delimitadas regionalmente, não abrangendo áreas tão distintas. Entretanto, isso não garante que o comportamento das microrregiões seja homogêneo, em relação às variáveis analisadas no modelo de eficiência. Por isso, utilizou-se do teste *U* de Mann-Whitney para confirmar a homogeneidade das microrregiões (FIRMINO, 2015), utilizando o tamanho populacional delas (Anexo 1).

Figura 6 – Mapa do Estado do Paraná dividido em microrregiões geográficas.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE (2020).

Apurando os resultados do teste  $U$  de Mann-Whitney, observou-se que não houve diferença entre os 4 grupos populacionais estudados no ano 2006, porém, no ano 2017, houve diferença populacional entre os grupos 1 e 2, e grupos 1 e 3, o que impossibilitaria a utilização de tal divisão para o teste DEA-Malmquist. Desta forma, preferiu-se utilizar apenas um grupo contendo as 39 microrregiões, uma vez que de seis testes realizados, quatro se mostraram comparáveis.

## 4.2. SELEÇÃO DOS INPUTS E OUTPUTS

No setor agropecuário, inúmeras são as variáveis que influenciam direta ou indiretamente na produção. A escolha dos *inputs* e *outputs* se baseou na possibilidade de se comparar os elementos entre as regiões e que de fato fosse modificado pelo homem, sendo inviável a utilização de, por exemplo, temperatura ou precipitação pluviométrica, uma vez que no caso de não eficiência técnica, pouco se poderia agir

sobre tais variáveis. A escolha das variáveis teve como suporte os trabalhos contidos na revisão de literatura, além de estarem disponíveis nos bancos de dados dos dois últimos Censos Agropecuários, anos 2006 e 2017. Assim, os insumos seguiram os três fatores de produção de um sistema: (i) recursos naturais ou terra; (ii) mão de obra ou trabalho; e (iii) capital. O quadro 2 traz os 3 *inputs* selecionados e o único *output* utilizado para o modelo de eficiência.

Quadro 2 – Descrição da variável e a referência dos *inputs* e *output* utilizados no modelo DEA.

<b>Variável output</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referência</b>
Valor da produção dos estabelecimentos agropecuários em reais.	Valor da produção vegetal e animal total, na moeda real e corrigidos para 2017.	Makombe et al. (2017); Scherer e Porsse (2017); Bajrami et al. (2017); Lakner et al. (2018); Lazíková et al. (2019); Bagchi, Rahman e Shunbo (2019); Ali e Kpakpabia (2019); Ngango e Kim (2019); Zhou et al. (2021).
<b>Variável input</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referência</b>
Número de tratores, implementos e máquinas existentes nos estabelecimentos agropecuários.	As máquinas e implementos agrícolas são utilizadas para as atividades inerentes ao cultivo de plantas e tratamento animal, como preparo do solo, plantio/semeadura, pulverização e tratos culturais, colheita, transporte de cargas e insumos.	Scherer e Porsse (2017); Bajrami et al. (2017); Silva et al. (2019); Zhou et al. (2021).
Área dos estabelecimentos agropecuários em hectare.	Área realmente utilizada para as atividades agrícolas e pecuárias de cada imóvel rural.	Makombe et al. (2017); Ma et al. (2017); Scherer e Porsse (2017); Bajrami et al. (2017); Silva, Freitas e Costa (2018); Balogun et al. (2018); Lakner et al. (2018); Silva et al. (2019); Lazíková et al. (2019); Bagchi, Rahman e Shunbo (2019); Horvat et al. (2019); Ali e Kpakpabia (2019); Tenaye (2020); Anang, Alhassan e Abbeam (2020); Zhou et al. (2021).
Pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários.	Número de trabalhadores.	Bajrami et al. (2017); Lakner et al. (2018); Silva et al. (2019); Lazíková et al. (2019).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Todas estas variáveis, de alguma forma, influenciam direta ou indiretamente na produção das DMUs e fizeram parte de estudos empíricos anteriores, conforme a revisão de literatura.

### 4.3. TÉCNICA PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA

Os modelos propostos para análise de eficiência técnica podem ser paramétricos ou não-paramétricos. Para este trabalho, optou-se pela Análise Envoltória de Dados (DEA), que consiste em uma técnica não-paramétrica baseada na programação linear empregada para estimar a fronteira de produção comparando diferentes DMUs, conforme os estudos de Lazíkova et al. (2019), Bagchi, Rahman e Shunbo (2019), Horvat et al. (2019), Bahta, Jordaan e Sabastain (2020), Anang, Alhassan e Abbeam (2020) e Zhou et al. (2021).

Todavia, tendo em vista que o presente trabalho analisou o comportamento das observações em dois anos, 2006 e 2017, a metodologia DEA foi empregada em conjunto com o índice de produtividade de Malmquist, pois, segundo Mariano, Almeida e Rebelatto (2009), a inclusão de tal índice permite a comparação da eficiência produtiva de uma mesma DMU em dois momentos distintos no tempo.

A base de raciocínio da metodologia DEA se dá pela comparação. Quando uma DMU é capaz de produzir “A” produtos com “E” insumos, outras empresas poderão fazer, caso estejam eficientemente operando. A união gráfica de firmas eficientes dá origem a fronteira de eficiência, assim existirão DMUs sob a fronteira e outras abaixo da fronteira. Medindo a distância até a fronteira, é possível parametrizar qual o nível de eficiência das DMUs analisadas. Para este trabalho, a eficiência foi observada sob a ótica dos insumos, tendo em vista os artigos já mencionados na Revisão de Literatura, como Lazíková et al. (2019); Bagchi, Rahman e Shunbo (2019); Bahta, Jordaan e Sabastain (2020); Anang, Alhassan e Abbeam (2020); Zhou et al. (2021). Desta forma, a ótica dos insumos busca reduzir os insumos ao máximo, mantendo a mesma produtividade, assumindo que unidades ineficientes utilizam *inputs* de forma exagerada comparada a outras DMUs. Como já citado, existem inúmeros insumos que afetam o produto originário da agropecuária, tornando mais coerente a análise da eficiência sob o enfoque dos insumos (COELLI et al., 2005).

O DEA foi desenvolvido primeiramente pelo trabalho de Charnes, Cooper e

Rhodes (1978), baseando-se no trabalho de Farrell (1957), cujo modelo ficou conhecido como CCR (também conhecido por CRS – *Constant Returns to Scale*) ou Retornos Constantes à Escala. Ele possui como hipótese que os *inputs* e os *outputs* são proporcionais em escala, à medida em que uma unidade de um tende a aumentar, uma unidade do outro também aumentará, não se preocupando com outras relações. O resultado deste modelo é a eficiência total ou produtiva (MARIANO, 2008; BARBOSA et al., 2013).

Posteriormente, Banker, Charnes e Cooper (1984) desenvolveram um novo modelo chamado de BCC (também chamado de VRS – *Variable Returns to Scale*), ou Retornos Variáveis à Escala. Este modelo obtém a eficiência técnica através da divisão entre a relação de *outputs* na DMU e o maior valor de *output* entre todas as DMUs (MARIANO, 2008).

Caso o escore de eficiência seja diferente entre os dois modelos, ocorre uma ineficiência de escala na DMU analisada. A técnica DEA identifica que a eficiência técnica total de cada DMU é estipulada por dois parâmetros, a eficiência técnica pura e a eficiência de escala, ambas são relacionadas aos escores encontrados nos dois modelos, CCR e BBC (BARBOSA; FUCHIGAMI, 2018).

O índice DEA-Malmquist, foi proposto por Fare et al. (1994), além da análise das eficiências técnica e de escala, acima descritas, este índice permite que também sejam feitas inferências acerca dos escores obtidos nos dois anos considerados, ao possibilitar, a partir de seus subíndices, que se avalie a influência das mudanças nos níveis de eficiência técnica e de tecnologia adotada sobre os resultados de cada DMU (REIS et al., 2020).

Nesse sentido, as equações 3 e 4 apresentam a forma como tais fatores são computados, sendo que  $TC(s, t)$  mensura a mudança da fronteira tecnológica (*Technological Change*, TC, em inglês) e  $EC(s, t)$  computa a mudança da eficiência em si (*Efficiency Change*, EC, em inglês).

$$TC(s, t) = \sqrt{\frac{E(t,s)E(s,s)}{E(t,t)E(s,t)}} \quad (3)$$

$$EC(s, t) = \sqrt{\frac{E(t,t)}{E(s,s)}} \quad (4)$$

Em que:  $E(t, s)$  corresponde ao nível de eficiência da DMU avaliada, no momento final ( $t$ ) com tecnologia do momento inicial ( $s$ );  $E(t, t)$  se refere à eficiência da DMU em análise, no momento  $t$  com os aparatos tecnológicos disponíveis no momento  $t$ ;  $E(s, t)$  diz respeito à eficiência da DMU em questão, no momento  $s$  com a tecnologia adotada no momento  $t$ ; e  $E(s, s)$  equivale ao escore de eficiência da DMU observada, no momento  $s$  com os recursos tecnológicos à disposição no momento  $s$  (CRUZ; MOTTA; MARINHO, 2019).

Esta decomposição possibilita quantificar os indicadores de produtividade ao longo do período, pois ressalta a distância entre a DMU e a fronteira de eficiência ( $EC$ ), e o nível de deslocamento da DMU nos períodos analisados ( $TC$ ).

No caso do valor do índice de Malmquist ser maior do que 1, corresponde uma melhora no desempenho em relação a períodos anteriores, no caso de valores inferiores a 1 corresponde queda no desempenho (Fare et al., 1994)

Para este trabalho, foram considerados somente os escores de eficiência obtidos no modelo com retornos constantes de escala (CCR), pois Pereira e Silveira (2016) ressaltam que o uso do modelo com retornos variáveis de escala não capta apropriadamente a influência das variações decorrentes dos efeitos de escala sobre a Produtividade Total dos Fatores (PTF).

As análises dos dados brutos foram realizadas no software R 4.02. Os *Inputs* número de máquinas e afins, área útil e número de pessoas ocupadas nas microrregiões foram comparados para cada ano (2006 e 2017) mediante um teste T pareado, e a comparação dos Escores entre os mesmos anos foi calculado usando um teste Wilcoxon pareado que analisa a igualdade entre as medianas das amostras.

Para a metodologia DEA e DEA-Malmquist, o software utilizado para o processamento dos dados foi o Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção aborda de início os dados secundários obtidos através do Censo Agropecuário dos anos 2006 e 2017, a fim de observar microrregiões com destaque negativo e positivo. Em seguida, são apresentados os resultados da modelagem DEA para os anos de 2006 e 2017. Por fim, são apresentados os resultados da metodologia DEA-Malmquist e a discussão acerca da mudança no cenário agropecuário



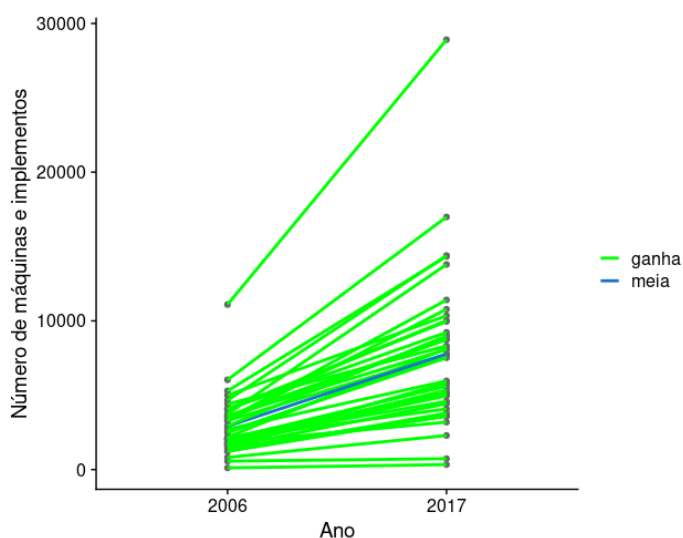
paranaense durante o período analisado.

