



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

LEOPOLDINA BRAGA ALVES

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO DE LEITE NO CEARÁ

FORTALEZA

2026

LEOPOLDINA BRAGA ALVES

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO DE LEITE NO CEARÁ

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharelado em Zootecnia.

Orientador(a): Prof. Dr. Francisco José Silva Tabosa.

FORTALEZA

2026

LEOPOLDINA BRAGA ALVES

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO DE LEITE NO CEARÁ

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharelado em Zootecnia.

Aprovada em 17/06/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco José Silva Tabosa.
(Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Filomena Nádia Rodrigues Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Doutoranda. Francisca Ingrid Gouveia Ferreira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, pela estrutura, pelas oportunidades e pelos momentos.

À coordenação do curso de Zootecnia, em nome da coordenadora Prof^a. Dr^a. Andréa Pereira Pinto, secretário José Clécio, sempre solícito e paciente, e demais profissionais e professores do Departamento de Zootecnia.

Ao Prof. Dr. Francisco José Silva Tabosa, pela excelente orientação.

As participantes da banca examinadora Prof. Dra Nádia e a doutoranda Ingrid pelo tempo, e pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas da Zootecnia, Agronomia e Economia Rural pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

“A eficiência consiste em obter o máximo resultado possível a partir dos recursos disponíveis” (Michael Farrell, 1977).

RESUMO

A cadeia produtiva do leite possui elevada relevância econômica e social no Brasil, destacando-se como importante geradora de renda, emprego e segurança alimentar, especialmente em pequenas e médias propriedades rurais. No estado do Ceará, a atividade leiteira tem apresentado crescimento expressivo nas últimas décadas, consolidando-se como um dos principais segmentos do agronegócio regional e posicionando o estado entre os dez maiores produtores nacionais. Atualmente, a produção cearense aproxima-se de 2 milhões de litros diários, evidenciando a importância estratégica do setor para a economia estadual. Entretanto, apesar dos avanços observados, a atividade enfrenta desafios estruturais relacionados ao aumento dos custos de produção, dependência de insumos como milho e soja, concorrência com leite em pó importado, sazonalidade climática, precariedade logística e comercialização informal de produtos sem certificação sanitária. Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a eficiência técnica da produção leiteira nos 50 municípios maiores produtores de leite do Ceará no ano de 2024, utilizando o método de Análise de Fronteira Estocástica (Stochastic Frontier Analysis – SFA). Para isso, foram utilizados dados municipais referentes à produção de leite, precipitação pluviométrica, número de vacas ordenhadas e área territorial, obtidos em bases secundárias oficiais. O modelo econométrico adotado baseou-se em uma função de produção Cobb-Douglas log-linear, permitindo estimar a fronteira produtiva e mensurar a eficiência relativa entre municípios. A análise de eficiência técnica demonstrou que os 50 maiores municípios produtores de leite operam próximos à fronteira de produção, com índices médios em torno de 0,99. Embora não tenham atingido o valor máximo de 1, os resultados indicam elevado nível de eficiência, reforçando a competitividade do setor leiteiro cearense.

Palavras-chave: pecuária leiteira; eficiência técnica; fronteira estocástica; produção leiteira.

ABSTRACT

The dairy production chain has high economic and social relevance in Brazil, standing out as an important generator of income, employment, and food security, especially for small and medium-sized rural properties. In the state of Ceará, dairy farming has shown significant growth over recent decades, consolidating itself as one of the main segments of regional agribusiness and positioning the state among the ten largest milk producers in the country. Currently, Ceará's milk production approaches 2 million liters per day, highlighting the strategic importance of the sector for the state economy. However, despite the advances observed, the activity still faces structural challenges related to rising production costs, dependence on inputs such as corn and soybean, competition from imported powdered milk, climate seasonality, logistical deficiencies, and the informal commercialization of products without sanitary certification. Given this context, the present study aims to analyze the technical efficiency of milk production in the 50 largest milk-producing municipalities of Ceará in 2024, using the Stochastic Frontier Analysis (SFA) method. For this purpose, municipal data related to milk production, rainfall, number of dairy cows, and territorial area were collected from official secondary databases. The econometric model adopted was based on a log-linear Cobb-Douglas production function, allowing the estimation of the production frontier and the measurement of relative efficiency among municipalities. The technical efficiency analysis demonstrated that the 50 largest milk-producing municipalities operate close to the production frontier, with average efficiency scores around 0.99. Although they did not reach the maximum value of 1.0, the results indicate a high level of efficiency, reinforcing the competitiveness of the dairy sector in the state of Ceará.

