

CONSELHO REGIONAL DE ECONOMIA – CORECONPR
35º PRÊMIO PARANÁ DE MONOGRAFIA

**TÍTULO: OS DETERMINANTES DA EFICIÊNCIA TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE
LEITE: UM ESTUDO PARA OS MUNICÍPIOS PARANAENSES NOS ANOS DE 2006
E 2017**

PSEUDÔNIMO DO AUTOR: LUANA BERDINAZZI

CATEGORIA:

ECONOMIA PARANAENSE (X)

ECONOMIA PURA OU APLICADA ()

CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

PSEUDÔNIMO DO AUTOR: LUANA BERDINAZZI

**OS DETERMINANTES DA EFICIÊNCIA TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE LEITE:
UM ESTUDO PARA OS MUNICÍPIOS PARANAENSES NOS ANOS DE 2006 E 2017**

MONOGRAFIA

2025

OS DETERMINANTES DA EFICIÊNCIA TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE LEITE: UM ESTUDO PARA OS MUNICÍPIOS PARANAENSES NOS ANOS DE 2006 E 2017

RESUMO

O setor da pecuária leiteira é essencial para a economia brasileira, contribuindo significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) do país, desempenhando um papel estratégico no fortalecimento da cadeia agroalimentar e no equilíbrio do abastecimento nacional, tendo como um dos principais destaques na produção o estado do Paraná. Diante desse cenário, esta pesquisa tem como objetivo analisar os determinantes da eficiência técnica da produção leiteira nos municípios paranaenses nos anos de 2006 e 2017, com base nos Censos Agropecuários do IBGE e no *Climatic Research Unit* (CRU). A metodologia adotada inclui a Análise por Envoltória de Dados (DEA) para calcular os escores de eficiência técnica, Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) para identificar padrões espaciais e modelos Tobit tradicional e suas variações espaciais SAR Tobit e SEM Tobit para estimar os fatores determinantes da eficiência técnica. Os resultados indicam que houve um aumento geral na eficiência técnica da produção de leite no estado entre 2006 e 2017, embora persistam disparidades regionais. Em relação aos determinantes, as produtividades do capital, da área e das vacas ordenhadas impactam positivamente a eficiência técnica, enquanto a produtividade do trabalho influencia negativamente. As variáveis climáticas também afetam a eficiência técnica com implicações heterogêneas nas diferentes estações do ano.

Palavras-chave: Agropecuária. Análise Espacial. Produtividade dos Fatores. Tobit Espacial.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da produção de leite no estado do Paraná.....	04
Figura 2 – Fronteira de Produção.....	06
Figura 3 – Fronteira de eficiência teórica e observada.....	07
Figura 4 – Distribuição espacial da quantidade produzida de leite.....	20
Figura 5 – Distribuição espacial dos escores de eficiência técnica.....	24
Figura 6 – Distribuição espacial dos escores de eficiência técnica 2006 com demarcação das mesorregiões.....	25
Figura 7 – Distribuição espacial dos escores de eficiência técnica 2017 com demarcação das mesorregiões.....	26
Figura 8 – Mapas LISA da quantidade produzida de leite nos municípios paranaenses.....	31
Figura 9 – Mapas LISA dos escores de eficiência técnica dos municípios paranaenses.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis e fonte de dados.....	12
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – <i>Ranking</i> dos 15 principais municípios produtores de leite do Paraná em 2006 e 2017.....	21
Tabela 2 – Municípios mais eficientes do Paraná em 2006 e 2017.....	23
Tabela 3 – Quantidade de municípios eficientes tecnicamente por mesorregião.....	27
Tabela 4 – Estatísticas descritivas dos escores de eficiência técnica calculados para mesorregiões paranaenses em 2006 e 2017.....	28
Tabela 5 – Índices de Moran Global.....	30
Tabela 6 – Resultados das estimações dos modelos para o ano de 2006.....	33
Tabela 7 – Resultados das estimações dos modelos para o ano de 2017.....	36

LISTA DE SIGLAS

AEDE	Análise Exploratória de Dados Espaciais
CRS	<i>Constant Returns to Scale</i>
CRU	<i>Climatic Research Unit</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DMU	<i>Decision Making Unit</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
LISA	<i>Local Indicator of Spatial Association</i>
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
PIB	Produto Interno Bruto
PPM	Pesquisa Pecuária Municipal
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
SAR	<i>Spatial Autoregression</i>
SEM	<i>Spatial Error Model</i>
SFA	<i>Stochastic Frontier Analysis</i>
UFV	Universidade Federal de Viçosa
VBP	Valor Bruto da Produção
VRS	<i>Variable Returns to Scale</i>

SUMÁRIO

RESUMO.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE QUADROS.....	V
LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE SIGLAS.....	VII
1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LEITE NO PARANÁ.....	3
2.2 TEORIA DA PRODUÇÃO	5
2.3 EFICIÊNCIA TÉCNICA.....	7
3 ESTUDOS CORRELATOS	8
4 METODOLOGIA.....	11
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	11
4.2 ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA).....	13
4.3 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL	15
4.4 ESTRATÉGIA ECONOMETRICA.....	17
4.4.1 TOBIT	17
4.4.2 SAR TOBIT	18
4.4.3 SEM TOBIT.....	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRODUÇÃO DE LEITE NOS MUNICÍPIOS PARANAENSES.....	20
5.2 ESTIMAÇÃO DOS ESCORES DE EFICIÊNCIA	22
5.3 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS (AEDE).....	29
5.4 ANÁLISE DOS DETERMINANTES DA EFICIÊNCIA TÉCNICA.....	33
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O setor agropecuário no Brasil é um dos motores da economia nacional, com uma contribuição significativa para o Produto Interno Bruto (PIB). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2024 a agropecuária representou 5,6% do PIB total do país (IBGE, 2025). O Paraná é um dos estados que auxilia na produção agropecuária brasileira, destacando-se, entre outras atividades, na produção leiteira. Dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) indicam que, em 2022, o Paraná contribuiu com cerca de 12,9% da produção nacional de leite, ocupando a segunda posição entre os maiores produtores, atrás apenas de Minas Gerais (Embrapa, 2024).

A atividade leiteira possui grande relevância no Paraná, sendo desenvolvida por produtores de diferentes portes – pequenos, médios e grandes. Essa atividade tem papel essencial na economia regional, ao gerar empregos, proporcionar renda para diversas famílias e assegurar o abastecimento alimentar, tanto com o leite *in natura* quanto com seus derivados.

Apesar da relevância da atividade leiteira no estado, sua produção é marcada por uma significativa heterogeneidade entre as propriedades rurais, que variam desde unidades familiares de pequena escala até grandes empreendimentos agroindustriais. Essa diversidade resulta em variados níveis de produtividade e eficiência técnica. Além disso, os efeitos espaciais entre os municípios paranaenses contribuem para padrões desiguais de desempenho, influenciados por características locais e práticas de manejo específicas de cada região.

Diante desse cenário, um ponto fundamental para entender o desempenho produtivo da atividade leiteira é compreender o seguinte problema de pesquisa: quais fatores determinam a eficiência técnica da produção de leite nos municípios do estado do Paraná?

A principal hipótese testada é a de que a produtividade dos fatores é determinante da eficiência técnica, apresentando uma relação direta entre si.

Diante de todo o exposto, o objetivo geral deste estudo é analisar os determinantes da eficiência técnica da produção de leite dos municípios paranaenses com base nos Censos Agropecuários de 2006 e 2017. Para alcançar o objetivo geral, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos: (i) Apresentar os principais conceitos relacionados à pecuária leiteira, teoria da produção, eficiência técnica e métodos utilizados; (ii) Realizar uma revisão da literatura para apresentar trabalhos correlatos; (iii) Calcular os escores de eficiência técnica dos municípios por meio do modelo Análise por Envoltória de Dados (DEA); (iv) Analisar descritiva e espacialmente os escores de eficiência desses municípios; (v) Verificar os determinantes da eficiência técnica.

A escolha do setor leiteiro para análise justifica-se pela relevância econômica e social da atividade no estado do Paraná, onde a produção de leite impulsiona a economia local, representando uma importante fonte de renda para inúmeras famílias rurais, além de desempenhar um papel fundamental no sistema agroalimentar. Embora a produtividade tenha crescido, o potencial de eficiência técnica ainda não foi completamente explorado. A pesquisa analisa como alguns fatores influenciam a eficiência técnica da produção. Os resultados poderão fornecer uma melhor tomada de decisões e gerenciamento no processo produtivo, para assim alcançar resultados mais expressivos e competitivos, também podem incentivar estratégias que aprimorem a eficiência do setor. Ao abordar dimensões econômicas e sociais, o estudo pretende também fortalecer as comunidades rurais e melhorar a qualidade de vida dos produtores de leite.

A pesquisa identifica os fatores que influenciam a eficiência técnica da produção leiteira, com o objetivo de aprimorar os resultados do setor, e é estruturada nas seguintes etapas. Inicialmente, a introdução apresenta o tema, sua relevância, as hipóteses e os objetivos do estudo. Em seguida, o referencial teórico aborda os conceitos da teoria econômica relacionados ao tema, enquanto a revisão de literatura analisa trabalhos correlatos, servindo como base para as análises e para identificar a contribuição da pesquisa. Os procedimentos metodológicos detalham as técnicas utilizadas, seguidos pelos resultados e, por fim, pelas conclusões.

O estudo incorpora uma Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) para compreender a variação da eficiência técnica leiteira entre os municípios, comparando os resultados de dois anos censitários. Para isso, utiliza técnicas de Análise por Envoltória de Dados (DEA) e econometria espacial, com o objetivo de calcular os níveis de eficiência técnica e identificar seus padrões espaciais. Além disso, são estimados modelos de regressão Tobit para analisar os determinantes da eficiência técnica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção é estruturada para apresentar conceitos e contextos necessários para a compreensão do tema proposto por esta pesquisa dentro do setor leiteiro. O primeiro tópico analisa o setor no estado, o segundo tópico aborda como insumos são combinados para gerar um produto final, e o terceiro tópico analisa como os insumos devem ser utilizados de forma otimizada para atingir o melhor desempenho.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LEITE NO PARANÁ

A produção de leite no Paraná é uma atividade de grande relevância, desempenhando um papel fundamental na economia, na cadeia agroalimentar e no abastecimento, tanto em âmbito estadual quanto nacional. O estado está entre os principais produtores de leite do Brasil, destacando-se pela tradição leiteira, pelas diversas propriedades — pequenas, médias e grandes — e pelos avanços alcançados nas últimas décadas. Historicamente, o setor tem evoluído consideravelmente, impulsionada por mudanças nas práticas produtivas, nos sistemas de manejo e nas demandas do mercado, entre outros fatores.

Na atividade, ganha destaque a agricultura familiar. Segundo informações do Censo Agropecuário de 2006, os estabelecimentos que produziram leite de vaca no estado do Paraná totalizaram 119.810, desses, 100.852 eram provenientes de agricultura familiar, representando 84,18% do total (IBGE, 2009). Já no ano de 2017, 74.503 são provenientes da agricultura familiar, de um total de 87.063, representando 85,57%. (IBGE, 2020).

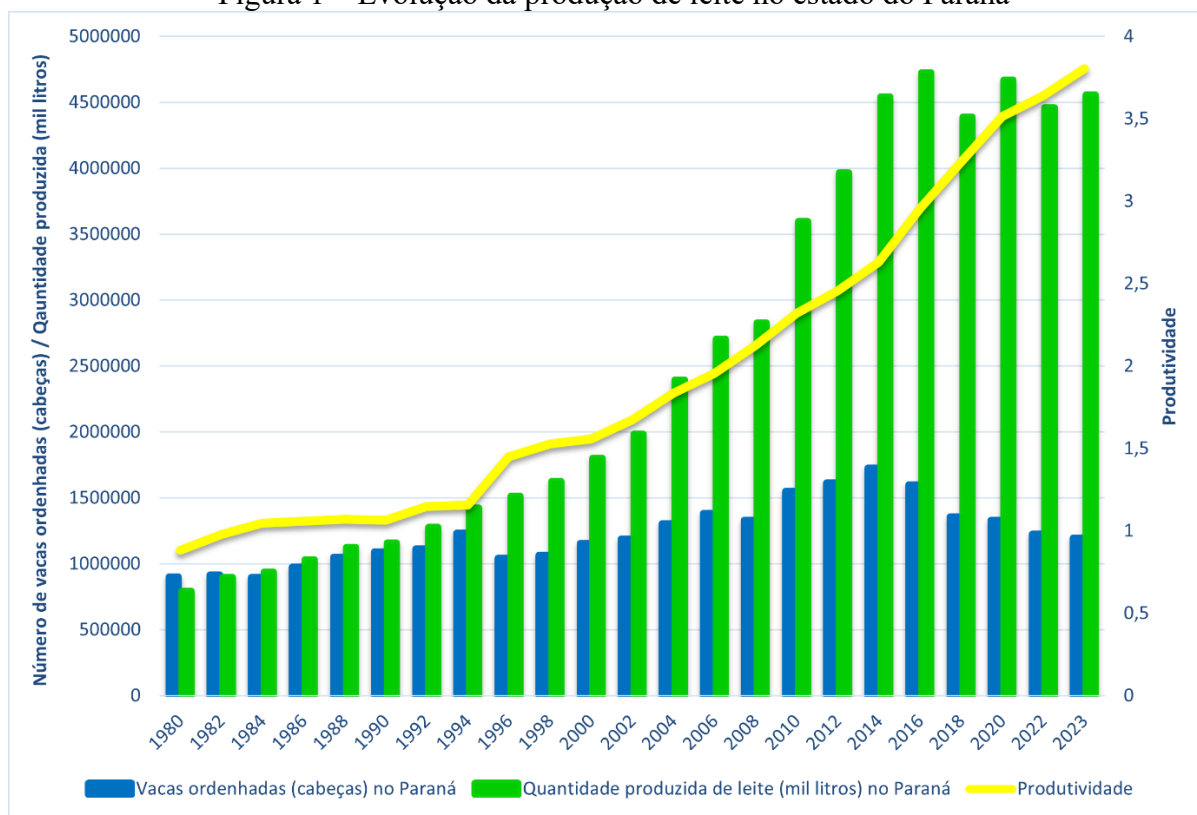
Como mencionado, o Paraná possui grande contribuição na produção nacional de leite, e mesmo com uma queda no número de estabelecimentos¹ no decorrer dos anos, o estado tem apresentado significativo aumento na quantidade produzida de leite. A Figura 1 apresenta a evolução da produção de leite no estado. Conforme observado, há um salto expressivo após 1994, refletindo uma expansão da oferta de leite. Em contrapartida, o número de vacas ordenhadas manteve-se relativamente estável ao longo do período, indicando que o aumento da produção não está associado a um crescimento proporcional do rebanho, mas sim a um aumento na produtividade. A linha amarela representa a produtividade, ou seja, a quantidade de leite produzida por vaca ordenhada, cujo crescimento ao longo do tempo destaca os ganhos

¹ Segundo os Censos Agropecuários de 2006 e 2017, houve uma redução no número de estabelecimentos agropecuários no geral, tanto no estado do Paraná, quanto no Brasil (IBGE, 2009, 2020).

de eficiência no setor leiteiro.