## 5.1. ANÁLISE DOS DADOS SECUNDÁRIOS

Para compreensão dos resultados posteriores, esta primeira seção apresenta uma análise estatística descritiva das variáveis selecionadas em cada microrregião paranaense e comparando os anos de 2006 e 2017.

Estatisticamente, o número de máquinas agrícolas cresceu no Estado do Paraná como um todo ( $t = -9.10$ ,  $gl = 38$ ,  $p < 0.01$ ), entre 2006 (média = 2915,85, desvio padrão = 1907,18) e 2017 (média = 7767,33, desvio padrão = 5117,735). A Figura 7 apresenta o número de equipamentos nos dois anos analisados entre as 39 microrregiões do Estado, percebendo assim um crescimento unânime da frota, porém em magnitudes diferentes.

Figura 7 – Número de máquinas e implementos para o ano de 2006 e 2017 nas 39 microrregiões paranaenses.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE (2021).

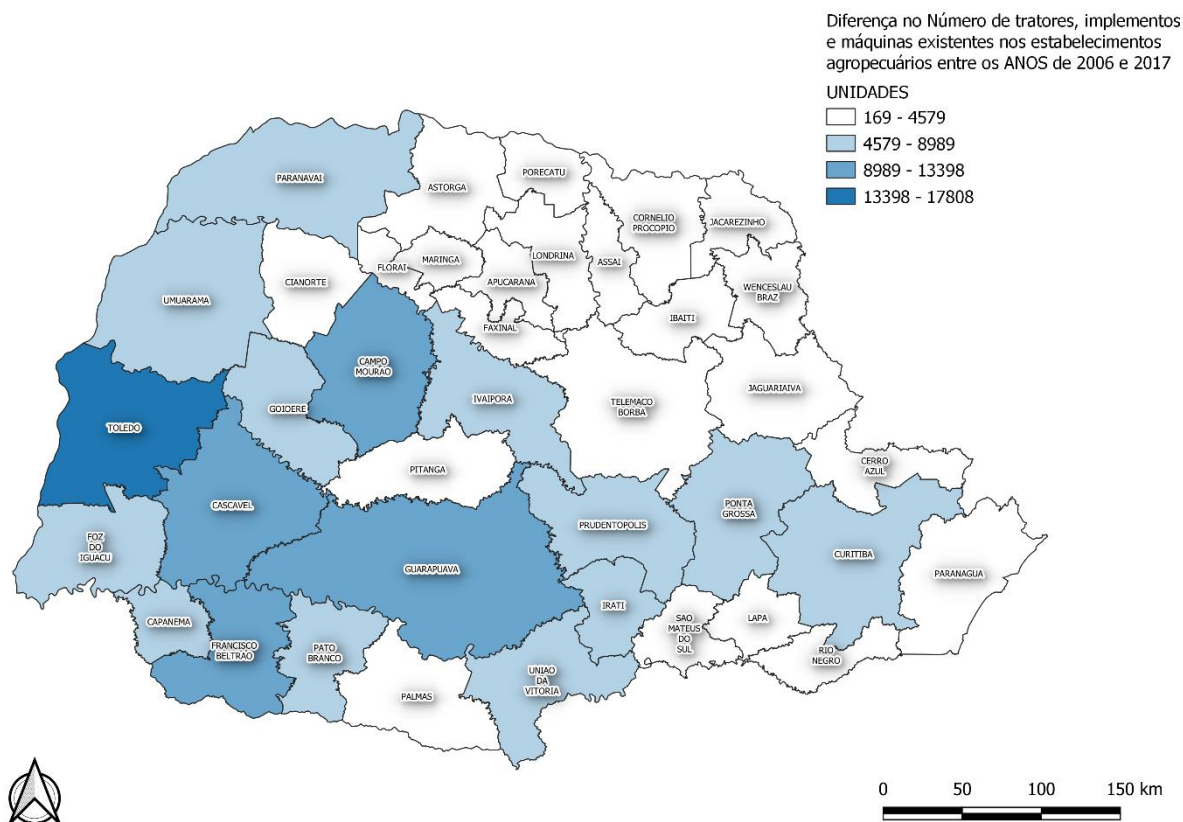
Uma das principais causas da diferença na aquisição de máquinas pode ser as variações no relevo das microrregiões. Com relevo plano a suavemente ondulado, as microrregiões de Cascavel, Francisco Beltrão e Toledo (Figura 8) tiveram acréscimo de mais de 10.000 equipamentos. Outro fator importante para o aumento da frota é a rotação de culturas e intensividade de cultivo. Locais onde se produzia

apenas uma safra, hoje se consegue produzir até três, conseqüentemente demandando mais maquinários (GALAFASSI; ALVES, 2021).

Comparadas com outras microrregiões, Cerro Azul e Paranaguá apresentaram um aumento mais tímido no número de máquinas, possivelmente por ambas apresentarem um relevo mais acentuado, dificultando a utilização delas em determinadas propriedades (GALAFASSI; ALVES, 2021).

Os investimentos do setor público em pesquisa e desenvolvimento fizeram com que surgissem máquinas mais modernas, mais precisas e mais eficientes no trabalho (GASQUES et al., 2013). Segundo Mendes, Teixeira e Salvato (2009) o incentivo à pesquisa proporciona uma melhora dos equipamentos utilizados no campo, além disso estimula outros setores a melhorarem, como é o caso dos investimentos em infraestrutura, que possuem papel relevante na produção agropecuária.

Figura 8 – Diferença no número de máquinas e implementos nas microrregiões do Estado do Paraná entre 2006 e 2017.

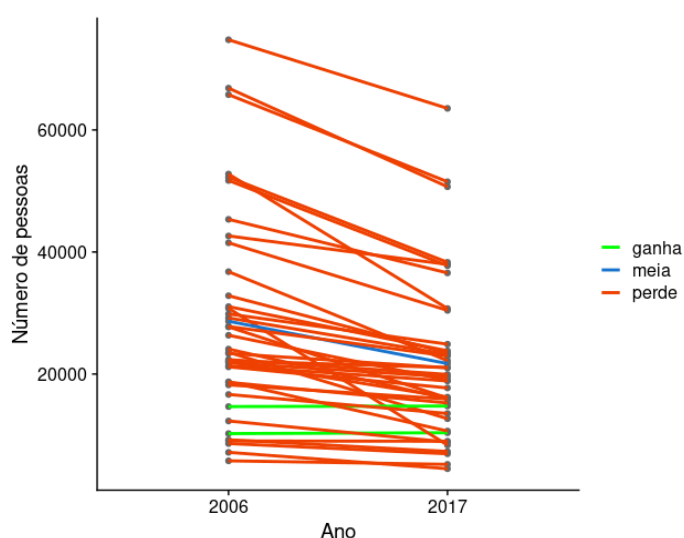


Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE (2021).

Já a ocupação de pessoas no campo estatisticamente diminuiu nas microrregiões paranaenses ( $t = 7.36$ ,  $df = 38$ ,  $p < 0.01$ ), entre 2006 (média = 28643,54, desvio padrão = 17122,72) e 2017 (média = 21708,77, desvio padrão = 13411,39).

A Figura 9 apresenta linhas que unem os dois pontos que correspondem ao número de pessoas ocupadas nos dois anos analisados, constatando o decréscimo em 37 microrregiões. Apenas 2 obtiveram acréscimo no número de trabalhadores.

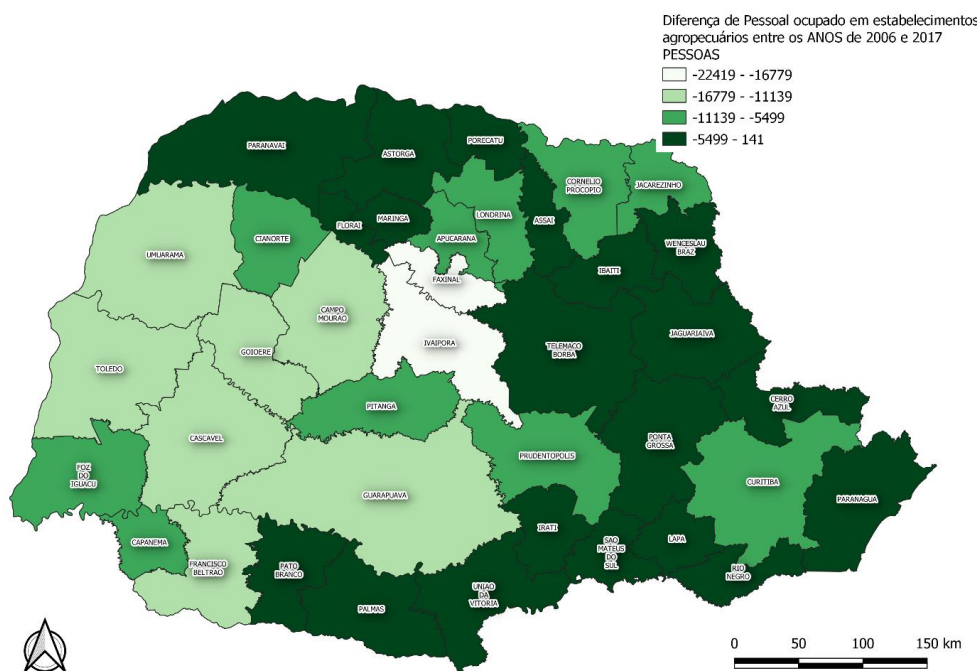
Figura 9 – Número de pessoas ocupadas para o ano de 2006 e 2017 nas 39 microrregiões paranaenses.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE (2021).

As duas microrregiões que mais perderam trabalhadores no campo foram Faxinal e Ivaiporã, com mais de 22.000 pessoas. Apenas duas microrregiões obtiveram ganho no número de trabalhadores, Assaí e Ibaiti (Figura 10).

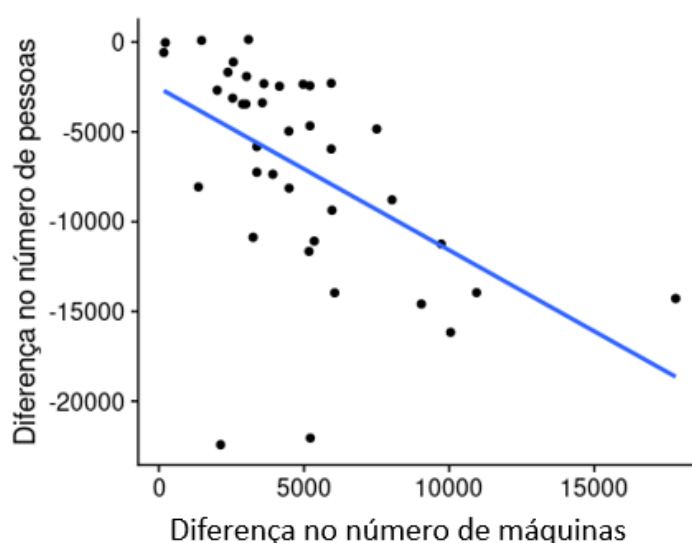
Figura 10 – Diferença no número de pessoas ocupadas nas microrregiões do Estado do Paraná entre 2006 e 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE (2021).