Keywords: dairy farming; technical efficiency; stochastic frontier; milk production.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis do modelo	18
Tabela 2 – Estatísticas descritivas	21
Tabela 3 – Coeficientes de Elasticidade	23
Tabela 4 – Municípios e suas eficiências	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Pecuária de Leite no Brasil, no Nordeste e no Ceará.....	13
2.2	Análise de eficiência no setor agropecuário, bem como na produção leiteira	14
3	METODOLOGIA.....	17
3.1	Caracterização do sistema de produção.....	17
3.2	Área de estudo.....	18
3.3	Base de dados e variáveis.....	18
3.4	Modelo econométrico.....	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1	Estatísticas descritivas.....	21
4.2	Resultados da Fronteira Estocástica.....	22
4.3	Eficiência Técnica dos Municípios.....	24
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
	REFERÊNCIAS	28
	APÊNDICE	31

1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva do leite desempenha papel estratégico no desenvolvimento agropecuário brasileiro, tanto pela geração de renda quanto pela segurança alimentar e dinamização das economias locais. O setor leiteiro representa uma das atividades mais difundidas do meio rural brasileiro, estando presente em diferentes escalas produtivas e contribuindo significativamente para a manutenção do emprego e da renda, especialmente em pequenas e médias propriedades rurais (EMBRAPA, 2023).

No contexto nordestino, o estado do Ceará tem apresentado crescimento expressivo na atividade leiteira nas últimas décadas, consolidando-se como importante polo produtor do Brasil. O estado foi reconhecido pela produção algodoeira no passado, frequentemente denominada como “ouro branco”, passou por profundas transformações em sua base agropecuária e atualmente, o leite é um dos principais produtos do setor primário, o novo “ouro branco” do Ceará (MOTA, 2025).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), o Ceará ocupa 9º lugar entre os dez maiores produtores de leite do Brasil, com produção aproximada de 2 milhões de litros por dia. Esse avanço produtivo está associado à modernização gradual dos sistemas de produção, expansão da bovinocultura leiteira, adoção de tecnologias nutricionais e fortalecimento da indústria de processamento.

O Ceará abriga atualmente uma das maiores indústrias de laticínios do país, reforçando a relevância econômica da cadeia produtiva regional e sua capacidade de integração entre produção primária, agroindústria e distribuição (EMBRAPA GADO DE LEITE, 2023).

Os custos de produção permanecem elevados devido à forte dependência de insumos como milho e farelo de soja, cujos preços são fortemente influenciados pelo mercado internacional de commodities. Como tais insumos possuem elevada participação na formulação de dietas para bovinos leiteiros, oscilações cambiais e demanda externa acabam elevando os custos operacionais, comprimindo margens e desestimulando produtores (CONAB, 2024).

Outro desafio particularmente relevante no Ceará refere-se à sazonalidade climática. Embora o período chuvoso seja fundamental para recuperação hídrica e disponibilidade forrageira, o chamado período invernososo também impõe dificuldades logísticas importantes. Em diversas regiões do interior, a precariedade das estradas vicinais dificulta a coleta do leite, afetando o escoamento da produção e ampliando perdas econômicas.

Esse cenário evidencia a importância de políticas públicas voltadas à infraestrutura rural e manutenção logística (IPECE, 2024).

Além disso, a presença de produtos lácteos sem certificação sanitária representa fator adicional de desequilíbrio concorrencial. A comercialização informal compromete padrões de qualidade, segurança alimentar e formação de preços, criando assimetrias de mercado que penalizam produtores e indústrias formalizadas. Tal problemática afeta não apenas a sustentabilidade econômica do setor, mas também a confiança do consumidor e a regulação da cadeia produtiva (MAPA, 2023).

Diante desse contexto, torna-se fundamental compreender não apenas o volume de produção leiteira, mas também o nível de eficiência técnica entre municípios cearenses. Diferenças produtivas podem decorrer não apenas de disponibilidade de recursos naturais, como precipitação pluviométrica, área e efetivo animal, mas também de fatores gerenciais e estruturais. Nesse sentido, a utilização da Análise de Fronteira Estocástica (Stochastic Frontier Analysis – SFA) apresenta-se como ferramenta adequada para entender a eficiência produtiva (AIGNER; LOVELL; SCHMIDT, 1977; COELLI et al., 2005; KUMBHAKAR; LOVELL, 2000).

Diante do exposto, esta pesquisa busca fornecer uma resposta para o seguinte problema: Existe diferença no nível de eficiência técnica na produção leiteira entre os municípios cearenses?