Os dados observados no decorrer dos anos podem estar relacionados a uma combinação de fatores, como tecnologia, manejo adequado, genética, alimentação, entre outros (Nascimento *et al.*, 2024; Kemer; Glienke; Bosco, 2020; Morais *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2012). Fatores como esses podem influenciar diretamente a produtividade e a eficiência técnica no setor leiteiro, especialmente em um cenário de mercados globalizados e com demandas ambientais cada vez mais exigentes.

Figura 1 – Evolução da produção de leite no estado do Paraná



Fonte: Elaborada pela autora com base na PPM (IBGE, 2024).

No Paraná, os principais diferenciais na produção de leite incluem a genética, a nutrição, a sanidade e a gestão. A genética é aprimorada por meio de programas de inseminação artificial e importação de novilhas, o que possibilita às propriedades leiteiras fornecerem tanto leite quanto matrizes para outras regiões do país. O estado destaca-se também em nutrição devido à sua capacidade de produzir biomassa ao longo de todo o ano, proporcionando uma dieta variada e de alta qualidade para o gado, o que contribui para elevados índices de produção leiteira. A sanidade do rebanho é garantida por programas extensivos de vacinação e controle sanitário, assegurando que o estado esteja livre de diversas doenças contagiosas. A gestão eficaz promove a continuidade e a replicação das melhores

práticas nas fazendas e cooperativas (Embrapa, 2023).

Com a modernização das práticas agrícolas, o setor agropecuário tem alcançado resultados expressivos. Para sustentar esse desenvolvimento, torna-se indispensável a adoção de técnicas que promovam o crescimento, como o uso eficiente dos insumos disponíveis. Essa estratégia possibilita que produtores de todos os portes — pequenos, médios e grandes — maximizem suas receitas, contribuindo de forma significativa para o fortalecimento da economia.

Embora o Paraná seja reconhecido como um polo de excelência na produção de leite em algumas de suas regiões, com destaque para a alta produtividade e inovação tecnológica, outras áreas do estado enfrentam desafios consideráveis. A distribuição heterogênea da produção leiteira no estado paranaense leva a processos de produção variados entre seus municípios (Bazotti; Nazareno; Sugamoto, 2012; Capucho; Parré, 2012; Alves *et al.*, 2020). Além disso, a diversidade regional, combinada com o crescimento técnico e organizacional do setor, tem forçado os produtores a adaptar suas instalações para atender às novas demandas (Bortoleto; Chabaribery, 1998; Chaddad, 2007; Telles; Bacchi; Shimizu, 2017). Dessa forma, enquanto algumas microrregiões destacam-se por práticas avançadas e resultados excepcionais, servindo como referência nacional em termos de eficiência, outras ainda enfrentam desafios significativos que refletem a necessidade de modernização e melhores práticas tecnológicas.

Beber *et al.* (2019) apontam que existem desafios para o setor leiteiro se atualizar, quanto a profissionalização, falta de modernização, baixa produtividade e limitações tecnológicas. A compreensão dessas variações regionais é crucial para direcionar políticas e estratégias que visem superar as dificuldades e a uniformizar os níveis de eficiência e desenvolvimento no setor leiteiro do Paraná.

De modo geral, a produção de leite no Paraná revela um processo contínuo de adaptação e modernização, impulsionado por diversos fatores. Compreender esse cenário é fundamental para analisar os determinantes da eficiência técnica da atividade leiteira.

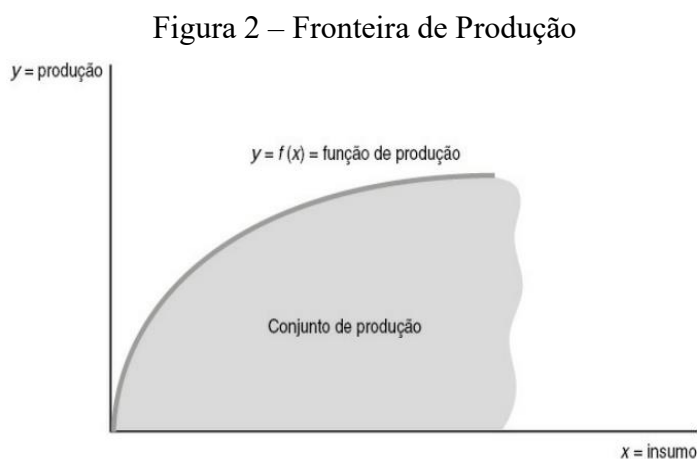
2.2 TEORIA DA PRODUÇÃO

O processo produtivo de bens demanda a utilização de uma gama de insumos que, combinados convertem-se em um produto final. Especificamente tratando da produção leiteira, assim como em outras atividades agropecuárias, os insumos comumente utilizados são, terra, capital, trabalho e tecnologia. Conforme Greene (2003), a produção é um método

de transformar insumos em produtos com utilidade econômica. Segundo Pindyck e Rubinfeld (2010), os produtores tomam suas decisões baseados na tecnologia de produção, nos custos e na escolha de insumos. A depender da quantidade e da combinação de insumos utilizados no processo produtivo, diferentes níveis de produto serão alcançados. Nesse sentido, para relacionar os insumos e o produto resultante, descreve-se uma função de produção que, conforme Pindyck e Rubinfeld (2010), indica o nível máximo de produto, q , gerado por uma unidade produtiva para cada combinação de insumos. Tradicionalmente, são utilizados os fatores capital, K , e trabalho, L . Algebricamente,

$$q = F(K, L) \quad (1)$$

Pode-se representar uma função de produção conforme a Figura 2.



Fonte: Varian (2021)

Varian (2021) explica que, para dada quantidade de insumos, é possível obter-se um nível específico de produto, formando um conjunto de produção, conforme mostra a área cinza da Figura 2. Dentro desse conjunto, é possível encontrar os valores máximos possíveis de produto, constituindo a fronteira de produção. A função de produção descreve essa fronteira. Quando os insumos são utilizados de maneira otimizada, é possível que seja alcançada uma produção máxima, configurando um processo tecnicamente eficiente.

Tanto a eficiência técnica quanto a produtividade são medidas de desempenho, porém, enquanto a produtividade analisa a relação entre produto e insumo, a eficiência compara os valores observados com os valores ótimos (Tupy; Yamaguchi, 1998).

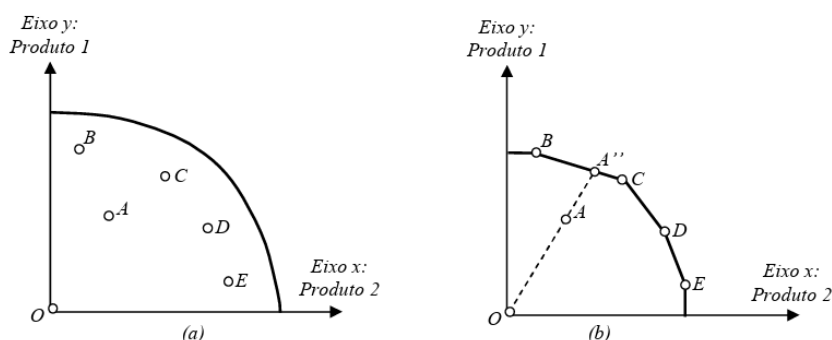
2.3 EFICIÊNCIA TÉCNICA

O processo produtivo de bens envolve a combinação de diversos insumos para gerar um produto final. Conforme já mencionado, na produção leiteira, assim como em outras atividades agropecuárias, os principais insumos são terra, capital, trabalho e tecnologia. Esses recursos são essenciais para otimizar a eficiência e a produtividade, garantindo que a transformação dos insumos resulte em um produto final de alta qualidade e com utilidade econômica. Além disso, a integração eficaz desses insumos pode influenciar diretamente os custos de produção e a competitividade no mercado (Leibenstein, 1966).

Na literatura especializada, os dois principais métodos utilizados para o cálculo da eficiência são a Análise de Fronteira Estocástica (SFA) e DEA. A SFA aplica uma abordagem paramétrica para estimar os escores de eficiência, enquanto a DEA utiliza um método não paramétrico baseado em programação linear. Ambos os métodos se fundamentam nos conceitos de eficiência técnica desenvolvidos por Koopmans (1951) e Farrell (1957).

Os conceitos de eficiência técnica e fronteira de produção estão relacionados em termos que os produtores que atuam sobre a fronteira de produção possuem eficiência técnica. A Figura 3 parte (a) representa uma fronteira de eficiência teórica, já a parte (b) representa a fronteira de eficiência observada por meio de um método não paramétrico.

Figura 3 – Fronteira de eficiência teórica e observada



Fonte: Lorenzetti, Lopes e Lima (2004)

Portanto, os produtores B, C, D e E na Figura 3 são consideradas unidades eficientes, enquanto o produtor A é ineficiente por estar situado abaixo da fronteira de eficiência. Assim, a utilização da abordagem não paramétrica para a determinação de eficiência técnica trata-se de uma análise comparativa entre unidades produtivas.

A forma utilizada para calcular a eficiência técnica nesse estudo foi o método DEA, que está exposto com maiores detalhes na seção de metodologia.

3 ESTUDOS CORRELATOS

Diversos estudos abordam a análise do desempenho da produção leiteira, incluindo aspectos de análise espacial. No entanto, são poucas as pesquisas que realizam uma abordagem integrada entre eficiência técnica e interdependências espaciais dessa produção. Em particular, não foram identificados estudos que investiguem os determinantes da eficiência técnica da produção de leite nos municípios do Paraná, tampouco que incorporem explicitamente os efeitos das interações espaciais nesse contexto.

Nesse sentido, destacam-se algumas literaturas relacionadas ao tema, as quais fornecem embasamento teórico e metodológico para a presente análise. Estas obras abordam a eficiência técnica na produção agropecuária e estudos específicos sobre a cadeia produtiva do leite, contribuindo para a compreensão das interdependências regionais e dos fatores determinantes da eficiência produtiva.

Santos, Vieira e Baptista (2005) avaliaram a eficiência técnica de 17 propriedades leiteiras na microrregião de Viçosa - MG, assistidas pelo convênio UFV/Nestlé entre 1999 e 2002. Utilizando o método DEA, constataram que muitas propriedades ainda eram tecnicamente ineficientes e observaram uma homogeneização nas características de produção devido ao padrão de assistência técnica adotado.

Gonçalves *et al.* (2008) realizaram uma análise detalhada da eficiência técnica em propriedades leiteiras de Minas Gerais, com ênfase na produtividade do capital, do trabalho e das vacas. Utilizando DEA e modelos econométricos, o estudo avaliou 771 propriedades e identificou que a ineficiência técnica era mais pronunciada entre os pequenos produtores, que poderiam aumentar sua produtividade por meio de melhor alocação de insumos produtivos. Os resultados mostraram que a produtividade do capital desempenhava um papel crucial na eficiência técnica, especialmente em fazendas com produção inferior a 50 litros diários e aquelas acima de 200 litros. Além disso, a eficiência na utilização do trabalho e do rebanho também se revelou determinante: enquanto propriedades de maior porte conseguiam otimizar o uso da mão de obra e maximizar a produção por vaca, os pequenos produtores apresentavam maior dificuldade em alcançar esses ganhos, operando sob retornos crescentes de escala. A pesquisa evidenciou que o acesso a crédito rural, capacitação técnica e investimentos em infraestrutura poderiam contribuir para a melhoria da produtividade dos fatores, promovendo maior eficiência e sustentabilidade na produção leiteira.

Já em Travassos *et al.* (2016), o objetivo foi analisar os fatores que explicam os níveis de eficiência dos produtores de leite da mesorregião da Zona da Mata – MG, utilizando como

método regressões quantílicas, tendo como medidas de eficiência escores calculados via DEA. Os resultados apontaram que, no curto prazo, os produtores apresentam um alto grau de eficiência técnica, resultante da adoção de tecnologias avançadas e acesso à assistência técnica. As ineficiências encontradas são, em geral, provenientes da operação em escala incorreta de produção.

Silva, Camara e Telles (2016), analisaram espacialmente as regiões de atividade leiteira do Paraná nos anos de 2005 e 2011. Utilizando AEDE, buscaram detectar autocorrelação espacial e identificar *clusters* de valor bruto da produção de leite. As variáveis utilizadas incluem produtividade, produção de leite, valor bruto da agropecuária, PIB per capita municipal e o índice FIRJAN de desenvolvimento econômico e social dos municípios. Os resultados mostram a formação de um grande *clusters* de alto valor bruto da produção de leite nas regiões Oeste e Sudoeste, tanto em 2005 quanto em 2011, e *clusters* de baixo valor nas regiões do Norte Pioneiro, Norte Central e Metropolitana de Curitiba.

Bánkuti *et al.* (2017), utilizando dados produtivos e econômicos de 399 municípios em 1990, 2000 e 2014, extraídos da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) do banco de dados do IBGE, analisaram a dinâmica espacial da atividade leiteira no estado do Paraná, identificando regiões de maior concentração e retração. Observaram um deslocamento da produção leiteira das regiões ao norte do estado para o sul.

Ostapechen e Gotardo (2019) analisaram os fatores que influenciam a produtividade da pecuária leiteira no Oeste do Paraná. Utilizando dados do Censo Agropecuário de 2017, aplicaram o método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) para avaliar os impactos de diferentes fatores. Os resultados indicam que a orientação técnica ofertada aos produtores é o principal fator de aumento da produtividade, e que o nível de escolaridade do produtor também tem efeito positivo.

Alves *et al.* (2020) buscaram analisar a distribuição espacial da produção de leite nos municípios do Paraná, utilizando AEDE e dados do Censo Agropecuário de 2017, RAIS e IPARDES. A análise identificou *clusters* nas regiões Oeste, Sudoeste, Centro Oriental e Norte Pioneiro, onde municípios com altos valores do Valor Bruto da Produção (VBP) do leite tendem a estar cercados por outros municípios com valores similares, a mesma análise ocorre para municípios com baixo VBP que se localizam próximos de outros municípios com baixo VBP.

Outro trabalho relevante que pode ser destacado é o de Ferrari e Braga (2020), que teve como objetivo analisar a eficiência técnica dos produtores de leite do Uruguai, utilizando os dados do Censo Geral Agropecuário do Uruguai de 2010/2011. Foi utilizado o método de

fronteira estocástica, tendo como principal resultado o fato de que os produtores operam, em média, com 79,9% da sua capacidade, podendo assim melhorar o rendimento de suas propriedades por meio de tecnologias. Além disso, a assistência técnica e utilização de silos podem reduzir a ineficiência.