Observando a Figura 11, um dos fatores para a queda no número de pessoas ocupadas no campo pode ter sido a substituição do trabalho manual pelo trabalho mecânico. À medida que os anos foram avançando, as microrregiões foram adquirindo mais máquinas, diminuindo a necessidade da mão de obra (BACHA, 2018). Estatisticamente ( $F= 13,09$ ,  $R = 0,24$ ,  $p < 0,01$ ), quanto mais equipamentos a microrregião adquirir, maior tende a ser a queda no número de pessoas ocupadas, como demonstra a linha de tendência da Figura 11.

Figura 11 – Correlação entre o número de máquinas/implementos e o número de pessoas ocupadas nas 39 microrregiões paranaense.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE (2021).

A evolução da agricultura passa pela modernização das propriedades e com isso o êxodo rural se torna inevitável. No cenário nacional, algumas Políticas Públicas incentivaram a aquisição de máquinas e implementos, foi o caso do MODERFROTA que através de juros subsidiados possibilitaram que produtores pudessem se tecnificar. O que para o aumento da produtividade, como veremos a seguir, foi um sucesso, porém deixando a desejar em aspectos sociais, como a inclusão de pequenos produtores e trabalhadores rurais, os quais ficaram marginalizados as novas tecnologias (ALVES et al., 2013).

Com o aumento da demanda por mão de obra no meio urbano e na busca por melhores condições de vida, os pequenos produtores migram para as cidades, diminuindo a ocupação no campo. Como consequência, percebe-se uma maior concentração de terra e de renda (ALVES et al., 2013).

A grande questão é como estimular a permanência, principalmente dos jovens, no ambiente rural? A resposta passa pela qualidade de vida e bem-estar desta população. O acesso à internet se mostra imprescindível nos dias atuais, porém em 2017 apenas 43% das propriedades agropecuárias paranaenses possuíam este acesso. Podemos citar outros itens como: a diferença salarial do meio rural com o urbano, a sazonalidade das operações e o ambiente de trabalho muitas vezes

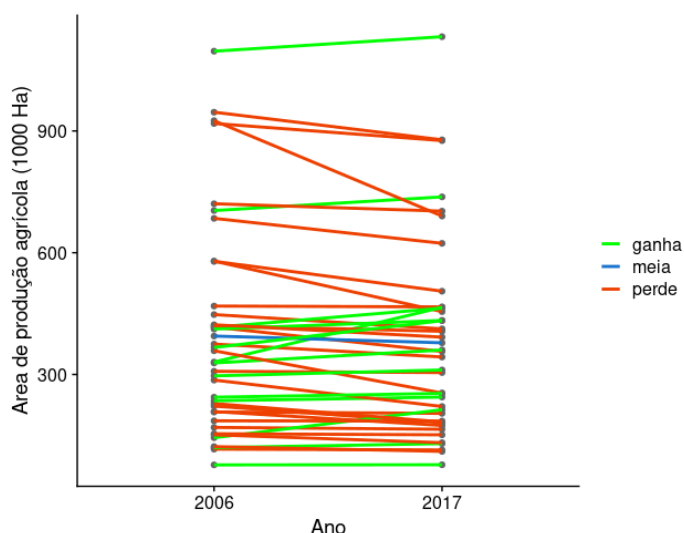
insalubre (IBGE, 2021; ALVES et al., 2013).

Segundo Alves et al. (2013), observando toda a cadeia que cerca a produção agropecuária, existe uma vasta demanda por mão de obra antes da porteira e depois dela. Segundo os mesmos autores, o agronegócio foi responsável, em 2011, por 36% dos empregos, ou seja, enquanto ocorre a diminuição do número de pessoas ocupadas no meio rural, oportunidades surgem nas indústrias de máquinas agrícolas e abatedores de aves e suínos, por exemplo.

Já a “área útil dos estabelecimentos” se manteve estatisticamente igual no Estado do Paraná ( $t = 1.73$ ,  $gl = 38$ ,  $p = 0.09$ ), entre 2006 (média = 394661,2 ha, desvio padrão = 258295,3 ha) e 2017 (média = 377999,1 ha, desvio padrão = 243909,1 ha), conseqüentemente percebe-se que as áreas de vegetação nativa se mantiveram inalteradas, como resultado não houve supressão destas áreas durante o período analisado. O Estado soube equalizar áreas de desmatamento com as áreas de reflorestamento natural e as áreas de exploração econômica.

A Figura 12 apresenta linhas que unem os dois pontos que correspondem a área útil dos estabelecimentos agropecuários, em cada microrregião, nos anos de 2006 e 2017, percebendo a inexistência de um padrão geral entre elas.

Figura 12 – Área útil dos estabelecimentos para o ano de 2006 e 2017 nas 39 microrregiões paranaenses.

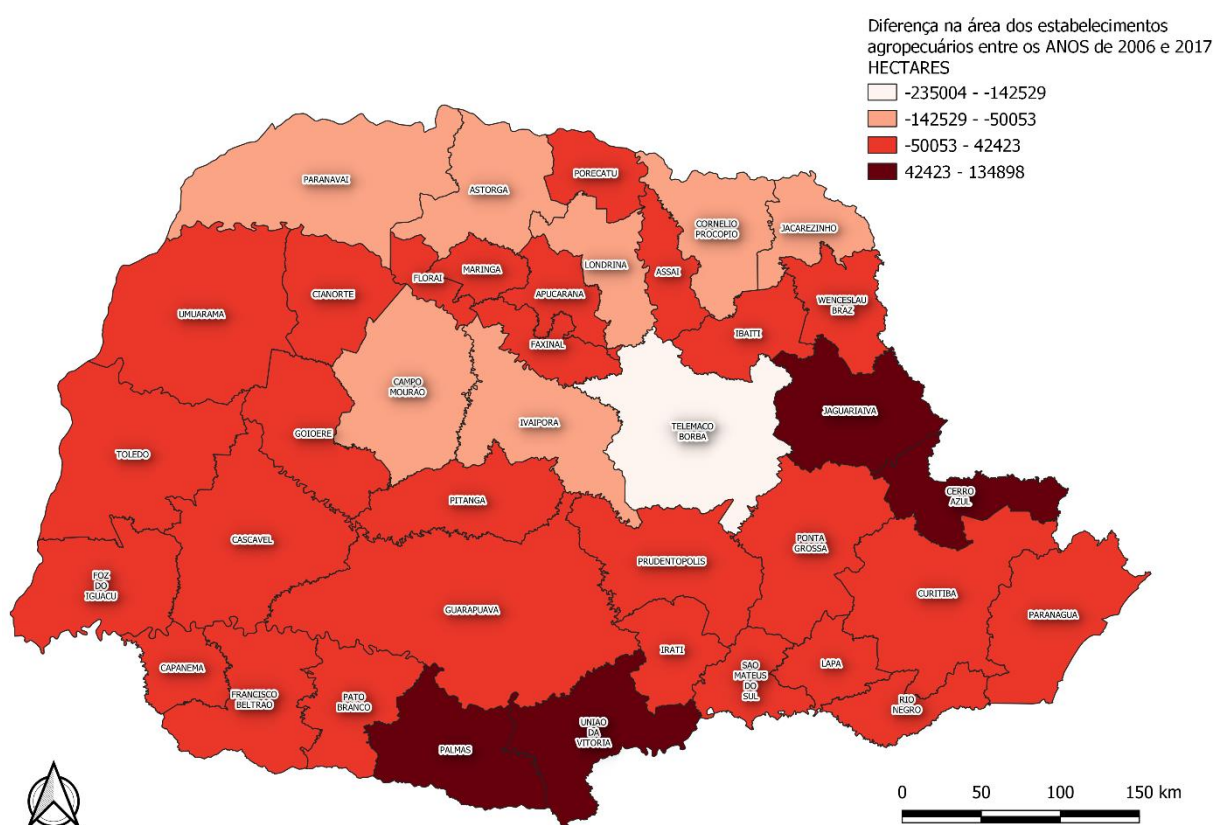


Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE (2021).

As microrregiões de Cerro Azul e União da Vitória tiveram aumento superior a 50 mil hectares no período analisado, em função da substituição na utilização de

áreas abandonadas e de vegetação nativa para o uso agropecuário. Já as microrregiões de Astorga, Londrina e Telêmaco Borba diminuíram suas áreas úteis em mais de 10 mil hectares, havendo um acréscimo das áreas de reserva legal e de preservação permanente nestas localidades, como demonstra a Figura 13.

Figura 13 – Diferença na área útil dos estabelecimentos agropecuários nas microrregiões do Estado do Paraná entre 2006 e 2017.



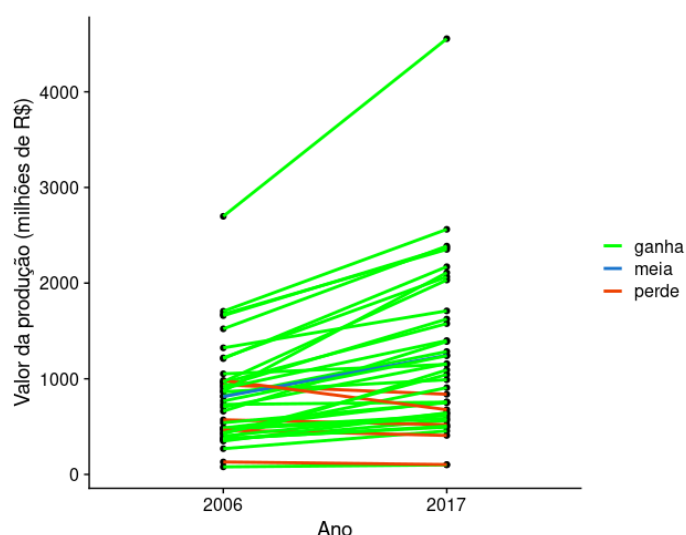
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE (2021).

Mesmo havendo uma manutenção da área útil explorada no Estado, comparando os anos de 2006 e 2017, foi constatada uma concentração fundiária de terras. No ano de 2006, a média de hectares em uma propriedade agropecuária no Paraná era de 41,48, já, em 2017, esse número foi para 48,30 ha (IBGE, 2021).

A concentração de terras sempre foi um dilema para o Poder Público, que enxerga o problema de forma minimalista, sendo resolvido apenas com a reforma agrária, deixando de lado medidas sociais de acesso às tecnologias e à assistência técnica, causando o êxodo rural como visto anteriormente (MA et al., 2017; ALVES et al., 2013).

Por fim, a variável “valor da produção agropecuária” aumentou estatisticamente nas microrregiões paranaenses ( $t = -6.27$ ,  $df = 38$ ,  $p < 0,01$ ), entre 2006 (média = 813783,1 milhares de reais, desvio padrão = 525021,6) e 2017 (média = 1245779 milhares de reais, desvio padrão = 873349,2). A Figura 14 apresenta linhas que unem os dois pontos que correspondem ao valor da produção nos dois anos analisados. Porém, observando a Figura 15, as microrregiões de Apucarana, Porecatu e Lapa apresentaram queda no valor da produção agropecuária comparando 2006 e 2017. Já as microrregiões de Toledo, Telêmaco Borba e Umuarama foram as que mais aumentaram seus valores de produção. Os principais fatores observados para tais variações podem estar relacionados com o tipo de cultura agrícola ou exploração pecuária da microrregião e o mercado consumidor. Condições climáticas favoráveis a exploração de determinada cultura aumenta a produção da microrregião e consequentemente aumento da receita. Por outro lado, quando ocorrem frustrações durante a safra a produção tende a cair, diminuindo a receita obtida. Culturas ou explorações que possuem maior valor de mercado elevam a receita da microrregião, como é o caso de Toledo, que possui o maior rebanho de aves e suínos do Paraná (BACHA, 2018; CHADDAD, 2017).