Assim, esta pesquisa tem por objetivo: aplicar o método de fronteira estocástica para entender a eficiência técnica dos 50 municípios maiores produtores de leite do estado do Ceará no ano de 2024.

A utilização da Análise de Fronteira Estocástica (SFA) justifica-se pela necessidade de mensurar os níveis de eficiência técnica dos municípios produtores de leite, identificando o quanto a produção observada se aproxima do potencial máximo de produção dado o conjunto de recursos disponíveis. Diferentemente de outros métodos, a SFA permite decompor os desvios em relação à fronteira de produção em dois componentes: um associado à ineficiência técnica dos produtores e outro relacionado a fatores aleatórios fora de seu controle, como condições climáticas, oscilações de mercado, erros de mensuração e demais eventos estocásticos. Dessa forma, o método proporciona estimativas mais robustas da eficiência produtiva, sendo especialmente adequado para o estudo da atividade leiteira, que é fortemente influenciada por fatores ambientais e econômicos.

Duas limitações relevantes foram identificadas no presente estudo. A primeira refere-se à variável área, em decorrência da indisponibilidade de dados específicos

relacionados à área destinada à produção leiteira, sendo utilizada a área total do município. A segunda está associada à variável renda municipal, uma vez que não foi possível obter informações referentes exclusivamente à renda gerada pela atividade leiteira, sendo utilizados dados do PIB do município.

Finalmente, este trabalho está organizado em cinco seções. Na primeira seção, introdução, foi abordada a contextualização do estudo com uma breve apresentação do tema Produção de leite no Brasil e no Ceará e das variáveis responsáveis, bem como os objetivos do trabalho, a questão problema e as limitações do estudo. Na seção seguinte, segunda seção, será apresentada a literatura existente acerca desta questão, mostrando outros trabalhos e como este pode contribuir para a literatura existente. A terceira parte consiste em demonstrar os métodos empregados para alcançar os resultados propostos. A quarta seção aborda os resultados e a discussão. Por fim, a quinta e última seção será reservada para as conclusões e considerações finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre a pecuária brasileira, com ênfase na cadeia produtiva do leite, abordando sua evolução, importância econômica e os principais fatores que influenciam seu desempenho. Além disso, realiza-se uma revisão dos estudos nacionais e internacionais relacionados à estimação de funções de produção agropecuárias, destacando os principais modelos econométricos empregados na mensuração da eficiência técnica, bem como suas aplicações e contribuições para a análise do desempenho produtivo do setor.

2.1 Pecuária de Leite no Brasil, no Nordeste e no Ceará

A pecuária bovina constituiu uma das atividades econômicas mais relevantes no período do Brasil-Colônia. O gado era criado de forma extensiva, sem práticas de silagem ou melhorias significativas nos pastos. A expansão desses rebanhos pelo Nordeste teve início nos territórios da Bahia e de Pernambuco (RIBEIRO, 2020).

Até meados do século XIX, destacavam-se três grandes áreas de criação: o sertão nordestino, considerado o mais antigo e de maior importância; a região sul de Minas Gerais; e as planícies e planaltos da região Sul do país (VALVERDE, 1967).

Segundo Ribeiro (2020), a produção de leite no setor agropecuário brasileiro é a atividade que historicamente contribuiu de forma expressiva para o desenvolvimento econômico tanto de países industrializados quanto de nações em crescimento (CONAB, 2018). De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento, entre 2008 e 2017 o Brasil respondeu por aproximadamente 7% do volume mundial de leite, ocupando a quinta posição no ranking global. À frente estavam a União Europeia (30,47%), os Estados Unidos (19,6%), a Índia (12,8%) e a China (7,21%). Nesse período, a produção nacional registrou expansão média anual de 2,4%, superando a taxa mundial de 1,5%. Minas Gerais destacou-se como o maior produtor interno, responsável por 27,10% do total, seguido por Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás, Santa Catarina, São Paulo e Bahia — todos com produção superior a um bilhão de litros por ano.

Segundo Alburquerque, Campos e Tabosa (2023), a pecuária brasileira ocupa posição central na economia nacional, representando cerca de 30,4% do PIB do agronegócio e 8,1% do total do País (CEPEA, 2022). Além de sua relevância econômica, trata-se de uma atividade que molda intensamente o território, já que seu avanço depende de vastas áreas

destinadas às mais diversas espécies de forrageiras. O traço mais marcante desse setor no Brasil é a diversidade: os sistemas de produção, as formas de gestão e os mecanismos de comercialização do gado variam amplamente, refletindo a heterogeneidade que caracteriza o desenvolvimento da atividade (CARVALHO, ZEN, 2017).