Leão *et al.* (2022) analisaram a eficiência técnica na produção na agropecuária da região Centro-Oeste do Brasil, destacando a como fatores determinantes, dentre outros, produtividade do trabalho, do capital e da terra. Utilizando a análise de fronteira estocástica, o estudo identifica que a ineficiência no uso do capital, como a subutilização da terra e a má gestão de recursos, limita a eficiência técnica geral, mesmo com a mão de obra sendo altamente produtiva. Foi encontrada uma relação negativa entre a produtividade negativa do capital e eficiência técnica, que foi atribuída a investimentos inadequados e alocação subótima de recursos, enquanto a produtividade do trabalho afeta positivamente na eficiência técnica. O estudo conclui que melhorias na gestão do capital, aliadas à manutenção da produtividade do trabalho, são essenciais para aumentar a eficiência técnica e o potencial produtivo da região.

Diante da necessidade de compreender melhor o padrão de eficiência técnica na produção de leite, este trabalho se diferencia ao aplicar uma abordagem metodológica inovadora para os municípios do estado do Paraná, combinando DEA, AEDE e o modelo TOBIT espacial. Enquanto a literatura existente frequentemente se limita à análise de eficiência técnica sem considerar a dimensão espacial e os fatores locacionais, este estudo avança ao integrar essas técnicas, permitindo uma avaliação mais robusta e contextualizada das eficiências e de seus determinantes.

4 METODOLOGIA

Nesta seção, estão detalhados os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa. Serão apresentadas as características do estudo, o método utilizado para calcular os escores de eficiência técnica de cada município, a abordagem das variáveis no contexto espacial e o modelo econométrico empregado para alcançar os objetivos propostos.

Essa metodologia permite a identificação de padrões espaciais na produção leiteira e a análise dos fatores determinantes da eficiência técnica, fornecendo análises sobre como determinados elementos influenciam a eficiência no setor.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com os objetivos apresentados, a pesquisa analisa os determinantes da eficiência técnica da produção de leite. Para isso, foi utilizada a abordagem quantitativa, que consiste na utilização de números e medidas estatísticas que conseguem verificar e explicar relações entre variáveis (Gil, 2024). O procedimento técnico a ser adotado é o experimental, que consiste basicamente em investigações, onde o objetivo é testar hipóteses para chegar em uma conclusão a respeito de variáveis experimentadas e que possuem relação causa-efeito (Marconi; Lakatos, 2021). Quanto à classificação do objeto de pesquisa, é de natureza exploratória. Conforme Gil (2024), a pesquisa exploratória busca testar hipóteses apresentadas, com o propósito de desenvolver, esclarecer ou até mesmo modificar ideias e conceitos.

Os dados utilizados no estudo são secundários, ou seja, correspondem a informações previamente coletadas por outras fontes e disponibilizadas para uso. Estes são referentes aos municípios do estado do Paraná e aos anos de 2006 e 2017. Alguns dados referentes a pecuária leiteira como, quantidade produzida, número de trabalhadores, número de tratores, número de vacas ordenhadas e área dos estabelecimentos foram coletados dos Censos Agropecuários dos anos de 2006 e 2017, disponibilizados pelo IBGE. Também é utilizado dados de precipitação de cada município, medido em milímetros, e de temperatura, medida em graus celsius, disponibilizados pelo *Climatic Research Unit* (CRU), ambas as variáveis estão separadas por estação do ano para maior precisão dos resultados. A partir dos dados coletados foram criadas as variáveis de produtividade, para atender os objetivos de analisar as mesmas como determinantes da eficiência técnica da produção.

A escolha das variáveis é baseada na teoria econômica, bem como na literatura

recente, como de Gonçalves *et al.* (2008), Travassos *et al.* (2016), Ferrari e Braga (2020), Mugera (2013), Wang (2001), entre outros. O Quadro 1 apresenta as variáveis utilizadas nas análises e suas respectivas unidades de medida e fonte.

Os dados foram tabulados, descritos, analisados, interpretados e utilizados na estimação da eficiência técnica de cada município na produção de leite e dos seus determinantes. As estatísticas descritivas e os resultados das estimações estão apresentados em mapas e tabelas.

Quadro 1 - Variáveis e fonte de dados

Método	Variável	Descrição	Fonte
DEA	QP	Quantidade produzida de leite de vaca (mil litros)	Censo Agropecuário – IBGE
	VO	Vacas ordenhadas (cabeças)	Censo Agropecuário – IBGE
	NT	Número de tratores (unidades)	Censo Agropecuário – IBGE
	AT	Área dos estabelecimentos pecuários (hectares)	Censo Agropecuário – IBGE
	PO	Pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários (pessoas)	Censo Agropecuário – IBGE
TOBIT	PRODL	Produtividade do trabalho (QP / PO)	Calculado a partir do Censo Agropecuário – IBGE
	PRODK	Produtividade do capital (QP / NT)	Calculado a partir do Censo Agropecuário – IBGE
	PRODV	Produtividade das vacas (QP / VO)	Calculado a partir do Censo Agropecuário – IBGE
	PRODA	Produtividade da área (QP / AT)	Calculado a partir do Censo Agropecuário – IBGE

(Quadro continua na próxima página...)

Continuação do Quadro 1

Método	Variável	Descrição	Fonte
TOBIT	CHUVER	Somatório das chuvas no verão (milímetros)	Climatic Research Unit – CRU
	CHUOUT	Somatório das chuvas no outono (milímetros)	Climatic Research Unit – CRU
	CHUINV	Somatório das chuvas no inverno (milímetros)	Climatic Research Unit – CRU
	CHUPRI	Somatório das chuvas na primavera (milímetros)	Climatic Research Unit – CRU
	TEMPVER	Média de temperatura no verão (graus celsius)	Climatic Research Unit – CRU
	TEMPOUT	Média de temperatura no outono (graus celsius)	Climatic Research Unit – CRU
	TEMPINV	Média de temperatura no inverno (graus celsius)	Climatic Research Unit – CRU
	TEMPPRI	Média de temperatura na primavera (graus celsius)	Climatic Research Unit – CRU

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2 ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

Para calcular a eficiência técnica de cada município na produção de leite, foi utilizada a Análise por Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA). Casado (2007) destaca que a DEA é uma técnica não-paramétrica que utiliza programação matemática para construir fronteiras de produção de unidades produtivas. Essas unidades são conhecidas como tomadoras de decisão (*Decision Making Units* – DMUs). O cálculo da eficiência relativa dessas DMUs permite avaliar o desempenho dos municípios na produção leiteira ao comparar a quantidade de insumos utilizados com a quantidade de leite produzido, estabelecendo assim uma referência de eficiência para cada município.

Dessa forma, o modelo DEA foi utilizado para construir simultaneamente a fronteira de produção e calcular os escores de eficiência de cada município na produção de leite. Nesse modelo, foi considerado um conjunto de dados que inclui K insumos e M produtos para cada um dos N municípios analisados. Os vetores-coluna x_i e y_i representam, respectivamente, os

dados de insumos e produtos para o município i . As matrizes de insumos $X_{K \times N}$ e de produtos $Y_{M \times N}$ contêm os dados de todos os municípios da amostra.

Segundo Coelli *et al.* (2005), há duas formas de calcular a eficiência técnica via DEA, a orientação para produtos e a orientação para insumos. Na primeira, fixam-se as quantidades de insumos produtivos e verificam-se quais produtores alcançam um máximo de produção. Na segunda, usando a forma dual de análise, fixa-se o nível de produção e verificam-se os produtores que utilizam o mínimo de insumos para alcançar esse nível.

Para avaliar a eficiência técnica municipal na produção de leite, optou-se pelo modelo DEA que resolve um problema de programação linear para determinar a eficiência de cada município em relação à fronteira de produção, considerando os retornos variáveis de escala (VRS) e a orientação para insumos. Especificamente, o problema de programação linear busca identificar a solução ótima que reflete a capacidade de cada município em transformar insumos (como terra, trabalho e capital) em produtos (como leite e derivados) de forma mais eficiente possível.

A orientação por insumos justifica-se pela necessidade de entender como os insumos são utilizados de forma ótima para gerar o maior volume de produção possível. A produção leiteira é dependente de diversos fatores e, ao adotar uma orientação por insumos, a análise foca na redução do uso dos fatores para alcançar um nível dado de produção, sem comprometer a quantidade do produto final.

A utilização do DEA com Retornos Variáveis de Escala (VRS), proposto por Banker, Charnes e Cooper (1984), se justifica por ser mais adequado para análises no setor agrícola, onde as unidades de produção (como propriedades rurais ou municípios) operam em escalas distintas e nem sempre apresentam proporcionalidade entre insumos e produtos. Diferentemente do modelo de Retornos Constantes de Escala (CRS), que assume uma relação proporcional entre insumos e produtos, o VRS permite capturar situações com retornos crescentes ou decrescentes de escala, comuns na agricultura devido a diferenças no tamanho das propriedades, acesso a tecnologias e condições ambientais heterogêneas. Essa flexibilidade torna o VRS mais realista para avaliar a eficiência técnica em contextos agrícolas, onde as unidades produtivas não operam necessariamente em escala ótima. Além disso, o modelo VRS é particularmente útil para identificar se as ineficiências observadas estão relacionadas à escala de produção ou à gestão de recursos.

A formulação do problema é detalhada a seguir, conforme descrito por Coelli, Rahman e Thirtle (2002):

$$\begin{aligned}
& \min_{\theta, \lambda} \theta, \\
& \text{s.a. } \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\
& Y\lambda - y_i \geq 0, \\
& N1\lambda = 1 \\
& \lambda \geq 0
\end{aligned} \tag{1}$$

No contexto da análise de eficiência técnica, θ representa um escalar que avalia o desempenho do i -ésimo produtor, satisfazendo a condição $\theta \leq 1$. Para produtores que estão na fronteira da eficiência e, portanto, são considerados tecnicamente eficientes, $\theta = 1$. Já, λ é um vetor $N \times 1$ de constantes e $N1\lambda$ é um vetor $N \times 1$ de valores iguais à unidade. O problema formulado na Equação (1) é resolvido N vezes, gerando um valor específico de θ para cada produtor.

Para estimar os escores de eficiência, a variável utilizada como produto foi a quantidade produzida de leite de vaca em nível municipal. Os insumos considerados foram o número de vacas ordenhadas, os recursos materiais (número de tratores), área dos estabelecimentos pecuários e a força de trabalho (número de pessoas ocupadas em estabelecimentos agropecuários). Os dados foram obtidos dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017. Para fins comparativos, foram calculados os escores de eficiência para cada município em ambos os anos censitários. Esta análise permitiu avaliar a evolução da eficiência técnica nos municípios e identificar possíveis padrões espaciais.

Após o cálculo dos escores de eficiência dos municípios, foram realizadas análises espaciais para identificar possíveis padrões de distribuição. Além disso, foram estimados o modelo Tobit tradicional e duas variações espaciais para investigar os determinantes da eficiência técnica municipal.

4.3 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL

Para detectar a existência de autocorrelação espacial nas variáveis, foi realizada uma Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), que inicia com a verificação da presença de autocorrelação espacial, utilizando o Índice de Moran Global. Para essa análise, foram estimados os índices utilizando dois tipos de convenção espacial: (i) Rainha de grau 1 e (ii) Rainha de grau 2. A escolha da convenção Rainha se dá pela especificação da matriz de contiguidade, que incorpora como vizinhos todos os municípios que fazem fronteira

geográfica com o município analisado.

Esta abordagem permitiu investigar se a eficiência técnica, bem como outras variáveis, exerce influência sobre ou é influenciada pelas regiões vizinhas. Foram empregadas as estatísticas I de Moran Local e Global para conduzir análises univariadas, examinando a relação entre a eficiência técnica de um município e a eficiência técnica dos municípios adjacentes. Além disso, foi realizada uma análise univariada da quantidade produzida de leite para verificar se os padrões de agrupamento na produção de leite correspondem aos encontrados na eficiência técnica.

A estatística I de Moran Global é calculada da seguinte forma (Anselin, 1995):

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (2)$$

em que I é o índice de Moran, n representa o número de municípios analisados, z são os valores padronizados da variável de interesse, w_{ij} define a forma como o município i está espacialmente correlacionado com o município j , e S_0 é a soma de todos os elementos da matriz de ponderação W . O indicador I varia de -1 a 1, refletindo o grau de similaridade ou dissimilaridade espacial. Quando $I > 0$, há uma autocorrelação espacial positiva, indicando que municípios com altos (ou baixos) valores da variável de interesse tendem a estar localizados próximos a outros municípios com altos (ou baixos) valores da mesma variável, formando *clusters* de similaridade. Por outro lado, quando $I < 0$, observa-se uma predominância de agrupamentos dissimilares, em que municípios com altos valores de uma variável estão próximos a municípios com baixos valores da mesma variável, e vice-versa (Almeida, 2012).

A autocorrelação espacial local, representada pelo I de Moran Local, é dada por:

$$I_i = \sum_i z_i \sum_j w_{ij} z_j = \sum_i \sum_j w_{ij} z_i z_j \quad (3)$$

Matematicamente, a diferença entre as análises Global e Local reside no fato de que a equação para o I de Moran Local captura padrões locais de autocorrelação espacial, como pode ser observado pelo índice i . Esse indicador é conhecido como LISA (*Local Indicator of Spatial Association*) e avalia a associação espacial local e sua significância para cada município analisado.

As análises locais permitem identificar quatro tipos de padrões espaciais: (i) Alto-Alto (AA), em que municípios com altos valores da variável de interesse estão cercados por outros municípios que também apresentam altos valores; (ii) Baixo-Baixo (BB), em que municípios com baixos valores da variável de interesse estão próximos a outros municípios com baixos valores; (iii) Alto-Baixo (AB), em que municípios com altos valores estão rodeados por municípios com baixos valores; e (iv) Baixo-Alto (BA), em que municípios com baixos valores estão cercados por municípios com altos valores.

Dessa forma, a AEDE permitiu uma compreensão detalhada da distribuição espacial da eficiência técnica e dos padrões espaciais relacionados à produção de leite, identificando áreas de alta eficiência e produção, bem como possíveis discrepâncias que necessitam de atenção.

4.4 ESTRATÉGIA ECONOMETRICA

Os modelos econométricos Tobit, SAR Tobit e SEM Tobit são amplamente utilizados quando as variáveis dependentes são censuradas, ou seja, possuem limites superiores ou inferiores.