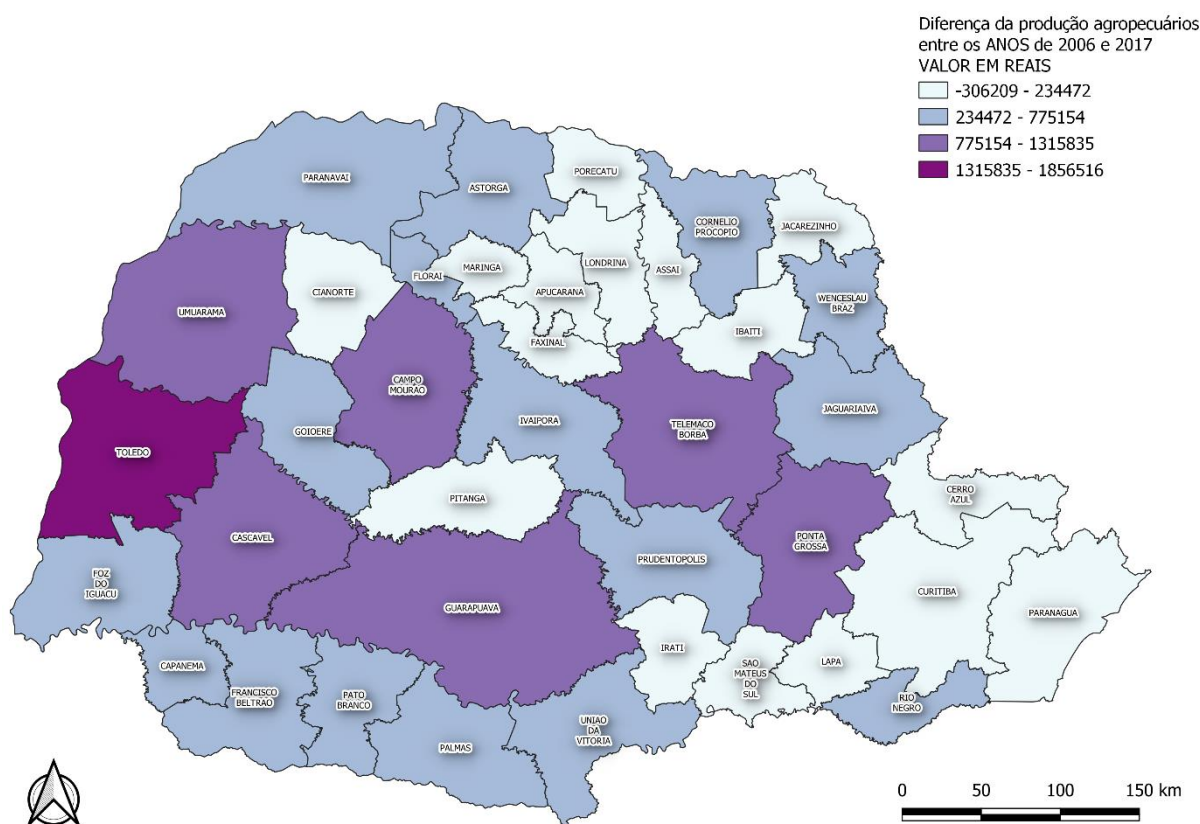
Figura 14 – Valor da produção para o ano de 2006 e 2017 nas 39 microrregiões paranaenses.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE (2021).



Figura 15 – Diferença do valor da produção agropecuária (em reais) nas microrregiões do Estado do Paraná entre 2006 e 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE (2021).

O aumento do valor da produção agropecuária no Estado se deve principalmente a três eventos internacionais: (i) o aumento da demanda por alimentos nos países asiáticos; (ii) a redução mundial na oferta de commodities (principalmente milho), ocasionada pela implantação de programas para produção de bioenergia nos Estados Unidos e Europa; (iii) elevação dos preços dos produtos agrícolas nas bolsas de valores. Percebendo esses três cenários se intensificando, o governo brasileiro não apontou restrições as exportações, como percebido em outros países, conseqüentemente isso aumentou a receita das microrregiões e por outro lado encareceu os produtos internamente (ALVES et al., 2013; BACHA, 2018).

Correlacionando a diminuição do número de pessoas ocupadas no campo e o aumento no valor da produção, é possível afirmar uma elevação da produtividade por trabalhador. Tendência apontada nos trabalhos de Fuglie, Wang e Ball (2012) e Gasques et al. (2013), que observaram que o cenário brasileiro possuía propensão a queda da mão de obra rural, chegando ao dobro da média mundial na relação

produção e trabalho, muito em função do uso de fertilizantes, defensivos químicos e máquinas mais eficientes.

## 5.2. EFICIÊNCIA DAS MICRORREGIÕES PARANAENSES (2006 E 2017)

Através das 39 microrregiões paranaenses, executou-se a modelagem DEA, avaliando os índices de Eficiência Técnica para o ano de 2006. O Quadro 3 traz os resultados, onde nove microrregiões apresentaram índices sob a fronteira de eficiência, ou seja, são consideradas eficientes tecnicamente para o ano de 2006, utilizando de maneira satisfatória os insumos a fim de obter a máxima produtividade, são elas: Porecatu, Cerro Azul, Cianorte, Astorga, Jaguariaíva, Paranavaí, Toledo, Francisco Beltrão e Ponta Grossa. Já União da Vitória e Ivaipõra obtiveram índices inferiores a 0,4, sendo estas consideradas as menos eficientes para o ano de 2006.

Quadro 3 – Resultados da modelagem DEA para o ano de 2006.

Município	Escore 2006	Município	Escore 2006
União da Vitória (PR)	0,326	Floraí (PR)	0,666
Ivaiporã (PR)	0,388	Cascavel (PR)	0,669
Goioerê (PR)	0,448	Irati (PR)	0,695
Assaí (PR)	0,45	Guarapuava (PR)	0,7
Paranaguá (PR)	0,451	Faxinal (PR)	0,759
Curitiba (PR)	0,473	Telêmaco Borba (PR)	0,807
Palmas (PR)	0,481	Lapa (PR)	0,821
Rio Negro (PR)	0,49	Foz do Iguaçu (PR)	0,823
Capanema (PR)	0,496	Apucarana (PR)	0,951
Wenceslau Braz (PR)	0,503	Londrina (PR)	0,967
Jacarezinho (PR)	0,505	Porecatu (PR)	1
Campo Mourão (PR)	0,508	Cerro Azul (PR)	1
São Mateus do Sul (PR)	0,512	Cianorte (PR)	1
Cornélio Procópio (PR)	0,537	Astorga (PR)	1
Pato Branco (PR)	0,549	Jaguariaíva (PR)	1
Prudentópolis (PR)	0,556	Paranavaí (PR)	1
Ibaiti (PR)	0,615	Toledo (PR)	1
Umuarama (PR)	0,627	Francisco Beltrão (PR)	1
Pitanga (PR)	0,652	Ponta Grossa (PR)	1
Maringá (PR)	0,652		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando o Quadro 4, os índices de Eficiência Técnica para o ano de 2017 apresentaram como resultado apenas duas microrregiões sob a fronteira, Floraí e

Telêmaco Borba. Por se tratar de uma modelagem comparativa, nenhuma das 9 microrregiões consideradas eficientes tecnicamente para o ano de 2006 mantiveram seus índices para 2017. Porecatu, por exemplo, apresentou índice 1 para 2006 e 0,489 para 2017, explicada pela queda do valor da produção observado no período.

A terceira microrregião com melhor índice de eficiência para o ano de 2017 foi Jaguariaíva com 0,908, na sequência, vem Ponta Grossa com 0,701, diferença de escore de 0,198, indicando que as três principais microrregiões estão bem acima das demais, se destacando positivamente durante o ano de 2017.

Quadro 4 – Resultados da modelagem DEA para o ano de 2017.

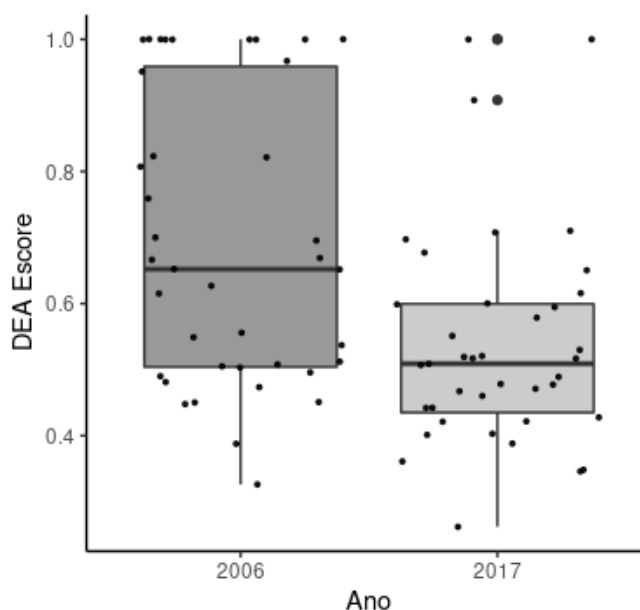
Município	Escore 2017	Município	Escore 2017
Curitiba (PR)	0,262	Cascavel (PR)	0,517
Irati (PR)	0,346	Apucarana (PR)	0,517
São Mateus do Sul (PR)	0,348	Campo Mourão (PR)	0,519
Paranaguá (PR)	0,361	Londrina (PR)	0,521
Capanema (PR)	0,388	Cornélio Procópio (PR)	0,53
Assaí (PR)	0,401	Jacarezinho (PR)	0,551
Lapa (PR)	0,403	Foz do Iguaçu (PR)	0,579
Pitanga (PR)	0,421	Cianorte (PR)	0,595
Ivaiporã (PR)	0,422	Goioerê (PR)	0,599
Pato Branco (PR)	0,428	Umuarama (PR)	0,6
União da Vitória (PR)	0,442	Francisco Beltrão (PR)	0,616
Prudentópolis (PR)	0,442	Cerro Azul (PR)	0,65
Wenceslau Braz (PR)	0,46	Toledo (PR)	0,677
Maringá (PR)	0,467	Astorga (PR)	0,697
Palmas (PR)	0,471	Paranavaí (PR)	0,708
Faxinal (PR)	0,477	Ponta Grossa (PR)	0,71
Guarapuava (PR)	0,478	Jaguariaíva (PR)	0,908
Porecatu (PR)	0,489	Floraí (PR)	1
Ibaiti (PR)	0,507	Telêmaco Borba (PR)	1
Rio Negro (PR)	0,509		

Fonte: Elaborado pelo autor.