O Ceará figura entre os maiores produtores de leite do Nordeste, evidenciando a importância do setor para a economia estadual. Em áreas como o Vale do Jaguaribe, os pecuaristas têm adotado estratégias inovadoras, como o cultivo adensado da palma forrageira, uma planta de alta eficiência no uso da água e com elevado valor nutricional para a dieta do gado leiteiro. Essas práticas tornam-se fundamentais para ampliar a produtividade em condições típicas do semiárido (ALVES, 2024)

A produção de leite no Ceará, assim como em outras partes do Nordeste, sofre grande influência das condições climáticas. A maioria dos produtores utiliza sistemas de criação simples, sem acesso a tecnologias avançadas, o que torna a atividade altamente dependente das chuvas. Em períodos de seca prolongada, a escassez de água e de pastagem provoca quedas significativas na quantidade de leite produzido (SILVA, CARVALHO, CAMPOS, 2020).

2.2 Análise de eficiência no setor agropecuário, bem como na produção leiteira.

A estimativa da fronteira de produção dos estabelecimentos pecuários no Brasil, e consequentemente da eficiência técnica, foi objeto de investigação de poucos estudiosos. Entre os trabalhos existentes, destaca-se o de Silva et al. (2007), que avaliou a eficiência técnica dos produtores de leite do Ceará por meio da metodologia de fronteira estocástica. A pesquisa, realizada com dados de 180 produtores, revelou que cerca de 70% dos desvios em relação à função de produção estavam associados à ineficiência técnica (RIBEIRO, 2020).

De acordo com Almeida e Medeiros (2015), a pecuária busca aprimorar o desempenho dos animais por meio de avanços genéticos, da adoção de uma nutrição equilibrada, da melhoria das pastagens e da incorporação de inovações na gestão. As avaliações genéticas realizadas nos rebanhos permitem definir práticas de manejo mais adequadas às características dos animais selecionados, o que contribui para resultados superiores nas propriedades (COUTO, 2020).

Ferreira Junior e Cunha (2004) analisaram três sistemas distintos de produção, diferenciados pelas raças bovinas utilizadas: Zebu, Europeu e Mestiço. Para tanto, estimaram uma fronteira de produção na qual a quantidade de leite obtida é explicada pelo uso da terra,

pelos dispêndios com mão de obra, pelo valor do rebanho e pelos custos associados à alimentação e à silagem. Os testes de razão de verossimilhança realizados indicaram que as fronteiras de produção não são homogêneas entre as três raças. O modelo estimado evidenciou que os fatores trabalho e capital apresentam maior contribuição para os retornos produtivos. A partir desses resultados, os autores concluíram que o gado de origem europeia apresenta desempenho superior e recomendaram investimentos voltados à especialização das atividades, com a aquisição de vacas dessa raça, em detrimento do gado Zebu.

Lima (2006), estimou uma fronteira de produção estocástica com base em uma amostra de 614 produtores rurais de Minas Gerais, classificados em três níveis tecnológicos distintos. Os resultados indicaram que o fator trabalho não apresentou significância estatística no grupo de maior intensidade tecnológica; entretanto, para os grupos menos intensivos, o coeficiente associado ao trabalho mostrou-se diferente de zero. O modelo também revelou que os produtores com menor intensidade tecnológica tendem a ser relativamente mais eficientes, alcançando um nível médio de eficiência de 76%. Contudo, quando a análise foi realizada em função do volume de produção, verificou-se que os maiores produtores apresentavam maior eficiência. Ademais, o tamanho do rebanho, mensurado pelo custo de oportunidade de sua operacionalização, evidenciou uma relação positiva entre o aumento da produção e a disponibilidade de vacas.

Nascimento *et al.* (2012), utilizando dados de 875 produtores do estado de Minas Gerais em 2005, mostrou que havia um uso extensivo da terra para a atividade, uma vez que uma variável que deveria ser importante para atividade não tinha sido significativa a 5% e, ainda por cima, apresentava coeficiente negativo. A variável de gastos com insumos apresentou alto coeficiente, indicando provavelmente a possibilidade de intensificação da pecuária leiteira para Minas Gerais. Nos fatores identificadores de ineficiência, usando regressão quantílica, os autores identificaram uma forte relação entre eficiência produtiva e o percentual de vacas em lactação, assim como a margem bruta unitária. A variável correspondente ao percentual de trabalho familiar só foi significativa entre os produtores mais pobres, mas positivamente relacionada com a eficiência.