4.4.1 Tobit

Para investigar as variáveis que influenciam a eficiência dos produtores de leite no Sul do Brasil, pretende-se empregar o modelo econométrico Tobit, introduzido por Tobin (1958) para descrever a relação entre uma variável dependente não negativa, Y_i , e uma variável (ou vetor de variáveis) independente, X_i . A regressão Tobit é um modelo estatístico utilizado para analisar dados contínuos que estão restritos a um intervalo específico, como valores entre 0 e 1 (Tobin, 1958). Assim sendo, serão considerados eficientes os municípios que atingirem escore de eficiência igual a 1. Esse tipo de modelo é especialmente útil quando a variável dependente (o que se deseja prever ou explicar) não pode ultrapassar um limite inferior ou superior, como no caso de escores de eficiência, que naturalmente variam apenas dentro desse intervalo. O modelo Tobit, portanto, estima o valor verdadeiro da variável dependente, considerando os limites inferior e superior do intervalo (Greene, 2003).

A estratégia empírica a ser utilizada para calcular os determinantes se dará conforme a estrutura do modelo de Tobin (1958), adaptada à eficiência técnica na produção leiteira, conforme segue:

$$ET_i = X_i\beta + u_i \quad (4)$$

em que a eficiência técnica latente, representada por ET_i^* , é determinada a partir do vetor de variáveis independentes, X_i , que correspondem às produtividades do capital, do trabalho, da área dos estabelecimentos agropecuários, das vacas ordenhadas, e das variáveis climáticas (temperatura e precipitação), β representa os coeficientes a serem estimados, u_i é o erro, assumido como normalmente distribuído $u_i \sim N(0, \sigma^2)$.

No modelo Tobit, a variável dependente observada (ET) é uma versão censurada de uma variável latente (ET^*), que não é diretamente observada. A variável latente segue um processo de regressão linear, em que é influenciada por variáveis explicativas (X) e por um termo de erro (u_i), que segue uma distribuição normal. A variável observada, ET , é censurada nos limites inferior ($L=0$) e superior ($U=1$), o que significa que, se ET for menor ou igual a 0, será 0; se estiver entre 0 e 1, será igual a ET^* ; e se for maior ou igual a 1, será 1 (Greene, 2003).

A estimação dos parâmetros do modelo é feita por meio da maximização da função de verossimilhança, que leva em conta a probabilidade de observar os valores censurados e não censurados. Essa função considera a distribuição normal dos erros e a probabilidade acumulada associada aos limites de censura. Os coeficientes estimados indicam como as variáveis explicativas influenciam a variável latente, ET^* (Greene, 2003).

4.4.2 SAR Tobit

No modelo Tobit espacial autorregressivo (SAR Tobit), a dependência espacial é modelada diretamente na variável dependente (LeSage, 1998; Anselin, 1995). Isso significa que a eficiência técnica de uma unidade é influenciada pela eficiência técnica dos municípios vizinhos. A equação básica é dada por:

$$ET_i^* = \rho W_y + X\beta + \varepsilon_i \quad (5)$$

em que ET^* é a eficiência técnica latente, X é um vetor de variáveis explicativas, β são os coeficientes a serem estimados. O termo ρ é o coeficiente de autocorrelação espacial na variável dependente; W_y é a matriz de pesos espaciais que define a vizinhança entre as unidades e ε_i é o termo de erro não espacial, distribuído normalmente. Se ρ for significativo, isso indica que a eficiência técnica de uma unidade é diretamente influenciada pela eficiência

técnica das unidades vizinhas.

4.4.3 SEM Tobit

No modelo Tobit de erro espacial (SEM Tobit), a dependência espacial é modelada no termo de erro. Isso significa que a autocorrelação espacial não está diretamente na variável dependente (eficiência técnica), mas sim nos resíduos do modelo (LeSage, 1998; Anselin, 1995; Schmidtner *et al.*, 2012). Esse tipo de modelo é adequado quando a eficiência técnica de uma unidade é influenciada por fatores não observados que têm um padrão espacial, como condições climáticas, tecnologias, qualidade do solo ou políticas locais que não foram incluídas explicitamente no modelo. A equação básica é dada por:

$$\begin{aligned} ET_i^* &= X\beta + \mu_i \\ \mu_i &= \lambda W\mu + \varepsilon_i \end{aligned} \tag{6}$$

em que ET^* é a eficiência técnica latente, X é um vetor de variáveis explicativas, β são os coeficientes a serem estimados; μ é o termo de erro, que apresenta autocorrelação espacial. O termo λ é o coeficiente de autocorrelação espacial no erro; W_u é a matriz de pesos espaciais que define a vizinhança entre as unidades e ε é o termo de erro não espacial, distribuído normalmente. Se λ for significativo, isso indica que há dependência espacial nos resíduos, ou seja, a eficiência técnica de uma unidade é afetada por fatores não observados que estão correlacionados espacialmente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

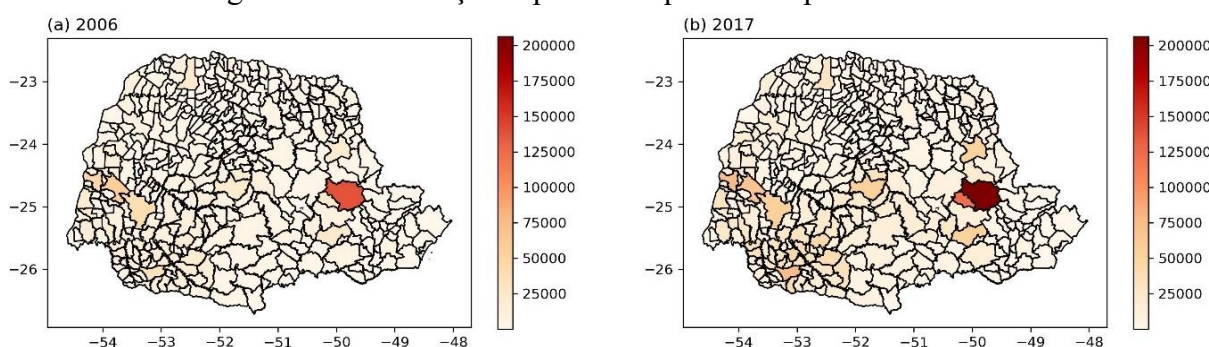
Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir das análises realizadas no estudo. Inicialmente, observaram-se os padrões de distribuição da produção de leite entre os municípios do Paraná. Em seguida, calcularam-se os níveis de eficiência técnica e analisadas possíveis interações espaciais entre os municípios. Por fim, analisaram-se os fatores que podem determinar a eficiência técnica, considerando aspectos produtivos e climáticos.

5.1 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRODUÇÃO DE LEITE NOS MUNICÍPIOS PARANAENSES

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial da quantidade produzida de leite nos municípios paranaenses nos anos de 2006 e 2017. Observa-se um preenchimento em vermelho mais forte no mapa de 2017 em relação ao de 2006, mostrando que a quantidade produzida de leite nos municípios aumentou no período estudado.

Percebe-se que o aumento na quantidade produzida ocorreu especialmente nas mesorregiões Oeste e Sudoeste paranaense e na microrregião de Ponta Grossa, com destaque para os municípios de Castro, Carambeí e Palmeira. O município de Castro destaca-se na produção, liderando o *ranking* de maiores produtores em ambos os anos, em 2006 produzindo aproximadamente 137 milhões de litros e em 2017 produzindo mais de 206 milhões.

Figura 4 – Distribuição espacial da quantidade produzida de leite



Fonte: Elaborada pela autora com base no Censo Agropecuário 2006 e 2017 – IBGE.

Esta análise é semelhante à conduzida por Silva, Camara e Telles (2016), que investigaram a distribuição espacial da produção de leite no Paraná nos anos de 2005 e 2011. Em relação à região Sudoeste, Fernandes, Bressan e Verneque (2004) e Silva, Camara e Telles (2016) ressaltam que, durante as décadas de 1990 e 2000, a mesorregião não

desempenhava um papel de destaque na produção nacional de leite, cenário que começou a mudar a partir de 2005. Além disso, Silva, Camara e Telles (2016) enfatizam o desempenho do município de Castro, que se manteve como o maior produtor em ambos os períodos analisados.

Como mencionado, Castro é um município que se destacou em ambos os anos, produzindo, no ano de 2006, mais que o dobro do segundo colocado, Toledo, que alcançou aproximadamente 56 milhões de litros. A Tabela 1 apresenta o *ranking* dos 15 principais municípios produtores de leite no estado do Paraná, nos anos de 2006 e 2017, e as respectivas quantidades produzidas.

Tabela 1 - *Ranking* dos 15 principais municípios produtores de leite do Paraná em 2006 e 2017

Posição 2006	Município	Quantidade Produzida (Mil Litros)	Posição 2017	Município	Quantidade Produzida (Mil Litros)
1	Castro	137.253	1	Castro	206.550
2	Toledo	56.842	2	Carambeí	122.084
3	Marechal Cândido Rondon	46.281	3	Francisco Beltrão	75.603
4	Cascavel	38.730	4	Marechal Cândido Rondon	72.884
5	Francisco Beltrão	32.774	5	Toledo	66.095
6	Carambeí	23.070	6	Cascavel	54.257
7	Paranavaí	21.961	7	Pitanga	54.088
8	Palmeira	21.015	8	Palmeira	52.822
9	Chopinzinho	20.094	9	Arapoti	52.003
10	Pitanga	20.093	10	Dois Vizinhos	44.660
11	Arapoti	18.473	11	Rio Bonito do Iguaçu	42.854

(Tabela continua na próxima página...)

Continuação da Tabela 1

Posição 2006	Município	Quantidade Produzida (Mil Litros)	Posição 2017	Município	Quantidade Produzida (Mil Litros)
12	Santa Helena	18.473	12	Chopinzinho	38.874
13	Dois Vizinhos	17.415	13	Marmeleiro	38.359
14	Manoel Ribas	16.791	14	São Jorge d'Oeste	34.454
15	Capanema	15.851	15	Mangueirinha	33.467

Fonte: Elaborada pela autora com base no Censo Agropecuário 2006 e 2017 – IBGE.

O município de Castro se destacou ao alcançar um aumento de 50,49% na produção de 2006 a 2017. Outro crescimento expressivo ocorreu em Carambeí, cuja produção saltou de 23 milhões de litros em 2006 para 122 milhões em 2017, representando um incremento de 429,19%. Com isso, o município subiu da sexta para a segunda posição entre os maiores produtores do estado. Vale ressaltar que Carambeí é vizinho geográfico de Castro, o que indica um possível padrão espacial. Ainda, segundo a Embrapa, os dois municípios juntamente com o município de Arapoti representam um relevante *cluster* para a produção de leite nacional (Embrapa, 2024).

5.2 ESTIMAÇÃO DOS ESCORES DE EFICIÊNCIA

Para avaliar a eficiência técnica na produção de leite nos municípios paranaenses em 2006 e 2017, foram estimados os escores de eficiência técnica por meio do método DEA. Dos trezentos e noventa e nove municípios paranaenses, quatro foram excluídos da amostra por não apresentarem alguma das cinco variáveis utilizadas na estimação da eficiência. São eles: Ivatuba, que não possuía as variáveis QP2006, VO2006, AT2017 e PO2017; Matinhos, que não possuía as variáveis QP2017, VO2017, NT2017, AT2017 e PO2017; Paiçandu, que não possuía as variáveis AT2017 e PO2017; e Santo Antônio do Paraíso, que não possuía a variável PO2017.

Os resultados indicam uma variação relativamente uniforme nos escores entre os municípios, com frequências que variaram de 0,12 a 1,00 em 2006 e de 0,13 a 1,00 em 2017.

Observa-se, entretanto, uma melhoria no desempenho do estado em relação aos municípios considerados eficientes, já que o número de municípios que alcançaram o escore máximo de eficiência (1,00) aumentou de quatro, em 2006, para dez, em 2017. Os dados da Tabela 2 descrevem os escores de eficiência técnica dos quinze municípios mais eficientes nos anos analisados.

Em 2006, os municípios paranaenses com escores máximos de eficiência técnica (1,00) foram Castro, Nova Esperança do Sudoeste, Pato Bragado, e Pontal do Paraná. Castro pertence ao Centro Oriental Paranaense, Nova Esperança do Sudoeste está no Sudoeste Paranaense, Pato Bragado no Oeste Paranaense, e Pontal do Paraná na região Metropolitana de Curitiba. Cada um desses municípios está localizado em uma mesorregião diferente, refletindo um potencial para alta eficiência técnica em diversas áreas do estado.

Tabela 2 – Municípios paranaenses mais eficientes em 2006 e 2017

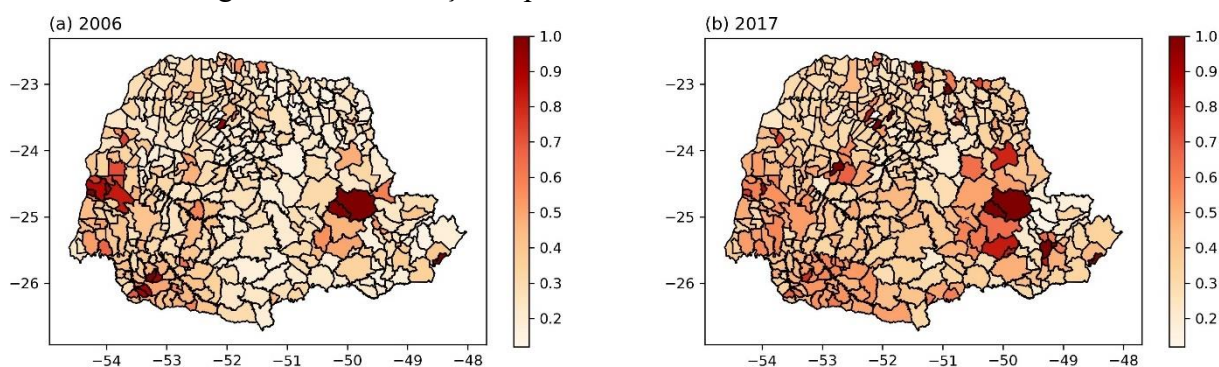
Município	Escore de Eficiência 2006	Município	Escore de Eficiência 2017
Castro	1,00	Boa Esperança	1,00
Nova Esperança do Sudoeste	1,00	Carambeí	1,00
Pato Bragado	1,00	Castro	1,00
Pontal do Paraná	1,00	Curitiba	1,00
Carambeí	0,980	Floresta	1,00
Enéas Marques	0,914	Nova Santa Bárbara	1,00
Floresta	0,912	Pinhais	1,00
Manfrinópolis	0,907	Pontal do Paraná	1,00
Quatro Pontes	0,905	Rancho Alegre	1,00
Salgado Filho	0,892	Sarandi	1,00
Marechal Cândido Rondon	0,872	Porecatu	0,983
Toledo	0,825	Quatro Pontes	0,878
Mercedes	0,748	Ourizona	0,831
Pérola	0,737	Palmeira	0,828
Maripá	0,734	Fazenda Rio Grande	0,820

Fonte: Elaborada pela autora com base no Censo Agropecuário 2006 e 2017 – IBGE.