A eficiência técnica diminuiu estatisticamente entre os períodos ( $V= 675$ ,  $p < 0,01$ ) do ano 2006 (média= 0,7, desvio padrão = 0,22) e 2017 (média= 0,54, desvio padrão = 0,16). Porém, em um contexto geral, não é possível afirmar que as microrregiões pioraram em eficiência técnica comparando o período analisado, apenas ocorreu uma melhora em eficiência por parte de algumas microrregiões, deslocando a fronteira para patamares maiores. Através do Boxplot (Figura 16), que compara os escores de eficiência técnica entre 2006 e 2017, o tamanho dos retângulos indicam a proximidade dos dados obtidos, sendo assim, os scores das

microrregiões para o ano de 2017 foi mais concentrado comparativamente com 2006, indicando uma proximidade nos valores. Também foi possível observar que o valor mediano do ano 2006 (0,7) foi superior ao apresentado em 2017 (0,54), indicando que as microrregiões de Florai, Telêmaco Borba e Ponta Grossa foram muito superiores tecnicamente do que as demais no ano de 2017.

Figura 16 – Boxplot com os escores DEA para os anos de 2006 e 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Avila, Garagorry e Cardoso (2013), a diferença em eficiência técnica em dois períodos isolados é natural, visto as variações internas de cada DMU, sendo um retrato do cenário estudado. As Unidades se adaptam as demandas mercadológicas, alteram insumos inerentes à produção e modificam a utilização das áreas úteis, de pastagem para culturas anuais, por exemplo, o que pode ou não conferir maior valor de produção.

### 5.3. COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA DAS MICRORREGIÕES PARANAENSES (2006 E 2017)

Através do método DEA-Malmquist foi desenvolvido o Quadro 5, exibindo que apenas duas microrregiões tiveram ganho em eficiência entre os anos de 2006 e 2017, Floráí e Goioerê. A Figura 17, apresenta o Boxplot do Índice DEA-Malmquist, a linha central dentro do retângulo exibe o valor mediano (0,59) obtido pelas microrregiões do estado. As bordas superior e inferior do retângulo mostram os quartis 75 e 25 respectivamente, e as caudas mostram o comprimento da distribuição dos escores. A linha vermelha indica o valor limite para o aumento da eficiência. Os pontos acima dessa linha representam as microrregiões que tiveram um aumento na eficiência.

Quadro 5 – Resultados do Índice de Malmquist (IM), das Alterações na Eficiência (AE) e das Alterações Tecnológicas (AT) para as 39 microrregiões paranaenses.

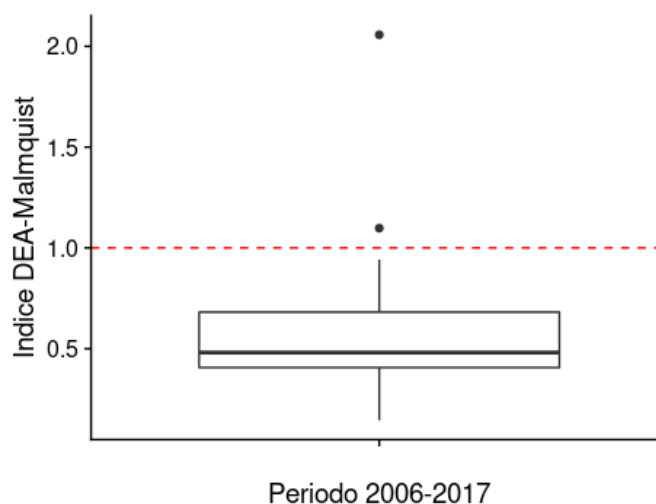
Município	IM	AE	AT
Apucarana (PR)	0,461	0,544	0,847
Assaí (PR)	0,747	0,892	0,838
Astorga (PR)	0,454	0,697	0,652
Campo Mourão (PR)	0,942	<b>1.021</b>	0,923
Capanema (PR)	0,48	0,781	0,615
Cascavel (PR)	0,609	0,772	0,789
Cerro Azul (PR)	0,145	0,65	0,223
Cianorte (PR)	0,376	0,595	0,633
Cornélio Procopio (PR)	0,853	0,988	0,863
Curitiba (PR)	0,437	0,554	0,788
Faxinal (PR)	0,451	0,629	0,717
Floráí (PR)	<b>2.057</b>	<b>1.502</b>	<b>1.370</b>
Foz do Iguaçu (PR)	0,642	0,704	0,913
Francisco Beltrão (PR)	0,36	0,616	0,585
Goioerê (PR)	<b>1.098</b>	<b>1.336</b>	0,822
Guarapuava (PR)	0,4	0,683	0,585
Ibaiti (PR)	0,397	0,825	0,481
Irati (PR)	0,4	0,497	0,803
Ivaiporã (PR)	0,644	<b>1.086</b>	0,593
Jacarezinho (PR)	0,684	<b>1.091</b>	0,627

Município	IM	AE	AT
Jaguariaíva (PR)	0,599	0,908	0,659
Lapa (PR)	0,394	0,492	0,802
Londrina (PR)	0,404	0,539	0,75
Maringá (PR)	0,679	0,717	0,948
Palmas (PR)	0,671	0,979	0,686
Paranaguá (PR)	0,374	0,8	0,467
Paranavaí (PR)	0,442	0,708	0,625
Pato Branco (PR)	0,604	0,779	0,776
Pitanga (PR)	0,364	0,646	0,564
Ponta Grossa (PR)	0,481	0,71	0,678
Porecatu (PR)	0,426	0,489	0,871
Prudentópolis (PR)	0,481	0,794	0,606
Rio Negro (PR)	0,723	<b>1.040</b>	0,695
São Mateus do Sul (PR)	0,409	0,68	0,601
Telêmaco Borba (PR)	0,766	<b>1.240</b>	0,618
Toledo (PR)	0,707	0,677	<b>1.045</b>
Umuarama (PR)	0,563	0,957	0,589
União da Vitória (PR)	0,905	<b>1.356</b>	0,667
Wenceslau Braz (PR)	0,508	0,915	0,556

Fonte: Elaborado pelo autor.

Das 39 microrregiões analisadas, só duas tiveram uma melhora na eficiência técnica (índice DEA-Malmquist > 1): Floráí e Goioerê (Figura 17).

Figura 17 – Boxplot com os escores DEA-Malmquist.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Floraí com escore de 2,057 foi a que mais se destacou no período analisado. A área útil dos estabelecimentos da microrregião diminuiu em 2.038 ha, as pessoas ocupadas também reduziram em 2.680. Com aumento de apenas 2.005 equipamentos, o insumo de máquinas e implementos foi o que obteve maior relevância, sendo classificado como a quinta microrregião com menor aumento. Em relação ao valor da produção, Floraí obteve o nono maior aumento em comparação com as demais, demonstrando a eficiência técnica da microrregião para aumentar o *output* aumentando minimamente o *input* das máquinas e implementos.

A microrregião de Goioerê, por sua vez, apresentou escore de 1,098, aumentando o número de máquinas e implementos em 5.174 unidades e diminuindo o número da área útil em 35.153 ha. O insumo pessoas ocupadas foi o que mais se destacou, com decréscimo de 11.655 trabalhadores, sendo a microrregião classificada como a oitava maior diferença. O valor do *output* também foi relevante, sendo o décimo primeiro maior aumento.

A microrregião de Campo Mourão com score de 0,942 também se destacou positivamente. Ela apresentou a quarta maior queda no número de pessoas ocupadas (14.583 pessoas) e a sétima maior queda em área útil (61.571). Mesmo com o quarto maior aumento no valor da produção e números expressivos nos dois *inputs* já citados, a microrregião obteve o quinto maior aumento na frota de máquinas e equipamentos (9.044 unidades), o que comparativamente prejudicou o desempenho em eficiência técnica durante o período.

Por outro lado, a microrregião de Cerro Azul obteve o pior escore (0,145). Considerada eficiente tecnicamente segundo a modelagem DEA para o ano de 2006, a microrregião praticamente triplicou a frota de máquinas e implementos, de 113 unidades para 335, e o segundo maior aumento em área útil dos estabelecimentos, o que não se refletiu no valor da produção, obtendo o pior aumento comparando as outras microrregiões que tiveram balanço positivo durante o período.

Outra microrregião considerada eficiente tecnicamente, segundo a modelagem DEA para o ano de 2006, era Francisco Beltrão, que obteve o segundo menor escore no índice DEA-Malmquist. A microrregião aumentou em mais de três vezes o número de máquinas e implementos, figurando com o terceiro maior aumento na frota (10.052 unidades), além de ser a segunda com maior queda no número de pessoas ocupadas (16.161 pessoas), não refletindo no valor da produção, computando apenas o décimo segundo maior aumento.

Não foi possível atribuir um padrão ou uma tendência que explique as variações do *output* e dos *inputs* com fatos ocorridos nas microrregiões, uma vez que fatores internos, pontuais e não mensurados na literatura podem afetar de forma significativa os indicadores. Podemos citar dentre alguns dos fatores internos a variação de preço, melhoria ou piora na infraestrutura, criação ou extinção de unidades processadoras e fábricas de equipamentos. Além de outros fatores externos que afetam regiões mais especializadas em determinados produtos, como crises econômicas nacionais e mundiais (GALAFASSI; BEBBER; SHIKIDA, 2020).

Porém, a literatura nos conduz a casos genéricos para possíveis causas do mal desempenho pela maioria das microrregiões paranaenses em eficiência técnica durante os anos de 2006 e 2017. Segundo Alves, Souza e Rocha (2012), no ano de 2006, 55,64% dos estabelecimentos agropecuários brasileiros possuíam renda líquida negativa, ou seja, não obtinham lucro em suas atividades, sendo mal geridos e mal administrados, dependendo de forma errada os insumos em relação à produtividade obtida. Mesmo sendo considerados tecnificados, os produtores malsucedidos tomam decisões equivocadas e conseqüentemente geram erros nas operações.

Os dados brutos nos mostram que o aumento da produtividade teve por base a influência do capital. Tecnologias que foram inseridas ao processo produtivo foram determinantes para o aumento da produtividade, deixando de lado a terra e o trabalho como sendo os principais fatores produtivos. Porém, ocorrem falhas nos mecanismos de difusão da tecnologia, não a convertendo em aumento de eficiência técnica.

(SOUZA et al., 2013).

As tecnologias são desenvolvidas pela pesquisa científica e difundida pelos profissionais das assistências técnicas. Segundo Souza et al. (2013), a maioria das tecnologias desenvolvidas para a agropecuária são democráticas, produtores de diferentes tamanhos conseguem adquirir essas novas tecnologias. Entretanto, existe um arcabouço de como utilizá-las, pois somente os produtores com maior renda bruta conseguem ser assistidos por profissionais especializados tecnicamente e administrativamente, convertendo os investimentos em tecnologias em aumento de eficiência técnica.

Tais fatores geram um ciclo vicioso, pois pequenos produtores sem amparo técnico não conseguem utilizar da melhor maneira as tecnologias disponíveis, posteriormente não crescem e ganham produtivamente em escala. Sem escala, são ineficientes tecnicamente, pois não utilizam corretamente os fatores de produção, pagam mais pelos insumos e recebem menos por seus produtos e assim sucessivamente (ALVES; SILVA, 2013).

É papel dos profissionais da assistência técnica e extensão rural (ATER) auxiliar o produtor de forma justa e correta, como por exemplo: facilitar o acesso ao crédito rural; orientar na gestão das propriedades; difundir novas tecnologias, visando o aumento da eficiência e de forma sustentável, em concordância ambiental, social e econômica; garantir o controle de pragas, doenças e plantas daninhas; conduzir a colheita; e finalmente, direcionar o pós-colheita. Com todas essas demandas, uma assistência técnica de qualidade poderia garantir ao produtor muito mais do que ganhos financeiros, seria capaz também de melhorar a qualidade de vida destes indivíduos (OLIVEIRA, 1999).

Porém, no ímpeto de vender mais e com o incentivo de ganho percentual em cada venda, o profissional das ciências agrárias que assiste ao produtor não se atenta aos princípios básicos da produção sustentável, tais quais, economicamente viável, socialmente justo e ambientalmente correto. Isso ocasiona inúmeros problemas. Segundo Buralli (2016), o produtor rural e seus familiares possuem baixa percepção ao risco que os defensivos químicos podem causar ao meio ambiente e a saúde humana, concomitantemente eles negaram que tivessem recebido qualquer orientação técnica sobre como aplicá-los, a quantidade ideal a ser aplicada e a necessidade do uso de equipamentos de proteção individual.

A metodologia adotada pela ATER no Paraná sempre foi pautada pelo



difusionismo de conceitos e informações, visando basicamente o ganho em produtividade. Aspectos estes que sempre foram criticados por serem insustentáveis. É inegável que mesmo sendo uma atividade que fere alguns princípios éticos, o assistente técnico “vendedor” por muitas vezes é o único contato do produtor rural com um *expert* (OLIVEIRA, 1999; DUARTE; CASTRO, 2004).

Muitos profissionais das ciências agrárias aprendem o básico nas Universidades e Escolas Técnicas, indo aprofundar seus conhecimentos no próprio mercado de trabalho. Ocorrendo uma demanda por esta última parte para vender produtos e cumprir metas, não se dedicando realmente a ATER continua e frequente. Por outro lado, as assistências técnicas públicas sofrem com a falta de verba, de metas e de planos adequados (ALVES; SILVA, 2013).

No ano de 2010, o Governo Federal criou a PNATER (Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural para a Agricultura Familiar e Reforma Agrária) e o PRONATER (Programa Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural na Agricultura Familiar e na Reforma Agrária). Estes aparatos governamentais surgiram da demanda dos produtores, das universidades e das cooperativas que careciam de metas e planos para a ATER no Brasil. Muito mais do que uma lei federal a PNATER fez com que toda a cadeia do agronegócio pensasse junta e expusessem problemas para serem solucionados, principalmente na transferência de novas tecnologias (CASTRO; PEREIRA, 2017).

A dificuldade das políticas rurais ainda persiste na falta de conectividade entre elas. Não basta a criação de uma política de extensão rural sem uma política educacional por traz. Segundo Laforga e Vieira (2008) e Peixoto (2020) o baixo nível de escolaridade das famílias se torna um empecilho no processo de acesso e assimilação das tecnologias, persistindo a baixa produtividade e a pobreza no campo. Além disso, especificamente a PNATER, traz como se a solução dos diversos problemas dos produtores rurais fosse sanada apenas com a implantação de alguns sistemas de produção particulares, como a agroecologia. Pensar que doutrinas desta natureza são a chave dos inúmeros problemas fere o princípio básico proposto pela própria política, de criar o desenvolvimento sustentável, que somente o técnico, conhecedor do ambiente regional, analisando os aspectos inerentes ao espaço produtivo e a conjuntura econômica atual, pode determinar qual o melhor processo e meio produtivo para aquele momento e para aquele produtor rural. Estipular em uma normativa que se deve adotar uma medida “milagrosa” ao combate da desigualdade

no campo é o mesmo que estipular um medicamento milagroso para todas as doenças do mundo (ABRAMOVAY, 2007).

Segundo Vieira Filho (2013), existem relações equivalentes entre agricultores ineficientes tanto em âmbito familiar quanto empresarial, pois alguns cultivos possuem maior sucesso em larga escala enquanto outros em menor. Por isso, a divisão dos produtores em grupos, com o intuito de elaborar Políticas Públicas específicas é um erro, pois o agronegócio é uma cadeia com diversos agentes sem um polo centralizador, ou seja, todos possuem o mesmo nível de importância. A ausência de um romperia o ciclo e, conseqüentemente, os agentes a montante e a jusante do processo precisariam se ajustar estrategicamente. Desta maneira, deve-se analisar o agro de forma holística, sem rompimentos e divisões, pois não existe repartições na utilização e produção de insumos e alimentos na agropecuária. O agronegócio engloba pequenos, médios e grandes produtores, engloba também as indústrias de adubos, defensivos e máquinas agrícolas, e no pós-colheita envolve o varejista, o atacado, a indústria processadora e o consumidor final (ZYLBERSZTAJN, 2002).

A extensão rural influencia positivamente nos índices de eficiência, como percebido nos trabalhos de Balogun et al. (2018), Ali e Kpakpabia (2019), Ngango e Kim (2019), Tenaye (2020), Bahta, Jordaan e Sabastain (2020), Anang, Alhassan e Abbeam (2020). Sendo a assistência atrelada também na obtenção de renda líquida positiva, gerindo administrativamente o empreendimento.

Os estudos desenvolvidos por Alves e Silva (2013), concluíram que os agentes que possuíam ATER frequentem, continuada e de qualidade foram capazes de se adaptar as complexidades do mercado consumidor, ajustando melhor as tecnologias de produção, melhorando índices econômicos e sociais, o que conseqüentemente interfere diretamente na renda do produtor. Para eles, os pequenos produtores têm dificuldades em ter acesso contínuo a ATER, seja por falta de recursos financeiros ou falta de interesse dos técnicos em assistir essa classe, o que gera uma imperfeição de mercado.

A adoção de novas tecnologias, no caso deste trabalho percebida com o aumento da frota de máquinas agrícolas, impulsionou o setor agropecuário, através do aumento da produtividade, porém não sendo correspondida em eficiência técnica. O entendimento é de que houve uma expressiva divulgação da tecnologia, porém sem o devido estudo técnico viável ou ainda sem o devido assistencialismo especializado. Por isso, a pesquisa e a extensão rural devem caminhar juntas, observar rápidas

transformações nos cenários produtivos e combater distúrbios na comunicação (ALVES et al., 2013; SOUZA et al., 2013).

Com a intenção de aumentar a eficiência técnica nas microrregiões do Estado, sugere-se intensificar ações dividindo as propriedades rurais em dois grupos: (i) propriedades improdutivas e (ii) propriedades especulativas. Para o primeiro grupo são necessárias ações que aumentem a capacidade produtiva, através da educação e serviços de extensão rural, com a intenção de tecnificar os produtores. Para o segundo grupo, aqueles que mesmo já tecnificadas, não possuem a capacidade de gerenciar os recursos disponíveis, por isso ações que vissem o associativismo, cooperativismo e auxílio técnico financeiro são a melhor saída (VIEIRA FILHO, 2013).

A ideia das Políticas Públicas de que a ATER haja apenas como vendedora da tecnologia deve ser repensada, mudando o paradigma para uma ATER que possa reunir os produtores, ajudá-los na formação de cooperativas e possibilitar que eles possam crescer com sustentabilidade (PEIXOTO, 2020).

Segundo Taveira e Oliveira (2008), o produtor rural, sem o sistema organizacional e cooperativo, acaba transferindo para o técnico a responsabilidade de lutar pelos seus direitos. O agricultor, como outras profissões, não vê que a luta de classe através da participação em associações e sindicatos contribui para a solução de problemas e o sucesso da atividade. Muitos deles acabam abandonando as organizações representativas, o que enfraquece o movimento e o individualiza, servindo como ponto político para um pequeno grupo, e não mais para o coletivo.

Segundo Alves, Santana e Contini (2016) o papel atual da ATER no Brasil é reduzir as imperfeições que o mercado agropecuário impõe, transformando a propriedade rural em uma empresa profissional. O ponto principal argumentado por estes autores é de que o assistente técnico deve auxiliar o produtor de forma com que ele possa se organizar e se tornar competitivo no mercado. Não basta o agricultor dispor do melhor equipamento, das melhores máquinas, dos melhores insumos se a eficiência técnica for comparativamente menor do que a dos outros agentes, ou ainda ter piorado com o passar dos anos. É perceptível que as microrregiões mais tecnificadas aumentaram suas produtividades, porém é necessário que elas incorporem a tecnologia e colham resultados positivos no que diz respeito a eficiência técnica.

Segundo Abramovay (2007), a criação de parâmetros capazes de avaliar o assistente técnico agropecuário deve ser pautada por questões territoriais e não

setoriais, ou seja, pautadas pela proporcionalidade dele em aumentar a qualidade de vida no campo e o desenvolvimento rural, não sendo exclusivamente pautada pelo aumento da produtividade. O processo de desenvolvimento rural, antes de mais nada, deve passar por três princípios básicos: garantir o acesso ao crédito, terra e conhecimento; adaptar-se as mudanças e o dinamismo econômico; e buscar inovação técnica, social e organizacional.

Estes processos de avaliação da ATER ficam mais complicados quando analisamos as diferentes organizações que prestam esses serviços, tais como empresas públicas federais, estaduais e municipais, organizações não governamentais, cooperativas, revendas de insumos, empresas privadas e outras. Com isso existe uma enorme diferença na metodologia de trabalho, área de abrangência e capacitação técnica entre elas. No final, além da dificuldade em avaliar esses meios, o produtor tem dificuldade em saber em quem confiar. Daí a necessidade novamente do Estado em organizar e fazer cumprir regras do processo, de forma mínima (DUARTE; SILIPRANDI, 2006).

Segundo Vieira Filho (2013), a desapropriação e conseqüente redistribuição de terras devem ser pautadas em conjunto com Políticas Públicas que garantam a assistência técnica, fazendo com que o produtor rural absorva e associe a tecnologia proposta, e fatores que melhorem as condições de vida no campo, como saúde e educação.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O Objetivo deste trabalho foi investigar a eficiência técnica nas microrregiões do estado do Paraná no setor agropecuário, para isso utilizou-se a metodologia DEA e DEA-Malmquist.

Analisando os dados secundários, foi possível identificar que o número de máquinas e implementos entre 2006 e 2017 cresceu no Estado do Paraná, com os maiores aumentos sendo percebidos nas microrregiões favoráveis a mecanização, com solos planos a suavemente ondulados, como Cascavel, Francisco Beltrão e Toledo. Por outro lado, o número de pessoas ocupadas no campo diminuiu estatisticamente no Estado durante o período, observando assim uma relação inversa entre máquinas e mão de obra.

Outro dado secundário observado foi a área útil dos estabelecimentos agropecuários que se manteve igual estatisticamente entre 2006 e 2017. Já o valor da produção agropecuária aumentou estatisticamente no mesmo período, indicando que o Estado como um todo cresceu verticalmente, aumentando o valor da produção por quantidade de área explorada. Cabe-se destacar a microrregião de Toledo, que obteve o maior crescimento no valor da produção comparando-a com as demais, isso em função da exploração de produtos versáteis e com alto valor agregado, como suínos e aves.

Para o ano de 2006, a metodologia DEA apresentou nove microrregiões paranaenses sob a fronteira de eficiência, correspondendo a 23% do número total de microrregiões. Já para o ano de 2017 apenas duas foram consideradas eficientes tecnicamente, o que não indica necessariamente uma queda na eficiência individual das microrregiões, apenas uma mudança de paradigma, uma vez que a metodologia DEA é comparativa e analisa um ano específico por vez. O fato principal é que as microrregiões de Floraí, Telêmaco Borba e Jaguariaíva se sobressaíram positivamente no ano de 2017 em relação às demais, sendo estas as microrregiões com melhores escores para este ano, consideradas *outliers*.