Em 2017, alguns municípios que já haviam se destacado em 2006 continuaram apresentando bom desempenho, como Castro, Carambeí, Pontal do Paraná e Floresta. A entrada de novos municípios, como Boa Esperança, Curitiba, Nova Santa Bárbara, Pinhais, Rancho Alegre e Sarandi, entre os mais eficientes evidencia um espraiamento geográfico na eficiência técnica. Por outro lado, alguns municípios registraram uma redução significativa em seus escores, como Quatro Pontes, que caiu de 1,00 para 0,878. Outros municípios, como Nova Esperança do Sudoeste, Pato Bragado, Enéas Marques, Manfrinópolis, Salgado Filho, Marechal Cândido Rondon, Toledo, Mercedes e Maripá, também apresentaram queda, o que pode indicar uma deterioração nas práticas produtivas ou desafios locais específicos enfrentados por essas regiões. Pérola, que aparece no *ranking* de 2006, manteve um desempenho estável, com o escore passando de 0,737 em 2006 para 0,733 em 2017.

Essa dinâmica de desempenho evidencia variações significativas entre os municípios ao longo do período analisado, tanto em termos de ganhos quanto de perdas na eficiência técnica. Para complementar essa análise, a Figura 5 ilustra a distribuição espacial dos escores de eficiência nos dois períodos, permitindo uma visualização mais clara dessas mudanças.

Figura 5 – Distribuição espacial dos escores de eficiência técnica



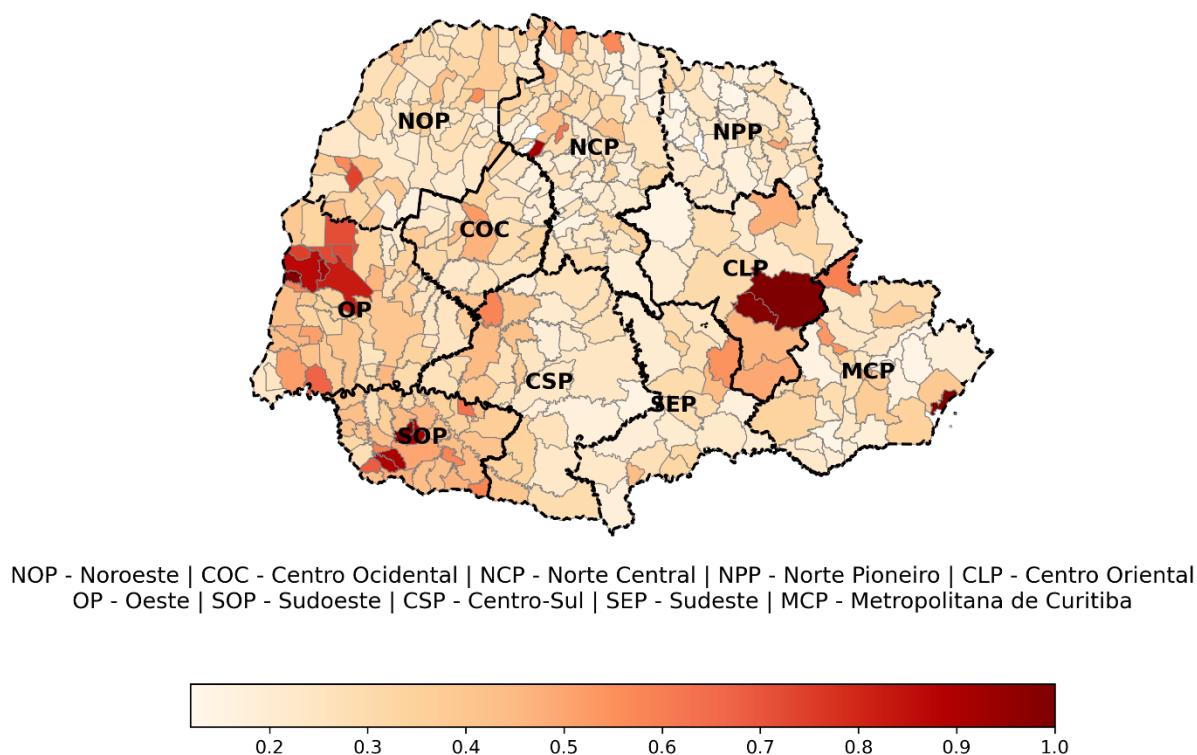
Fonte: Elaborada pela autora com base no Censo Agropecuário 2006 e 2017 – IBGE.

O aumento da eficiência técnica geral do estado pode ser observado pela maior predominância da cor marrom no mapa (b) em comparação com o mapa (a). Os tons mais intensos indicam que, em 2017, os municípios estavam mais próximos do valor máximo de eficiência do que em 2006. Destaca-se, em especial, uma melhora na eficiência dos municípios situados nas proximidades de Castro e Carambeí, na região Centro Oriental Paranaense, assim como nas mesorregiões Oeste e Sudoeste do estado. Para compreender melhor o comportamento dos municípios e seu impacto sobre as mesorregiões, a Figura 6 e a Figura 7 apresentam a distribuição espacial dos escores de eficiência, segmentada por

mesorregiões.

Conforme observado na Figura 6, há uma evidente desigualdade entre os municípios do Paraná em relação aos escores de eficiência técnica. Essa disparidade também se reflete dentro de cada mesorregião, onde existem municípios com alta e baixa eficiência. As mesorregiões Centro Oriental, Oeste e Sudoeste apresentam as áreas de maior eficiência técnica, destacadas pelos tons mais intensos de marrom no mapa. Por outro lado, regiões como o Norte Pioneiro exibem escores predominantemente mais baixos, representados pelos tons mais claros. Essa heterogeneidade evidencia diferenças significativas entre as regiões do estado, com algumas concentrando áreas altamente eficientes e outras com eficiência técnica reduzida.

Figura 6 – Distribuição espacial dos escores de eficiência técnica 2006 com demarcação das mesorregiões



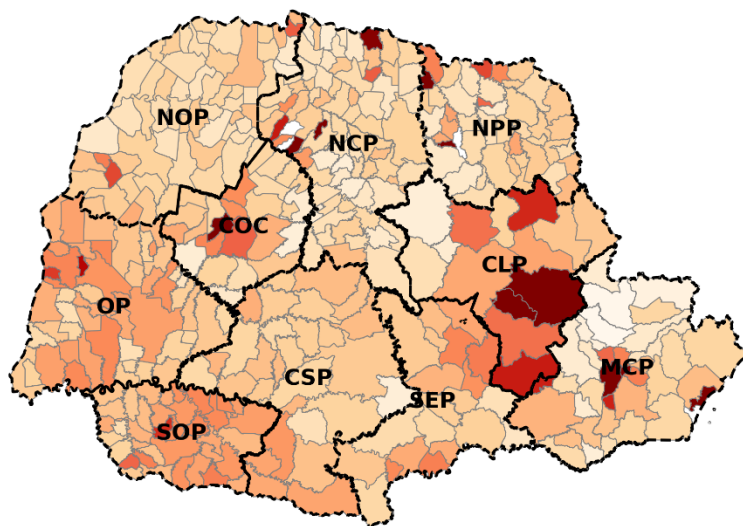
Fonte: Elaborada pela autora com base no Censo Agropecuário 2006 e 2017 – IBGE.

Na Figura 7, observa-se uma evolução na distribuição da eficiência técnica ao longo dos anos, marcada por mudanças regionais. De maneira geral, verifica-se uma melhoria nos escores de eficiência, indicada pelos tons mais escuros no mapa em relação a 2006, o que é corroborado pelo aumento da média geral, conforme apresentado na Tabela 4. No entanto, a heterogeneidade entre os municípios e entre as mesorregiões persiste, reforçando as desigualdades regionais como um desafio contínuo.

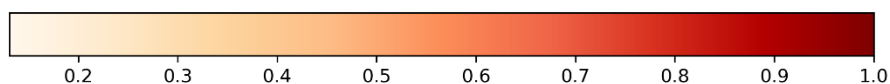
As três mesorregiões que se destacaram em 2006 – Centro Oriental, Oeste e Sudoeste – mantiveram-se relevantes em 2017, mas com dinâmicas distintas. A mesorregião Centro Oriental apresentou ganhos adicionais de eficiência técnica, sobretudo em municípios que já eram eficientes em 2006, indicando um aumento proporcional nos escores desses municípios. No caso das mesorregiões Oeste e Sudoeste, houve uma melhor distribuição dos escores de eficiência entre os municípios, tornando essas regiões mais homogêneas. É importante destacar que deixaram de possuir município com eficiência máxima, porém com melhorias em vários municípios que tinham baixa eficiência.

Outras mesorregiões, como Noroeste, Norte Central, Centro-Sul e Sudeste, também registraram aumentos proporcionais nos escores de eficiência técnica. Já as mesorregiões Centro Ocidental e Norte Pioneiro demonstraram avanços significativos, com o surgimento de municípios tecnicamente eficientes, embora a distribuição de eficiência permaneça heterogênea. A mesorregião Metropolitana de Curitiba ganhou destaque ao registrar o maior número de municípios eficientes em 2017, passando de um em 2006 para três. Entretanto, essa melhoria foi concentrada em municípios específicos, o que resultou em menor homogeneidade na eficiência técnica da região.

Figura 7 – Distribuição espacial dos escores de eficiência técnica 2017 com demarcação das mesorregiões



NOP - Noroeste | COC - Centro Ocidental | NCP - Norte Central | NPP - Norte Pioneiro | CLP - Centro Oriental
OP - Oeste | SOP - Sudoeste | CSP - Centro-Sul | SEP - Sudeste | MCP - Metropolitana de Curitiba



Fonte: Elaborada pela autora com base no Censo Agropecuário 2006 e 2017 – IBGE.

Alguns municípios merecem destaque por apresentarem baixa eficiência técnica tanto em 2006 quanto em 2017. Um exemplo é Ortigueira, situado na mesma mesorregião de Castro e Carambeí – municípios referência na pecuária leiteira no estado e no país –, mas que continua com um desempenho extremamente baixo. Outro ponto de atenção são municípios da mesorregião Metropolitana de Curitiba, vizinhos de Castro, como Balsa Nova, Campo Magro, Cerro Azul, Doutor Ulysses, Itaperuçu e Rio Branco do Sul. Esses municípios exibiram uma redução nos escores de eficiência técnica ao longo do período, apresentando melhores resultados em 2006 do que em 2017.

Esses resultados são consequência de desafios relacionados ao acesso desigual a insumos essenciais que influenciam diretamente os níveis de eficiência técnica. As diferenças observadas refletem disparidades no uso eficiente dos recursos disponíveis, sejam eles de natureza econômica, como capital e trabalho, ou relacionados a fatores ambientais e condições naturais específicas de cada região.

Conforme mencionado anteriormente, ocorreram diversas mudanças significativas entre as mesorregiões ao longo do período analisado. A Tabela 3 destaca algumas dessas transformações ao apresentar a quantidade de municípios tecnicamente eficientes em cada mesorregião.

Tabela 3 – Municípios paranaenses eficientes tecnicamente por mesorregião

Município	Quantidade 2006	Quantidade 2017
Centro Ocidental Paranaense	0	1
Centro Oriental Paranaense	1	2
Centro-Sul Paranaense	0	0
Metropolitana de Curitiba	1	3
Noroeste Paranaense	0	0
Norte Central Paranaense	0	2
Norte Pioneiro Paranaense	0	2
Oeste Paranaense	1	0
Sudeste Paranaense	0	0
Sudoeste Paranaense	1	0
Total	4	10

Fonte: Elaborada pela autora com base no Censo Agropecuário 2006 e 2017 – IBGE.

Para compreender melhor a distribuição e os padrões de eficiência técnica nos dois períodos analisados, são apresentadas as estatísticas descritivas na Tabela 4. Esses dados fornecem uma visão detalhada dos níveis médios de eficiência, dos escores mínimos e máximos, além do desvio padrão, que indica a variabilidade dos dados em relação à média. Essa análise permite aprofundar a compreensão das disparidades entre as mesorregiões.

A análise dos dados de eficiência técnica na produção de leite nos municípios paranaenses em 2006 e 2017 destaca aspectos relevantes. Primeiramente, houve uma melhoria geral na eficiência técnica, com a média aumentando de 0,32 para 0,40, indicando que os produtores de leite, em média, tornaram-se mais eficientes ao longo do período. Juntamente com esse avanço, a proporção de municípios com desempenho abaixo da média estadual reduziu, passando de 63% em 2006 para 62% em 2017. Além disso, o desvio padrão, que mede a variabilidade da eficiência entre os municípios, permaneceu em 0,16, evidenciando a estabilidade na disparidade regional da eficiência técnica entre os municípios.

Tabela 4 - Estatísticas descritivas dos escores de eficiência técnica calculados para mesorregiões paranaenses em 2006 e 2017

Mesorregião	Dados de 2006				Dados de 2017			
	Média	Mín	Máx	DP	Média	Mín	Máx	DP
Centro Ocidental Paranaense	0,29	0,16	0,53	0,09	0,41	0,19	1,00	0,17
Centro Oriental Paranaense	0,39	0,14	1,00	0,28	0,56	0,20	1,00	0,27
Centro-Sul Paranaense	0,29	0,15	0,59	0,10	0,40	0,20	0,54	0,08
Metropolitana de Curitiba	0,30	0,13	1,00	0,16	0,42	0,13	1,00	0,24
Noroeste Paranaense	0,30	0,16	0,74	0,10	0,35	0,22	0,73	0,09
Norte Central Paranaense	0,28	0,13	0,91	0,12	0,36	0,20	1,00	0,16
Norte Pioneiro Paranaense	0,23	0,12	0,51	0,07	0,40	0,24	1,00	0,17
Oeste Paranaense	0,43	0,21	1,00	0,20	0,45	0,26	0,88	0,12
Sudeste Paranaense	0,29	0,17	0,54	0,10	0,44	0,25	0,61	0,11
Sudoeste Paranaense	0,49	0,28	1,00	0,18	0,50	0,30	0,78	0,09
Total	0,32	0,12	1,00	0,16	0,41	0,13	1,00	0,16

Fonte: Elaborada pela autora com base no Censo Agropecuário 2006 e 2017 – IBGE.

No entanto, a análise detalhada por mesorregião mostra diferenças notáveis. A mesorregião Centro Oriental Paranaense experimentou um aumento significativo na eficiência média de 0,39 para 0,56, embora a alta variabilidade ainda indique grandes disparidades entre os municípios. Por outro lado, a mesorregião Oeste Paranaense apresentou um aumento modesto na eficiência média de 0,43 para 0,45, acompanhado de uma redução na variabilidade, o que sugere uma melhoria mais uniforme entre os municípios dessa região.

Na mesorregião Metropolitana de Curitiba, a eficiência média subiu de 0,30 para 0,42, mas com um aumento no desvio padrão, indicando que, enquanto alguns municípios melhoraram consideravelmente, outros ainda têm desempenhos inferiores. As mesorregiões Centro Ocidental Paranaense e Centro-Sul Paranaense apresentaram elevada melhoria na eficiência média. No entanto, quanto à disparidade entre os municípios, os resultados foram distintos: enquanto a Centro Ocidental Paranaense registrou um aumento na disparidade ao longo do período, a Centro-Sul Paranaense reduziu essa desigualdade.

A mesorregião Noroeste e Norte Central Paranaense mostraram aumentos modestos na eficiência média e pouca variação entre os municípios, indicando um progresso estável, ainda que pequeno em magnitude. No Sudoeste Paranaense, a eficiência média aumentou de 0,49 para 0,50 com uma redução significativa na variabilidade, sugerindo uma melhoria na eficiência técnica e uma maior uniformidade entre os municípios.

Já o Norte Pioneiro Paranaense apresentou um aumento na média de eficiência de 0,23 para 0,40, indicando grande melhoria, porém com uma maior disparidade na eficiência técnica entre os municípios, já que houve um aumento no desvio padrão. A mesorregião Sudeste Paranaense teve um aumento na eficiência média de 0,29 para 0,44, acompanhada de um aumento moderado na variabilidade, sugerindo melhorias na eficiência técnica, mas também uma maior disparidade entre os municípios.

Esses resultados mostram um progresso geral na eficiência técnica da produção de leite, mas com variações significativas entre as diferentes mesorregiões. Algumas regiões experimentaram melhorias uniformes, enquanto outras mostram disparidades que podem exigir intervenções específicas para promover um avanço mais equitativo.

5.3 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS (AEDE)

A AEDE tem início com a verificação da presença de autocorrelação espacial por meio do Índice de Moran Global, cujos resultados estão apresentados na Tabela 5. Para complementar a análise da eficiência técnica, também foi aplicada a AEDE à quantidade de

leite produzida nos municípios paranaenses. Os resultados indicam que todos os coeficientes apresentam valores positivos, sugerindo a predominância de *clusters* de similaridade entre os municípios. Além disso, os *p*-valores obtidos para todas as convenções testadas estão próximos de zero, o que reforça a significância estatística.

Os valores evidenciam a presença de padrões espaciais significativos na produção de leite entre os municípios, demonstrando que a localização geográfica influencia tanto a eficiência técnica quanto a quantidade produzida.

Tabela 5 – Índices de Moran Global

	Rainha 1	Rainha 2
Moran Univariado (Quantidade Produzida 2006)	0,190 <i>p</i> -valor: 0,001	0,095 <i>p</i> -valor: 0,003
Moran Univariado (Quantidade Produzida 2017)	0,309 <i>p</i> -valor: 0,001	0,144 <i>p</i> -valor: 0,001
Moran Univariado (Eficiência Técnica 2006)	0,447 <i>p</i> -Valor: 0,001	0,255 <i>p</i> -Valor: 0,001
Moran Univariado (Eficiência Técnica 2017)	0,245 <i>p</i> -Valor: 0,001	0,064 <i>p</i> -Valor: 0,002

Fonte: Elaborada pela autora.

Para aprofundar essa análise, foi aplicada a Análise de Indicador de Associação Espacial Local (LISA), com o objetivo de identificar os agrupamentos ou *clusters*. A convenção "Rainha 1" foi utilizada para a LISA, escolhida por apresentar maior magnitude na estatística *I* de Moran, acompanhada de significância estatística.

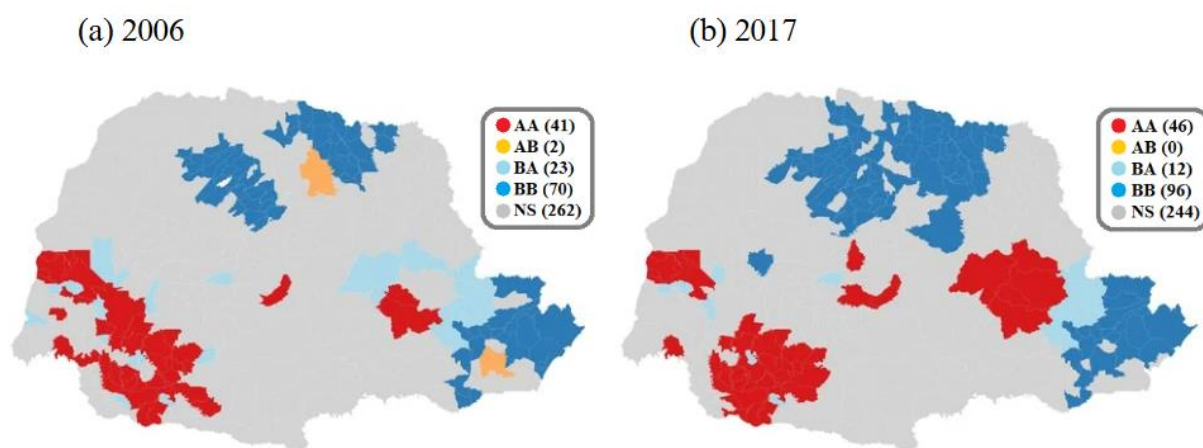
A Figura 8 apresenta os mapas LISA, que ilustram os agrupamentos de municípios com base na variável de quantidade produzida de leite. Os resultados confirmam a análise dos Índices de Moran, os quais indicaram a existência de autocorrelação positiva entre os municípios. Nota-se, ainda, a formação clara de *clusters* de similaridade para essa variável.

O *cluster* Alto-Alto, representado pela cor vermelha no mapa, consistiu em 41 municípios em 2006 e 46 municípios em 2017, no entanto, houve alterações em sua composição ao longo do período. Na mesorregião Centro Oriental, o *cluster* expandiu com a inclusão de mais municípios, no centro do estado também foi observada uma ampliação similar. Por outro lado, os *clusters* localizados nas regiões Oeste e Sudeste passaram por uma divisão entre os dois anos analisados. Esse padrão de *cluster* Alto-Alto representa municípios com alta produção de leite que são vizinhos geográficos de outros municípios igualmente

produtivos, ou seja, os municípios com elevados níveis de produção leiteira estão concentrados especialmente na metade sul do estado, demonstrando uma forte concentração geográfica de alta produção.

Os *clusters* Baixo-Baixo, que incluíam 70 municípios em 2006, passaram a contar com 96 em 2017, mantendo-se nas mesmas áreas em ambos os períodos, mesorregião Metropolitana de Curitiba, Norte Central e no Norte Pioneiro. Na primeira região, houve a inclusão de municípios ao seu redor, enquanto nas outras duas os *clusters* se unificaram ao longo dos anos. Esse resultado evidencia a tendência de municípios com baixa produção de leite estarem próximos a outros com características semelhantes.

Figura 8 – Mapas LISA da quantidade produzida de leite nos municípios paranaenses



Fonte: Elaborada pela autora com base no Censo Agropecuário 2006 e 2017 – IBGE.

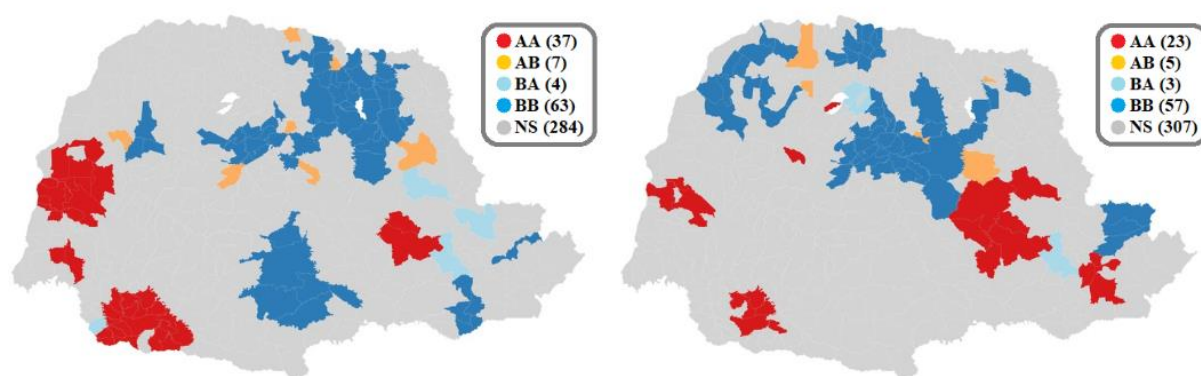
A Figura 9 apresenta os agrupamentos resultantes da análise da eficiência técnica dos municípios paranaenses. Em 2006, o *cluster* Alto-Alto era composto por 37 municípios, concentrados principalmente em três mesorregiões. No entanto, em 2017, esse número reduziu para 23 municípios, que se tornaram mais dispersos entre várias mesorregiões. Observa-se também que o *cluster* passou a incluir um número maior de municípios próximo a Castro e Carambeí, localizados na mesorregião Centro-Oriental, enquanto diversos municípios das regiões Oeste e Sudoeste foram excluídos do agrupamento.

O *cluster* Alto-Alto reflete uma concentração geográfica de locais que mantêm elevados níveis de eficiência na produção de leite. A predominância e o aumento de municípios na mesorregião Centro-Oriental no *cluster* Alto-Alto em 2017 indicam que essa área tem se destacado de forma consistente em termos de eficiência técnica ao longo do tempo. Por outro lado, a exclusão de municípios das regiões Oeste e Sudoeste pode sugerir mudanças nas práticas produtivas, como no uso dos recursos disponíveis para a produção. Em

resumo, o *cluster* Alto-Alto representa áreas de alta eficiência técnica na produção de leite, destacando um padrão espacial de excelência concentrado em regiões específicas do estado.

O *cluster* Baixo-Baixo, que em 2006 incluía 63 municípios, foi reduzido para 57 em 2017. Embora tenha sofrido pouca variação no número de municípios, houve mudanças em sua composição. Um dos principais destaques é o desaparecimento do *cluster* entre as mesorregiões Centro-Sul e Sudeste, presente em 2006, que não aparece mais em 2017. Além disso, em 2017, surgiu um novo *cluster* na mesorregião Noroeste, o qual não estava presente em 2006. Essas mudanças na composição dos *clusters* resultaram em uma maior concentração de baixa eficiência técnica na metade norte do estado ao longo do período analisado, indicando um agrupamento de municípios com baixa eficiência nessas regiões.

Figura 9 – Mapas LISA dos escores de eficiência técnica dos municípios paranaenses
(a) 2006 (b) 2017



Fonte: Elaborada pela autora com base no Censo Agropecuário 2006 e 2017 – IBGE.

O aumento no número de municípios não significativos, que passou de 284 em 2006 para 307 em 2017, indica uma menor correlação espacial da eficiência técnica, ou seja, um número maior de municípios não está influenciando seus vizinhos.

Ao comparar a análise da eficiência técnica com a análise da quantidade produzida de leite, observa-se que, apesar do aumento e da concentração notável da produção, especialmente nas regiões Oeste e Sudoeste, muitos municípios nessas áreas ainda apresentam baixos escores de eficiência técnica. Isso sugere que, embora a produção tenha aumentado, há um grande potencial para melhorar o desempenho técnico na maioria dos municípios, indicando que o crescimento na produção de leite não foi acompanhado por melhorias equivalentes na eficiência técnica.

5.4 ANÁLISE DOS DETERMINANTES DA EFICIÊNCIA TÉCNICA

A análise dos determinantes da eficiência técnica é fundamental para compreender os fatores que influenciam o desempenho produtivo de unidades agropecuárias, considerando, neste caso, cada município. Essa eficiência reflete a capacidade de minimizar a utilização de insumos para alcançar um determinado nível de produção ou, alternativamente, maximizar a produção com um uso determinado de insumos. Diversos aspectos impactam essa eficiência, e sua identificação e avaliação permite propor estratégias que contribuam para o crescimento e o desenvolvimento da atividade.

Para identificar os fatores que explicam os níveis de eficiência técnica, inicialmente foi utilizado o modelo Tobit, que permite analisar uma variável dependente limitada em função de variáveis independentes, esse modelo foi escolhido com base em estudos consolidados na literatura. Posteriormente, considerando que a AEDE revelou a existência de autocorrelação espacial na variável de eficiência técnica, foram aplicados os modelos SAR Tobit e SEM Tobit. Ambos incorporam a estrutura espacial ao modelo, permitindo verificar se essa abordagem torna a análise mais explicativa.

O modelo SAR Tobit combina o modelo Tobit com uma estrutura espacial, levando em conta que a variável dependente pode ser influenciada pelos valores da variável dependente das observações vizinhas. Já o modelo SEM Tobit também integra o modelo Tobit com uma estrutura espacial, mas considera que os erros da regressão podem ser influenciados pelos erros das observações vizinhas, sendo utilizado quando se acredita que variáveis não observadas afetam o modelo. Os resultados das estimações obtidos para essas abordagens para o ano de 2006 estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados das estimações dos modelos para o ano de 2006

Variável dependente: Eficiência Técnica 2006			
Variáveis independentes	Tobit	SAR Tobit	SEM Tobit
Produtividade do trabalho 2006	-0,002938 <i>p</i> -valor 0,169	-0,002643 <i>p</i> -valor 0,216	-0,005300*** <i>p</i> -valor 0,010
Produtividade do capital 2006	0,003424*** <i>p</i> -valor 0,000	0,003403*** <i>p</i> -valor 0,000	0,003728*** <i>p</i> -valor 0,000
Produtividade das vacas 2006	0,058132*** <i>p</i> -valor 0,000	0,059100*** <i>p</i> -valor 0,000	0,060918*** <i>p</i> -valor 0,000

(Tabela continua na próxima página...)