Em relação a metodologia DEA-Malmquist que compara a eficiência técnica das microrregiões durante um período de tempo, neste caso 2006 e 2017, os maiores destaques ficaram para Floraí e Goioerê, que obtiverem indicadores acima de 1, concluindo que estas duas microrregiões tiveram ganho em eficiência técnica durante o período analisado.

Apesar do setor agropecuário ser importante para a economia paranaense, com os resultados percebe-se que apenas duas microrregiões aumentaram sua eficiência técnica ao longo de um período de 11 anos, servindo de alerta para a cadeia produtiva, uma vez que o Estado pode estar subutilizando os insumos disponíveis. A questão da utilização adequada da tecnologia passou a ser importante no cenário paranaense atual, uma vez que produzir mais utilizando menos recursos é o caminho para uma produção eficiente e sustentável.

Percebe-se também que grandes aumentos em produção não necessariamente estão relacionados com o aumento em eficiência, uma vez que a microrregião de Toledo com o maior aumento do *output* não figurou entre os maiores ganhos de eficiência. Demonstrando a necessidade de um equilíbrio entre insumos e produtos. Isso não quer dizer que Toledo não seja importante para a economia do

Estado, apenas que existem microrregiões que produzem proporcionalmente mais utilizando menos insumos.

A principal razão encontrada na literatura para o baixo número de microrregiões com performance positiva em eficiência técnica, mesmo todas elas tendo aumentado o número de máquinas e implementos, foi a má utilização da tecnologia por não haver a assessoria ou assistência técnica a esses produtores rurais. É preciso pensar em medidas que minimizem os ruídos de comunicação entre os órgãos de pesquisa e os agropecuaristas, garantindo melhor aproveitamento dos insumos utilizados e melhor gestão administrativa do empreendimento. Não existe uma única medida que consiga melhorar os índices de eficiência técnica e sim uma série delas, que passa pela redução de imperfeições do mercado. Outro ponto é fortalecer os produtores rurais, transformando a propriedade rural em uma empresa com metas e resultados a serem cumpridos.

É fato que o Paraná precisa ter Políticas Públicas específicas a cada microrregião do Estado, com o intuito básico de aumentar a absorção das tecnologias e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, passando basicamente pela educação rural e assistência técnica. Ações em conjunto dos setores públicos e privados visando difundir as tecnologias que verdadeiramente fazem sentido para a realidade de cada produtor e região é imprescindível para o aumento da eficiência técnica.

Os dados brutos utilizados neste trabalho são públicos, oficiais e obtidos de forma censitária, refletindo de forma estimada a realidade agropecuária paranaense de acordo com a metodologia própria desenvolvida pelo IBGE, se tornando uma ferramenta importante para acompanhar o desenvolvimento e evolução do setor. Cabendo então, para próximos trabalhos a continuidade destas análises, a fim de melhor observar as mudanças ocorridas. Também é importante para trabalhos futuros outras análises de eficiência que quantifiquem a importância de cada insumo a fim de se descobrir uma tendência na produção agropecuária paranaense. Além de desenvolver trabalhos específicos por tipos de exploração ou mais aprofundados em uma microrregião específica.

O estudo proposto é complementado por trabalhos de decomposição, que identificam fatores que possivelmente interferem na eficiência técnica das regiões. Buscando assim, quais são e em que magnitude ocorrem os eventos exógenos ao sistema produtivo, como, por exemplo, infraestrutura, pesquisa agropecuária,

extensão rural, educação e outros, existindo assim uma vasta gama para trabalhos futuros e complementares a este.

## REFERÊNCIAS

- ABRAMOVAY, R. Estratégias alternativas para a extensão rural e suas consequências para os processos de avaliação. *In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*. 45, 2007, Londrina. **Mesa Redonda** [“Assistência Técnica e Extensão Rural no Brasil: Desafios para os Próximos Anos”]. Londrina: SOBER, 2007.
- ALBUQUERQUE, M. C. C. de. Estrutura fundiária e reforma agrária no Brasil. **Revista de Economia Política**. São Paulo, v. 7, n. 3, 1987.
- ALI, E.; KPAKPABIA, K. T. Determinants of technical efficiency of cotton e farmers in Togo. **Review of Agricultural and Applied Economics**. Slovakia, v. 22, n. 2, p. 88-95, 2019.
- ALVES, E. R. A.; SANTANA, C. A. M.; CONTINI, E. Extensão rural: seu problema não é a comunicação. *In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G., (orgs.) Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade*. Brasília: IPEA, 2016. p. 65-88.
- ALVES, E. R. A.; SILVA, R. C. Qual é o problema de transferência de tecnologia do Brasil e da Embrapa? *In: ALVES, E. R. A.; SOUZA, G. S.; GOMES, E. G., (orgs.) Contribuição da Embrapa para o desenvolvimento da agricultura no Brasil*. Brasília: Embrapa, 2013. p. 279- 291.
- ALVES, E.; SOUZA, G. S.; ROCHA, D. P. Lucratividade da agricultura. **Revista de Política Agrícola**. Brasília, ano XXI, n. 2, p. 45-63, 2012.
- ALVES, E. R. A. et al. Fatos marcantes da agricultura brasileira. *In: ALVES, E. R. A.; SOUZA, G. S.; GOMES, E. G., (orgs.) Contribuição da Embrapa para o desenvolvimento da agricultura no Brasil*. Brasília: Embrapa, 2013. p. 13-46.
- ANANG, B. T.; ALHASSAN, H.; ABBEAM, G. D. Estimating technology adoption and technical efficiency in smallholder maize production: a double bootstrap DEA approach. **Cogent Food & Agriculture**. v. 6, n. 1, 2020.
- AVILA, A. F. D.; GARAGORRY, F. L.; CARDOSO, C. C. Produção e produtividade da agricultura brasileira: taxas de crescimento, comparações regionais e seus determinantes. *In: ALVES, E. R. A.; SOUZA, G. S.; GOMES, E. G., (orgs.) Contribuição da Embrapa para o desenvolvimento da agricultura no Brasil*. Brasília: Embrapa, 2013. p. 87-124.
- BACHA, C. J. C. **Economia e política agrícola no Brasil**. Campinas: Alínea, 2018.
- BAHTA, Y. T.; JORDAAN, H.; SABASTAIN, G. Agricultural management practices and factors affecting technical efficiency in Zimbabwe maize farming. **Agriculture**. Basel, Switzerland, v. 78, n. 10, 2020.
- BAGCHI, M.; RAHMAN, S.; SHUNBO, Y. Growth in agricultural productivity and its



components in Bangladeshi regions (1987-2009): an application of bootstrapped data envelopment analysis (DEA). **Economies**. Basel, Switzerland, v. 7, n. 37, 2019.

BAJRAMI, E. et al. Factors affecting the technical efficiency of dairy farms in Kosovo. **Journal of Central European Agriculture**. European, v. 18, n. 4, p. 823-840, 2017.

BALOGUN, O. L. et al. Profitability and technical efficiency of pineapple production in Ogun State, Nigeria. **International Journal of Fruit Science**. United States, v. 18, n. 4, p. 436-444, 2018.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**. v. 30, issue 9, 1984.

BARBOSA, W. F. et al. Eficiência técnica da agropecuária nas microrregiões brasileiras e seus determinantes. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 43, n. 11, p. 2115-2121, 2013.

BARBOSA, F. C.; FUCHIGAMI, H. Y. **Análise envoltória de dados: teoria e aplicações práticas**. Itumbiara: Ulbra, 2018.

BURALLI, R. J. **Avaliação da condição respiratória em população rural exposta a agrotóxicos no município de São José de Ubá, Estado do Rio de Janeiro**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2016.

CAIXETA FILHO, J. V. Logística: transporte e armazenagem. *In*: RODRIGUES, R. (org.). **Agro é paz: análises e propostas para o Brasil alimentar o mundo**. Piracicaba: ESALQ, 2018. p. 222-249.

CASTRO, C. N.; PEREIRA, C. N. **Agricultura familiar, assistência técnica e extensão rural e a política nacional de ATER**. Brasília: IPEA, 2017.

CASTRO, R. C. M. L. de; SAES, M. S. M. Contribuição da educação formal para a eficiência na agricultura: uma análise a partir da revisão da literatura. **Revista de Ciência e Tecnologia das Américas**. Santiago, Chile, v. 43, n. 2, 2018.

CHADDAD, F. **Economia e organização da agricultura brasileira**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**. Europe, v. 2, issues 6, p.429-444, 1978.

CIMOLI, M. **Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina**. Santiago, Chile: CEPAL, 2005.

CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil). **Panorama do Agro**. Brasília: CNA, 2020. Disponível em: <<https://www.cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro>>. Acesso em: 10 de jun. 2021.

COELLI, T. et al. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. New York: Springer, 2005.

CRUZ, F. P. da; MOTTA, R. S. da; MARINHO, A. Análise da Eficiência Técnica e da Produtividade dos Serviços de Água e Esgotos no Brasil de 2006 a 2013. **Pesquisa e Planejamento Econômico**. Rio de Janeiro, v. 49, n. 3, p. 81-106, 2019.

DEBREU, G. The coefficient of resource utilization. *Econometrica*, **Journal of the Econometric Society**. Cleveland, v. 19, n. 3, 1951.

DUARTE, J.; CASTRO, A. M. G. **Comunicações e tecnologias na cadeia produtiva da soja em Mato Grosso**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

DUARTE, L. M. G.; SILIPRANDI, E. A reconstrução da extensão rural pública no Brasil: novas questões, velhos problemas. *In*: Congresso Latino-Americano de Sociologia Rural, 7, 2006, Quito, Equador. **Anais [...]**. Quito, Equador: ALASRU, 2006.

FAO (Food and Agriculture Organization). **How to feed the world in 2050**. Rome, Italy: FAO, 2009. Disponível em: <[http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/How\\_to\\_Feed\\_the\\_World\\_in\\_2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf)>. Acesso em: 10 de jun. 2021.

FARE, R. et al. Productivity growth, technical progress and efficiency changes in industrial countries. **American Economic Review**. Pittsburgh, n. 84, p. 66-83, 1994.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**. United Kingdom, series A (general), v. 120, part III, 1957.

FIRMINO, M. J. A. C. S. **Teste de hipóteses: uma abordagem não paramétrica**. 2015. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Lisboa, 2015.

FUGLIE, K. O.; Wang, S. L.; BALL, V. E. **Productivity growth in agriculture an international perspective**. Cambridge: Cabi, 2012.

GALAFASSI, L. B.; ALVES, L. R. Análise da distribuição espacial agrícola nas microrregiões paranaenses entre 1975 e 2018. *In*: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER, 59., 2021. Brasília. **Anais [...]** Brasília: SOBER, 2021.

GALAFASSI, L. B.; BEBBER, R. A.; SHIKIDA, P. F. A. Uma análise da distribuição espacial da produção de cana-de-açúcar no Paraná (1975-2018). **Teoria e Evidência Econômica**. Passo Fundo, a. 26, n. 55, p. 272-296, 2020.

GASQUES, J. G. et al. Produtividade e crescimento: algumas comparações. *In*: ALVES, E. R. A.; SOUZA, G. S.; GOMES, E. G., (orgs.) **Contribuição da Embrapa para o desenvolvimento da agricultura no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2013. p.

125-140.

HORVAT, A. M. et al. A two-stage DEA model to evaluate agricultural efficiency in case of Serbian districts. **Economics of Agriculture**. Serbia, v. 4, n. 66, p. 956-974, 2019.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 10 de jun. 2021.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Malha municipal**: acesso ao produto. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 10 de jun. 2021.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Agropecuário**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 10 de jun. 2021.

KOOPMANS, T. C. Efficient allocation of resources. *Econometrica*, **Journal of the Econometric Society**. Cleveland, v. 19, n. 1, p. 455-465, 1951.

KUGIZAKI, Y. **Modernização e dualismo tecnológico na agricultura**: proposta de um novo modelo. Vitória: EMCAPA, 1983. Disponível em: <<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/271/1/83-04-artigo1.pdf>>. Acesso em: 10 de jun. 2021.

LAFORGA, G.; VIEIRA, A. O. Ação extensionista da EMPAER frente à nova PNATER: uma análise a partir do Assentamento Guapirama, Campo Novo do Parecis – MT. *In*: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 46, 2008, Rio Branco. **Anais** [...]. Rio Branco: SOBER, 2008.

LAKNER, S. et al. The effects of diversification activities on the technical efficiency of organic farms in Switzerland, Austria, and southern Germany. **Sustainability**. Switzerland, v. 10, n. 4, 2018.

LAZÍKOVÁ, J. et al. Technical efficiency in the agricultural business – the case of Slovakia. **Sustainability**. Switzerland, v. 11, n. 20, 2019.

MA, X. et al. Land tenure security and technical efficiency: new insights from a case study in Northwest China. **Cambridge University Press**. United Kingdom, v. 22, issue 3, p. 305-327, 2017.

MAKOMBE, G. et al. An analysis of the productivity and technical efficiency of smallholder irrigation in Ethiopia. **African Journal Online**. Africa, v. 43, n. 1, p. 48-57, 2017.

MARIANO, E. B.; ALMEIDA, M. R.; REBELATTO, D. A. N. Eficiência pela técnica dos números índices: uma aplicação em aeroportos. *In*: Simpósio de Engenharia de

Produção, 16., 2009. Bauru. **Anais** [...] Bauru: SIMPEP, 2009.

MARIANO, E. B. **Sistematização e comparação de técnicas, modelos e perspectivas não-paramétricas de análise de eficiência produtiva**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MELLO, J. C. C. B. S. de. et al. Curso de análise de envoltória de dados. *In*: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, XXXVII, 2005, Gramado. **Anais** [...]. Gramado: SBPO, 2005.

MENDES, S. M.; TEIXEIRA, E. C.; SALVATO, M. A. Investimentos em infra-estrutura e produtividade total dos fatores na agricultura brasileira: 1985-2004. **Revista Brasileira de Economia**. Rio de Janeiro, v. 63, n. 2, p. 91-102, 2009.

MOZAMBANI, C. I.; SOUZA FILHO, H. M. de; MIRANDA, B. V. Compromissos mútuos nas transações de hortícolas na serra fluminense. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, v. 59, n. 3, p. 195-208, 2019.

NACHTIGALL, G. R. **Nutrição mineral de plantas**. Vacaria: AGAPOMI, 2014. Disponível em:

<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1002672/1/GilmarAgapomiDez2014.pdf>>. Acesso em: 10 de jun. 2021.

NGANGO, J.; KIM, S. G. Assessment of technical efficiency and its potential determinants among small-scale coffee farmers in Rwanda. **Agriculture**. Basel, Switzerland, v. 161, n. 9, 2019.

NOGUEIRA, M. A. **Eficiência técnica na agropecuária das microrregiões brasileiras**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

OLIVEIRA, M. M. As circunstâncias da criação da extensão rural no Brasil. **Caderno de Ciências & Tecnologia**. Brasília, v. 16, n. 2, p. 93-134, 1999.

PAIVA, R. M. Modernização e dualismo tecnológico na agricultura. **Pesquisa e Planejamento**, v. 1, n. 2, p. 171-234, 1971.

PASSOS, A. M. A. dos; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, F. C. dos. Sistema de plantio direto. *In*: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. de. (orgs.) **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. Brasília: Embrapa, 2018. p. 62-105.

PEIXOTO, M. Assistência técnica e extensão rural: grandes deficiências ainda persistem. *In*: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G., (orgs.) **Uma jornada pelos contrastes do Brasil**. Brasília: IPEA, IBGE, 2020. p. 323-340.

PEREIRA, C. N.; SILVEIRA, J. M. F. J. Análise Exploratória da Eficiência Produtiva das Usinas de Cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Piracicaba, v. 54, n. 1, p. 147-166, 2016.

PIMENTEL, J. C. S. **Eficiência tributária**: um estudo do desempenho das regiões fiscais da Receita Federal do Brasil na arrecadação de imposto de renda entre 1995 e 2006. 2009. Dissertação (Mestrado em Administração das Organizações) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

POZO, D. T. del. Análisis económico y eficiencia del sector público. *In*: Congresso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y la Administración Pública, VII, 2002, Lisboa, Portugal. **Anais [...]**. Lisboa, Portugal: CLAD, 2002.

REIS, C. V. S.; MOREIRA, T. B.; VILPOUX, O. F. Fatores que afetam a eficiência técnica de produção em assentamentos rurais: fronteira estocástica e two-limit tobit. **Revista Economia e Sociologia Rural**. Piracicaba, v. 56, n. 3, p. 411-424, 2018.

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**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 1-15, 2020.

RUDINSKAYA, T.; NÁGLOVÁ, Z. Impact of subsidies on technical efficiency of meat processing companies. **AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics**, v. 10, n. 1, p. 61-70, 2018.

RUTTAN, V. **Technology, growth and development: an induced innovation perspective**. New York: Oxford University Press, 2001.

SALUSTIANO, S. F. M.; BARBOSA, N.; MOREIRA, T. B. S. Do subsidies drive technical efficiency? The case of portuguese firms in the agribusiness sector. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Brasília, v. 58, n. 3, 2020.

SCHERER, C. E. M.; PORSSE, A. A. Eficiência produtiva regional da agricultura brasileira: uma análise de fronteira estocástica. **Revista Economia e Sociologia Rural**. Piracicaba, v. 55, n. 2, p. 389-410, 2017.

SILVA, P. S. et al. Eficiência técnica e heterogeneidade tecnológica na agropecuária das regiões semiárida e não semiárida do Nordeste brasileiro. **Revista Economia e Sociologia Rural**. Brasília, v. 57, n. 3, p. 379-395, 2019.

SILVA, J. S.; FREITAS, C. O. de; COSTA, L. V. Effects of pluriactivity of brazilian rural establishments on technical efficiency. **Italian Review of Agricultural Economics**. Firenze, Italy, v. 73, n. 2, p. 147-169, 2018.

SOUZA, G. S. et al. Um modelo de produção para a agricultura brasileira e a importância da pesquisa da Embrapa. *In*: ALVES, E. R. A.; SOUZA, G. S.; GOMES, E. G. (orgs.) **Contribuição da Embrapa para o desenvolvimento da agricultura no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2013. p. 47-86.

TAVEIRA, L. R. S.; OLIVEIRA, J. T. A. de. A extensão rural na perspectiva de agricultores assentados do Pontal do Paranapanema-SP. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 09-30, 2008.

TENAYE, A. Technical efficiency of smallholder agriculture in developing countries: the case of Ethiopia. **Economies**. Basel, Switzerland, v. 8, n. 34, 2020.

VICECONTI, P. E. V.; NEVES, S. das. **Introdução à economia**. Rio de Janeiro: Saraiva, 2013.

VIEIRA FILHO, J. E. R. Grupos de eficiência tecnológica e desigualdade produtiva na agricultura brasileira. *In*: ALVES, E. R. A.; SOUZA, G. S.; GOMES, E. G. (orgs.) **Contribuição da Embrapa para o desenvolvimento da agricultura no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2013. p. 141-178.

VIEIRA FILHO, J. E. R. Transformação histórica e padrões tecnológicos da agricultura brasileira. *In*: BUAINAIN, A. M. et al. (orgs.) **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 395-422.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. **Agricultura e indústria no Brasil: inovação e competitividade**. Brasília: IPEA, 2017.

ZHOU, W. et al. Spatial variation of technical efficiency of cereal production in China at the farm level. **Journal of Integrative Agriculture**. China, v. 20, n. 2, p. 470-481, 2021.

ZYLBERSZTAJN, D. Conceitos gerais, evolução e apresentação do sistema agroindustrial. *In*: ZYLBERSZTAJN, D.; NEVES, M. F., (orgs.) **Economia e gestão dos negócios agroalimentares**. São Paulo: Pioneira, 2002. p. 01-21.

## ANEXO 1

Usando o teste  $U$  de Mann-Whitney para testar a homogeneidade das microrregiões (FIRMINO, 2015), com as estimativas de tamanho populacional das microrregiões paranaenses em cada ano observado, uma vez que os dados efetivos para essa variável estão presentes somente no último Censo Demográfico, realizado em 2010, e, portanto, são defasados em relação ao horizonte temporal considerado neste estudo.

Quanto à metodologia de corte, levando em consideração que, na literatura, não foram encontrados parâmetros que pudessem basear a definição de intervalos populacionais para grupos de microrregiões, estes foram definidos conforme o Quadro 6, que se fundamenta unicamente no comportamento dessa variável na base de dados empregada.

Quadro 6 – Grupos de tamanho da população e número de microrregiões por grupo.

Grupos	Intervalos Populacionais	Número de microrregiões	
		2006	2017
1	Até 100.000 habitantes	14 <sup>1</sup>	12 <sup>2</sup>
2	De 100.001 a 200.000 habitantes	11 <sup>3</sup>	13 <sup>4</sup>
3	De 200.001 a 400.000 habitantes	8 <sup>5</sup>	7 <sup>6</sup>
4	Mais de 400.000 habitantes	6 <sup>7</sup>	7 <sup>8</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma, no caso em que os valores das duas medianas coincidem, infere-se que as observações compartilham da mesma fronteira de eficiência e, portanto, os seus escores poderão ser estimados a partir de um único modelo. Por outro lado, havendo diferença entre as medianas, será necessário estimar  $n$  modelos,

<sup>1</sup> Cerro Azul, Floraí, Faxinal, Lapa, São Mateus do Sul, Assaí, Ibaiti, Porecatu, Pitanga, Rio Negro, Palmas, Capanema, Irati, Wenceslau Braz.

<sup>2</sup> Cerro Azul, Floraí, Faxinal, Lapa, São Mateus do Sul, Assaí, Ibaiti, Porecatu, Pitanga, Rio Negro, Palmas, Capanema.

<sup>3</sup> Jaguariaíva, Goioerê, Jacarezinho, União da Vitória, Prudentópolis, Ivaiporã, Cianorte, Telêmaco Borba, Pato Branco, Astorga, Cornélio Procópio.

<sup>4</sup> Irati, Wenceslau Braz, Jaguariaíva, Goioerê, Jacarezinho, União da Vitória, Prudentópolis, Ivaiporã, Cianorte, Telêmaco Borba, Pato Branco, Astorga, Cornélio Procópio.

<sup>5</sup> Campo Mourão, Francisco Beltrão, Umuarama, Paranavaí, Apucarana, Paranaguá, Toledo, Guarapuava.

<sup>6</sup> Campo Mourão, Francisco Beltrão, Umuarama, Paranavaí, Apucarana, Paranaguá, Guarapuava.

<sup>7</sup> Ponta Grossa, Cascavel, Foz do Iguaçu, Maringá, Londrina, Curitiba.

<sup>8</sup> Toledo, Ponta Grossa, Cascavel, Foz do Iguaçu, Maringá, Londrina, Curitiba.

a depender do critério de agrupamento empregado na determinação das amostras.