Continuação da Tabela 6

Variável dependente: Eficiência Técnica 2006

Variáveis independentes	Tobit	SAR Tobit	SEM Tobit
Produtividade da área 2006	0,158184*** <i>p</i> -valor 0,000	0,156135*** <i>p</i> -valor 0,000	0,163585*** <i>p</i> -valor 0,000
Chuva verão 2006	0,000060 <i>p</i> -valor 0,669	0,000060 <i>p</i> -valor 0,669	0,000053 <i>p</i> -valor 0,696
Chuva outono 2006	0,000070 <i>p</i> -valor 0,712	0,000089 <i>p</i> -valor 0,639	-0,000447** <i>p</i> -valor 0,015
Chuva inverno 2006	0,000109 <i>p</i> -valor 0,634	0,000045 <i>p</i> -valor 0,846	0,000462** <i>p</i> -valor 0,037
Chuva primavera 2006	-0,000288 <i>p</i> -valor 0,104	-0,000254 <i>p</i> -valor 0,155	0,000029 <i>p</i> -valor 0,868
Temperatura verão 2006	0,022702 <i>p</i> -valor 0,282	0,023077 <i>p</i> -valor 0,275	0,019010 <i>p</i> -valor 0,353
Temperatura outono 2006	0,061841** <i>p</i> -valor 0,012	0,056217** <i>p</i> -valor 0,022	0,029141 <i>p</i> -valor 0,221
Temperatura inverno 2006	0,016337 <i>p</i> -valor 0,544	0,013587 <i>p</i> -valor 0,622	0,106697*** <i>p</i> -valor 0,000
Temperatura primavera 2006	-0,090225*** <i>p</i> -valor 0,000	-0,083234*** <i>p</i> -valor 0,000	-0,132749*** <i>p</i> -valor 0,000
Wy	-	-0,001973 <i>p</i> -valor 0,494	-
Lambda	-	-	0,067008*** <i>p</i> -valor 0,000
Sigma	0,076462	0,076467	0,0741
R^2	0,7713	0,7712	0,7850
R^2 Ajustado	0,7642	0,7634	0,7783
Critério Akaike (AIC)	-884,3189	-882,0773	-908,7234
Critério Schwarz (BIC)	-832,5934	-826,3729	-856,9979
Log Likelihood	455,1595	455,0387	467,3617

Fonte: Elaborada pela autora.

Notas: *** para significativo a 1%; ** para significativo a 5%; * para significativo a 10%.

Nas estimações realizadas com as variáveis do ano de 2006, todos os critérios de qualidade e ajustes² indicaram que o modelo SEM Tobit é o mais adequado para a análise.

² Foram analisados os critérios R^2 , R^2 ajustado, AIC, BIC e *Log Likelihood*. Para maiores detalhes, ver Greene (2003, p.159-160).

Também, empiricamente, o modelo se ajusta, já que existe a possibilidade de haver variáveis que determinam a eficiência omitidas no erro da regressão, como assistência técnica, variados fatores tecnológicos, genética, experiência dos proprietários, entre outras. Dessa forma, os determinantes da eficiência técnica foram avaliados com base nos coeficientes estimados a partir desse modelo.

Todas as variáveis de produtividade mostraram-se estatisticamente significativas ao nível de 1%, duas variáveis relacionadas à temperatura – Temperatura Inverno e Temperatura Primavera - também apresentaram significância estatística a esse nível, assim como a variável Lambda, que indica os efeitos espaciais.

Entre as variáveis de produtividade, a Produtividade do Trabalho foi a única a apresentar um coeficiente negativo (-0,005300), indicando que um aumento de 1 unidade nessa variável está associado a uma redução de 0,005300 na eficiência técnica. Por outro lado, as demais variáveis de produtividade apresentaram coeficientes positivos, evidenciando seu impacto positivo sobre a eficiência.

A Produtividade do Capital revelou que um aumento de 1 unidade resulta em um incremento de 0,003728 na eficiência técnica, enquanto a Produtividade das Vacas indicou que o aumento de 1 unidade eleva a eficiência técnica em 0,060918. Esses resultados estão em consonância com os achados de Gonçalves *et al.* (2008), que constatou que o aumento da produtividade do fator de produção capital confere às fazendas indicadores de desempenho mais favoráveis. A Produtividade da Área, que apresentou o maior coeficiente (0,163585), mostrando-se a variável com maior impacto do modelo, indica que um incremento de 1 unidade gera um aumento de 0,163585 na eficiência técnica. Por fim, a variável Lambda, que reflete a autocorrelação espacial entre os erros de uma observação e os erros das observações vizinhas, apresentou um coeficiente de 0,067008, evidenciando a existência de dependência espacial entre os erros do modelo e reforçando a importância de considerar aspectos espaciais na análise.

A variável Temperatura Inverno apresentou um coeficiente de 0,106697, indicando que um aumento de 1°C na temperatura durante o inverno está associado a um incremento de 0,106697 na eficiência técnica, configurando-se como a terceira variável de maior impacto sobre a eficiência. Por outro lado, a variável Temperatura Primavera apresentou um coeficiente negativo (-0,132749), o que revela que um aumento de 1°C na temperatura durante a primavera resulta em uma redução de 0,132749 na eficiência técnica, sendo esta a segunda variável com maior impacto na análise.

As variáveis Chuva Outono e Chuva Inverno mostraram-se estatisticamente

significativas ao nível de 5%. O coeficiente da variável Chuva Outono, igual a -0,000447, indica que um aumento de 1 mm de precipitação no outono está associado a uma redução de 0,000447 na eficiência técnica. Em contrapartida, o coeficiente da variável Chuva Inverno, de 0,000462, revela que um aumento de 1 mm de precipitação no inverno resulta em um incremento de 0,000462 na eficiência técnica.

Por outro lado, as variáveis Chuva Verão, Chuva Primavera, Temperatura Verão e Temperatura Outono não apresentaram significância estatística na estimação do modelo.

Para a análise dos determinantes da eficiência técnica no ano de 2017, considerando os critérios de qualidade e ajuste, o modelo SAR Tobit seria o mais adequado, conforme resultados apresentados na Tabela 7. No entanto, tendo em vista que um dos objetivos do estudo é a comparação entre os dois anos analisados, optou-se por utilizar o modelo SEM Tobit, que também apresenta um bom ajuste aos dados. Além disso, o coeficiente Lambda, utilizada no modelo SEM Tobit, mostrou-se estatisticamente significativa ao nível de 1%, enquanto o coeficiente da variável Wy, associada ao modelo SAR Tobit, apresentou significância apenas ao nível de 10%.

Tabela 7 – Resultados das estimações dos modelos para o ano de 2017

Variável dependente: Eficiência Técnica 2017			
Variáveis independentes	Tobit	SAR Tobit	SEM Tobit
Produtividade do trabalho 2017	-0,003013 <i>p</i> -valor 0,116	-0,002139 <i>p</i> -valor 0,263	-0,003463* <i>p</i> -valor 0,071
Produtividade do capital 2017	0,000671** <i>p</i> -valor 0,050	0,000618* <i>p</i> -valor 0,071	0,001072*** <i>p</i> -valor 0,002
Produtividade das vacas 2017	0,069316*** <i>p</i> -valor 0,000	0,067790*** <i>p</i> -valor 0,000	0,067313*** <i>p</i> -valor 0,000
Produtividade da área 2017	0,057537*** <i>p</i> -valor 0,000	0,052959*** <i>p</i> -valor 0,000	0,056813*** <i>p</i> -valor 0,000
Chuva verão 2017	0,000243 <i>p</i> -valor 0,149	0,000354** <i>p</i> -valor 0,043	-0,000349** <i>p</i> -valor 0,038
Chuva outono 2017	0,000126 <i>p</i> -valor 0,500	0,000133 <i>p</i> -valor 0,476	-0,000405** <i>p</i> -valor 0,030
Chuva inverno 2017	0,000286 <i>p</i> -valor 0,446	0,000160 <i>p</i> -valor 0,670	0,002160*** <i>p</i> -valor 0,000
Chuva primavera 2017	-0,000593*** <i>p</i> -valor 0,000	-0,000517*** <i>p</i> -valor 0,003	-0,000432** <i>p</i> -valor 0,012
Temperatura verão 2017	0,004260 <i>p</i> -valor 0,902	0,009478 <i>p</i> -valor 0,784	-0,152630*** <i>p</i> -valor 0,000

(Tabela continua na próxima página...)

Continuação da Tabela 7

Variável dependente: Eficiência Técnica 2017

Variáveis independentes	Tobit	SAR Tobit	SEM Tobit
Temperatura outono 2017	0,035636 <i>p</i> -valor 0,441	0,025943 <i>p</i> -valor 0,573	0,198820*** <i>p</i> -valor 0,000
Temperatura inverno 2017	0,008442 <i>p</i> -valor 0,793	-0,007980 <i>p</i> -valor 0,810	-0,007150 <i>p</i> -valor 0,824
Temperatura primavera 2017	-0,035392 <i>p</i> -valor 0,226	-0,020594 <i>p</i> -valor 0,486	-0,003235 <i>p</i> -valor 0,912
Wy	-	-0,007273* <i>p</i> -valor 0,062	-
Lambda	-	-	0,062144*** <i>p</i> -valor 0,000
Sigma	0,124357	0,123822	0,1243
R^2	0,3977	0,4022	0,3976
R^2 Ajustado	0,3788	0,3818	0,3787
Critério Akaike (AIC)	-500,1861	-501,1439	-500,1431
Critério Schwarz (BIC)	-448,4606	-445,4395	-448,4176
Log Likelihood	263,0931	264,5719	263,0716

Fonte: Elaborada pela autora.

Notas: *** para significativo a 1%; ** para significativo a 5%; * para significativo a 10%.

Conforme a Tabela 7, em 2017, apenas duas variáveis não são estatisticamente significativas: Temperatura Inverno e Temperatura Primavera. No entanto, em 2006, essas mesmas variáveis explicavam a eficiência. Por outro lado, variáveis como Chuva Verão, Chuva Primavera, Temperatura Verão e Temperatura Outono, que não eram significativas em 2006, passam a ser determinantes para a eficiência em 2017. Dentre elas, Chuva Verão e Chuva Primavera são significativas a 5%, enquanto Temperatura Verão e Temperatura Outono apresentam significância a 1%.

Ao analisar individualmente essas variáveis, observa-se que Chuva Verão, anteriormente não significativa, passa a influenciar negativamente a eficiência em 2017, com um aumento de 1 mm de chuva no verão reduzindo a eficiência em 0,000349. De forma semelhante, um acréscimo de 1 mm de chuva na primavera resulta em uma queda de 0,000432 na eficiência. Outra variável estatisticamente significativa a 5%, Chuva Outono, que

impactava negativamente a eficiência em 2006, mantém esse comportamento em 2017, com uma redução de 0,000405 para cada 1 mm de aumento na chuva do outono.

Entre as variáveis relacionadas à temperatura, Temperatura Verão, que não afetava a eficiência em 2006, passa a ter um impacto negativo significativo em 2017. Um aumento de 1°C no verão reduz a eficiência técnica em 0,152630, tornando-se a segunda variável com maior impacto na eficiência. Em contrapartida, Temperatura Outono, que também passa a ser significativa em 2017, afeta positivamente a eficiência, com um acréscimo de 1°C no outono resultando em um aumento de 0,198820 na eficiência técnica, sendo essa a variável de maior impacto no modelo.

Em 2017, a única variável estatisticamente significativa a 10% é a Produtividade do Trabalho. Em 2006, essa variável apresentava uma significância maior, a 1%. Apesar dessa mudança no nível de significância, seu coeficiente continua afetando de maneira negativa a eficiência, onde um aumento de 1 unidade na produtividade do trabalho resulta em uma redução de 0,003463 na eficiência.

A relação negativa entre Produtividade do Trabalho e Eficiência Técnica, em ambos os anos, pode ser explicada pela interação entre a disponibilidade de mão de obra e o aproveitamento dos demais fatores de produção. Estudos como os de Breitenbach e Rosolen (2020) e Vilela *et al.* (2017) destacam a escassez de trabalhadores no setor leiteiro, um problema recorrente que pode impactar a eficiência técnica. A redução no número de trabalhadores tende a aumentar a produtividade do trabalho, uma vez que a produção passa a ser realizada por um número menor de pessoas. No entanto, a menor disponibilidade de mão de obra pode resultar no aproveitamento inadequado de outros fatores de produção, como o capital investido, a área da propriedade e o rebanho em lactação. Com menos trabalhadores para manejar os animais e operar os equipamentos, parte da estrutura produtiva pode permanecer ociosa, comprometendo a eficiência técnica do sistema.

Um exemplo prático dessa dinâmica ocorre no manejo da ordenha. Segundo Leão *et al.* (2015), a realização de três ordenhas diárias, em vez de duas, permite um maior aproveitamento do potencial produtivo das vacas, resultando em um aumento da produção de leite. No entanto, para realizar essa maior frequência de ordenhas, é necessário ter um número suficiente de trabalhadores. Com menos funcionários, a propriedade pode ser forçada a reduzir o número de ordenhas diárias, comprometendo a produtividade dos animais e aumentando a ociosidade dos equipamentos de ordenha e demais infraestruturas. Dessa forma, mesmo que a produtividade do trabalho aumente com a redução do número de trabalhadores, a eficiência técnica pode cair devido ao uso inadequado dos demais fatores produtivos.

As demais variáveis de produtividade – Produtividade do Capital, Produtividade das Vacas e Produtividade da Área – continuam sendo significativas a 1%, mantendo coeficientes positivos, o que indica uma influência positiva sobre a eficiência. Especificamente, um aumento de 1 unidade na Produtividade do Capital eleva a eficiência em 0,001072, enquanto um incremento de 1 unidade na Produtividade das Vacas gera um aumento de 0,067313 na eficiência, sendo essa a terceira variável mais impactante, ainda, a Produtividade da Área, ao aumentar 1 unidade, eleva a eficiência em 0,056813.

Conforme a teoria econômica e as literaturas existentes, a relação positiva das demais variáveis de produtividade com a eficiência técnica era esperada, uma vez que, a utilização de menos insumos resulta em um aumento na produtividade, o que leva a um incremento na eficiência técnica.

Por fim, assim como em 2006, a variável *Lambda* se destaca na regressão. Seu coeficiente positivo e significância estatística sugerem a presença de variáveis omitidas no termo de erro, correlacionadas espacialmente, que contribuem para explicar a Eficiência Técnica.

Em ambos os anos, a análise foi realizada com uma amostra de 395 municípios, uma vez que determinadas variáveis não possuíam dados disponíveis para todos os municípios. Assim, foram excluídos da amostra, tanto em 2006 quanto em 2017, os municípios de Ivatuba, Matinhos, Paiçandu e Santo Antônio do Paraíso.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo analisar os determinantes da eficiência técnica da produção de leite nos municípios do Paraná nos anos de 2006 e 2017, com base nos Censos Agropecuários do IBGE e no *Climatic Research Unit* – CRU. A metodologia baseou-se no método DEA, que permitiu estimar os escores de eficiência técnica, e na AEDE, detectando padrões espaciais de variáveis. Além disso, o modelo econométrico Tobit e suas versões espaciais, SAR Tobit e SEM Tobit, foram utilizados para identificar os fatores determinantes da eficiência técnica, dentre eles, fatores produtivos e climáticos.

Quanto à produção de leite, observou-se uma concentração produtiva nos municípios de Castro e Carambeí, com destaque para o crescimento expressivo de Carambeí, cuja produção aumentou em mais de 400% entre os períodos analisados. O município de Castro permaneceu como o principal produtor estadual, reforçando sua relevância histórica na atividade leiteira. O Oeste e Sudoeste do estado também apresentaram avanços significativos na produção, tornando-se importantes regiões produtoras.

Em relação à eficiência técnica, houve um aumento no número de municípios eficientes, passando de quatro em 2006 para dez em 2017. Ainda, mesmo a média estadual saindo de 0,32 em 2006 para 0,40 em 2017, observa-se que a eficiência continua concentrada em algumas regiões, principalmente na mesorregião Centro Oriental Paranaense. Enquanto alguns municípios apresentaram avanços notáveis, outros registraram queda na eficiência, sugerindo alguns desafios locais.

A análise espacial, pouco realizada nos trabalhos existentes sobre o tema, destacou a presença de autocorrelação na eficiência técnica, indicando que municípios eficientes tendem a estar próximos uns dos outros. A formação de *clusters* Alto-Alto e Baixo-Baixo revela a influência da localização geográfica na produção e na eficiência técnica. As análises revelam *clusters* de alta eficiência concentrados nos municípios de Castro e Carambeí, na mesorregião Centro Oriental, e clusters de baixa eficiência no Norte Pioneiro e em parte da Região Metropolitana de Curitiba.

O modelo econométrico utilizado para a análise, SEM Tobit, indicou que as variáveis de produtividade do capital, das vacas e da área, apresentam impactos positivos sobre a eficiência técnica. Por outro lado, a produtividade do trabalho apresentou relação negativa, o que pode estar relacionado com problemas de mão de obra disponível e uso dos fatores de produção. Dessa forma, a hipótese inicial foi parcialmente confirmada.

Ademais, as variáveis climáticas também apresentaram impacto significativo,

demonstrando um desafio a mais para os produtores de leite no que diz respeito a potenciais mudanças climáticas. Ainda, em ambos os anos, a variável Lambda se destaca ao evidenciar a presença de variáveis omitidas no termo de erro das observações, as quais estão correlacionadas espacialmente e contribuem para a explicação da Eficiência Técnica.

Dessa forma, o estudo contribui para a literatura econômica, uma vez que apresenta uma análise que integra a investigação detalhada dos efeitos espaciais existentes em um dos setores mais importantes para a economia do estado do Paraná.

Pesquisas futuras podem aprofundar essa investigação utilizando dados mais recentes, microdados ou informações primárias, permitindo uma análise mais detalhada das características dos produtores. A inclusão de variáveis relacionadas à adoção de novas tecnologias, como ordenha automatizada, análise genética e sistemas de confinamento, pode enriquecer a compreensão sobre os determinantes da eficiência técnica e apontar caminhos para o aprimoramento da produção leiteira no estado.

A análise do setor leiteiro no Paraná destaca sua relevância econômica e social. Mesmo sendo um dos maiores produtores do país, onde possui polos de referência, ainda há muito o que aprimorar a eficiência técnica. Os resultados deste estudo podem contribuir para a tomada de decisões, incentivando estratégias que ajustem os níveis de produtividade, com foco no nível máximo de eficiência técnica em todo o estado.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Eduardo. **Econometria espacial aplicada**. 1. ed. São Paulo: Alínea, 2012.

ALVES, Lucir Reinaldo *et al.* Atividade leiteira no Paraná: uma análise espacial e econométrica. **Redes. Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 25, n. 2, p. 2432-2453, 2020. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5520/552068861021/552068861021.pdf>. Acesso em: 14 de dezembro de 2024.

ANSELIN, Luc. Local indicators of spatial association—LISA. **Geographical analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>. Acesso em: 23 de janeiro de 2025.

BANKER, Rajiv D.; CHARNES, Abraham; COOPER, William Wager. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management science**, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>. Acesso em: 23 de janeiro de 2025.

BÁNKUTI, Ferenc Istvan *et al.* Spatial dynamics: a new “milk corridor” in Paraná state, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2107-2118, 2017. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/27021>. Acesso em: 20 de julho de 2024.

BAZOTTI, Angelita; NAZARENO, Louise Ronconi; SUGAMOSTO, Marisa. Caracterização socioeconômica e técnica da atividade leiteira do Paraná. **Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD**, Curitiba, n. 123, p. 213-234, 2012. Disponível em: <https://ipardes.emnuvens.com.br/revistaparanaense/article/view/73/762>. Acesso em: 14 de dezembro de 2024.

BEBER, Caetano Luiz *et al.* Dairy supply chain in Southern Brazil: barriers to competitiveness. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 22, n. 5, p. 651-674, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.22434/IFAMR2018.0091>. Acesso em: 15 de dezembro de 2024.

BORTOLETO, Eloisa Elena; CHABARIBERY, Denyse. Leite e derivados: entraves e potencialidades na virada do século. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 28, n.9, 1998. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/ie/1998/tec2-0998.pdf>. Acesso em: 15 de dezembro de 2024.

BREITENBACH, Raquel; ROSOLEN, Gabriela Báó. Análise estratégica do setor produtivo de leite do Rio Grande do Sul. **Revista de Política Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 83, 2020. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1545>. Acesso em 15 de fevereiro de 2025.

CAPUCHO, Thaís Oliveira; PARRÉ, José Luiz. Produção leiteira no Paraná: um estudo considerando os efeitos espaciais. **Informe Gepec**, Toledo, v. 16, n. 1, p. 112-127, 2012. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/gepec/article/view/5103/5110>. Acesso em: 14 de dezembro de 2024.

CASADO, Frank Leonardo. Análise envoltória de dados: conceitos, metodologia e estudo da arte na educação superior. **Revista Sociais e Humanas**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 59-71, 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/sociaisehumanas/article/view/907>. Acesso em: 16 de janeiro de 2025.

CHADDAD, Fabio Ribas. Cooperativas no agronegócio do leite: mudanças organizacionais e estratégicas em resposta à globalização. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 69 – 78, 2007. Disponível em: <https://www.revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/view/149/145>. Acesso em: 15 de dezembro de 2024.

COELLI, Timothy J. *et al.* **An introduction to efficiency and productivity analysis**. springer science & business media, 2005.

COELLI, Tim; RAHMAN, Sanzidur; THIRTLE, Colin. Technical, allocative, cost and scale efficiencies in Bangladesh rice cultivation: a non-parametric approach. **Journal of agricultural economics**, v. 53, n. 3, p. 607-626, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2002.tb00040.x>. Acesso em: 15 de dezembro de 2025.

EMBRAPA. Gado de Leite. **Anuário Leite 2023: leite baixo carbono**. Embrapa Gado de Leite, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1154264/anuario-leite-2023-leite-baixo-carbono>. Acesso em: 23 de novembro de 2024.

_____. Gado de Leite. **Anuário do leite 2024: avaliação genética multirracial**. Embrapa Gado de Leite, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1164754/anuario-leite-2024-avaliacao-genetica-multirracial>. Acesso em: 23 de novembro de 2024.

FARRELL, Michael James. The measurement of productive efficiency. **Journal of the royal statistical society: series A (General)**, v. 120, n. 3, p. 253-281, 1957. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2343100>. Acesso em: 16 de dezembro de 2025.

FERNANDES, Elizabeth Nogueira; BRESSAN, Matheus; VERNEQUE, Rui da Silva. Zoneamento da pecuária leiteira da região sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 34, p. 485-491, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/kBNTCVvSFk3VQfWNJGBQBqc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 de janeiro de 2025.

FERRARI, Magela Cavalleri; BRAGA, Marcelo José. A eficiência técnica dos produtores leiteiros no Uruguai. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, p. e221319, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/NqZMkxS7TMPVZbf8bF6Xjhm/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 29 de julho de 2024.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2024.

GONÇALVES, Rosiane Maria Lima *et al.* Analysis of technical efficiency of milk-producing farms in Minas Gerais. **Economia aplicada**, v. 12, p. 321-335, 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ecoa/a/rqS7GRMfNGLs9wdvHtcw6fb/?lang=en>. Acesso em: 12 de janeiro de 2025.

GREENE, William H. **Econometric analysis**. 5. ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 2003.

HARRIS, Ian *et al.* Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. **Sci Data** **7**, 109, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>. Acesso em: 8 de setembro de 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário de 2006**. Rio de Janeiro. IBGE, 2009. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2006/segunda-apuração>. Acesso em: 8 de setembro de 2024.

_____. **Censo Agropecuário de 2017**. Rio de Janeiro. IBGE, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2017/resultados-definitivos>. Acesso em: 8 de setembro de 2024.

_____. **Contas Nacionais Trimestrais**. Rio de Janeiro. IBGE, 2025. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1846>. Acesso em: 8 de janeiro de 2025.

_____. **Pesquisa da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro. IBGE, 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas>. Acesso em: 22 de novembro de 2024.

KEMER, Andressa; GLIENKE, Carine Lisete; BOSCO, Leosane Cristina. Índices de conforto térmico para bovinos de leite em Santa Catarina Sul do Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 29655-29672, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/10400/8692>, Acesso em: 20 de janeiro de 2025.

KOOPMANS, Tjalling C. Efficient allocation of resources. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 455-465, 1951. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1907467>. Acesso em: 16 de dezembro de 2024.

LEÃO, Carlos *et al.* Análise de eficiência na utilização dos fatores de produção agropecuária na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista de Gestão e Secretariado**, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 1924-1939, 2022. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/1452/675>. Acesso em: 12 de janeiro de 2025.

LEÃO, Guilherme Fernando Mattos *et al.* Frequência de ordenha: Ferramenta de manejo e efeitos na eficiência produtiva de rebanhos leiteiros—revisão. **Nucleus Animalium**, v. 7, n. 2, p. 5, 2015. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5329055>. Acesso em 15 de fevereiro de 2025.

LEIBENSTEIN, Harvey. Allocative efficiency vs. "X-efficiency". **The American economic review**, v. 56, n. 3, p. 392-415, 1966. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1823775>. Acesso em 17 de setembro de 2024.

LESAGE, James P. **Spatial Econometrics**. Working paper, Department of Economics, University of Toledo, OH, 1998. Disponível em: <https://www.spatial-econometrics.com/html/wbook.pdf>. Acesso em: 23 de janeiro de 2025.

LORENZETT, João Roberto; LOPES, Ana Lucia Miranda; LIMA, Marcus Vinicius Andrade de. Aplicação de Análise Envoltória de Dados (DEA) na Avaliação de Desempenho de Unidades Produtivas para Área de Educação Profissional. **Encontro da Anpad**, 2004. Disponível em: <https://pesquisas.face.ufmg.br/nipe-log/wp-content/uploads/sites/4/2015/11/Artigo32.pdf>. Acesso em: 16 de dezembro de 2024.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de pesquisa**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

MARTINS, Juliana Machado da Silva *et al.* Utilização de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) na dieta de vacas lactantes. **PUBVET**, Londrina, V. 6, N. 19, Ed. 206, Art. 1375, 2012. Disponível em: <https://www.pubvet.com.br/uploads/7dedb46b88accc897dfdc8aad204dc09.pdf>. Acesso em 20 de janeiro de 2025.

MORAIS, Sérgio Batista de *et al.* Custos e benefícios da inseminação artificial em pequenas propriedades leiteiras. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 13, n. 48, p. 249-264, 2020. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/view/10652/5893>. Acesso em: 20 de janeiro de 2025.

MUGERA, Amin W. Measuring technical efficiency of dairy farms with imprecise data: a fuzzy data envelopment analysis approach. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 57, n. 4, p. 501-520, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1467-8489.12008>. Acesso em: 28 de outubro de 2024.

NASCIMENTO, Daniel da Silva *et al.* Impactos causado pelo uso de tecnologia na pecuária leiteira: uma revisão sistemática de literatura. **Diversitas Journal**, v. 9, n. 1, p. 439-447, 2024. Disponível em: https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/2506/2468. Acesso em: 20 de janeiro de 2025.

OSTAPECHEN, Leandra Aparecida Perego; GOTARDO, Daiane Marani. Análise dos determinantes da produtividade leiteira municipal na mesorregião Oeste do Paraná. **Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD**. v. 40, n. 137, p. 13-27, jul/dez 2019. Disponível em: <https://ipardes.emnuvens.com.br/revistaparanaense/article/download/1065/1183> . Acesso em: 16 de julho de 2024.

PINDYCK, Robert S.; RUBINFELD, Daniel L. **Microeconomia**. 7. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010.

SANTOS, Jerônimo Alves dos; VIEIRA, Wilson da Cruz; BAPTISTA, Antônio José Medina dos Santos. Eficiência técnica em propriedades leiteiras da microrregião de viçosa-mg: uma análise não-paramétrica. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 7, n. 2, 2005. Disponível em: <https://www.revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/view/197>. Acesso em: 15 de dezembro de 2024.

SCHMIDTNER, Eva *et al.* Spatial distribution of organic farming in Germany: does neighbourhood matter? **European Review of Agricultural Economics**, v. 39, n. 4, p. 661-683, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/erae/jbr047>. Acesso em: 24 de janeiro de 2025.

SILVA, Leonardo Henrique Amaro da; CAMARA, Marcia Regina Gabardo da; TELLES, Tiago Santos. Evolução e distribuição espacial da produção de leite no estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 38, n. 1, p. 37-47, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3073/307346069004.pdf>. Acesso em: 15 de dezembro de 2025.

TELLES, Tiago Santos; BACCHI, Matheus Demambre; SHIMIZU, Jaime. Spatial distribution of microregions specialized in milk production. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 1, p. 443-453, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445749994035.pdf>. Acesso em: 15 de dezembro de 2024.

TOBIN, James. Estimation of relationships for limited dependent variables. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, vol. 26, n. 1, p. 24-36, 1958. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1907382>. Acesso em: 28 de janeiro de 2025.

TRAVASSOS, Guilherme Fonseca *et al.* Determinantes da eficiência técnica dos produtores de leite da mesorregião da Zona da Mata-MG. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 13, n. 1, 2, 3, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.25070/rea.v13i1,2,3.256>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

TUPY, Oscar; YAMAGUCHI, Luis Carlos Takao. Eficiência e produtividade: conceitos e medição. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, vol. 45, nº 2, p. 39-51, 1998. Disponível em: <https://iea.agricultura.sp.gov.br/ftpica/ie/1998/ASPII98-3.pdf>. Acesso em: 20 de dezembro de 2024.

VARIAN, Hal R. **Microeconomia: uma abordagem moderna**. 9. ed. [8a Reimp.]. Rio de Janeiro: Atlas, 2021.

VILELA, Duarte *et al.* A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. **Revista de política agrícola**, v. 26, n. 1, p. 5-24, 2017. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1243>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2025.

WANG, Qiuyan. A technical efficiency analysis of Pennsylvania dairy farms. In: **Agricultural and Applied Economics Association (AAEA), 2001 Annual meeting**, 2001. Disponível em: <https://ageconsearch.umn.edu/record/20662/?v=pdf>. Acesso em: 14 de outubro de 2024.