López *et al.* (2006) realizaram uma análise por meio da função distância estocástica aplicada a 46 fazendas argentinas, abrangendo o período de 1998/1999 a 2000/2001. Para fins comparativos, os autores inicialmente estimaram fronteiras simples relacionadas às receitas obtidas com a produção de leite e carne, bem como aos determinantes de eficiência. Posteriormente, procederam à desagregação da receita total das propriedades entre a produção leiteira e a receita proveniente da carne. Os níveis de eficiência técnica

estimados variaram entre 67,2% e 88,4%, evidenciando que a mensuração da eficiência é altamente sensível ao método adotado, seja pela abordagem de Função Distância Estocástica (SDF) ou pela Fronteira de Produção Estocástica (SPF72). Os coeficientes de correlação calculados para os níveis de eficiência técnica apresentaram valores elevados, entre 0,632 e 0,976, indicando que, independentemente do método utilizado, as fazendas foram ordenadas de forma semelhante em termos de eficiência.

Ao longo desta revisão, buscou-se identificar os métodos desenvolvidos no âmbito do debate econômico acerca da produção leiteira, com o propósito de examinar de que maneira os insumos descritos na base de dados influenciam o desempenho das propriedades rurais agregadas por município, conforme registrado no Censo Agropecuário 2024 (IBGE, 2024), cuja atividade principal é a pecuária.

3 METODOLOGIA

Para mensuração da eficiência técnica foi utilizada a metodologia de Análise de Fronteira Estocástica (Stochastic Frontier Analysis – SFA), proposta por Aigner, Lovell e Schmidt (1977).

3.1 Caracterização do sistema de produção

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza quantitativa e descritiva, utilizando modelagem econométrica para análise comparativa da eficiência produtiva da pecuária leiteira nos 50 municípios maiores produtores do estado do Ceará no ano de 2024. A abordagem quantitativa foi adotada por possibilitar mensuração objetiva das relações entre variáveis produtivas, climáticas e estruturais associadas ao desempenho da atividade leiteira.

3.2 Área de estudo

A área de estudo compreende os 50 municípios do estado do Ceará maiores produtores de leite no ano de 2024 segundo o IBGE. O Ceará é caracterizado predominantemente por clima semiárido, elevada irregularidade pluviométrica e forte heterogeneidade produtiva entre regiões.

A escolha do Ceará justifica-se pela relevância crescente da cadeia leiteira no estado, que atualmente se posiciona entre os dez maiores produtores nacionais de leite, além da importância socioeconômica da atividade para geração de renda e dinamização do meio rural.

Segundo Bezerra (2022) a escolha do estado justifica-se devido à escassez de estudos acadêmicos sobre o desenvolvimento rural direcionados ao estado do Ceará; e pelo fato de analisar a dimensão municipal, local onde os serviços públicos são prestados diretamente ao cidadão, além disso, é o locus para a implementação de políticas públicas e, portanto, conhecer de perto os reais problemas inerentes aos municípios cearenses é o passo introdutório para aprofundar as medidas corretivas destinadas à melhoria do desenvolvimento rural no estado.

3.3 Base de dados e variáveis

A análise foi delimitada ao ano de 2024, em virtude da disponibilidade dos dados mais recentes e consolidados nas bases oficiais consultadas. A adoção desse recorte temporal possibilita avaliar o comportamento atual da produção leiteira no Ceará, considerando as condições econômicas, produtivas e climáticas mais recentes observadas no estado.

Foram utilizados dados secundários, organizados em base municipal. Os dados foram obtidos a partir bases oficiais, incluindo:

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (**IBGE**);
- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (**FUNCEME**);
- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (**IPECE**).

A introdução de variáveis voltadas para explicar os efeitos da eficiência mostrou-se relevante, pois evidencia que as oscilações na produção não se devem apenas às variáveis endógenas ligadas à tecnologia utilizada. Elas também estão relacionadas às variáveis externas incluídas no modelo, que ajudam a compreender como a eficiência impacta diretamente os resultados produtivos (SILVA, CARVALHO, CAMPOS, 2020). A seguir a relação de variáveis do modelo na tabela 1.

Tabela 1 Variáveis do Modelo

Variável	Descrição	Fonte
Volume de chuva	Precipitação anual média (mm)	FUNCEME
Produção de leite	Volume anual de produção municipal de leite (mil litros)	IBGE
Número de vacas ordenhadas	Efetivo de vacas em lactação (cabeças)	IBGE
Preço do leite	Valor médio por litro (R\$/litro)	IBGE
Valor agregado do leite	Valor bruto da produção leiteira (mil Reais)	IBGE
Área do município	Extensão territorial (km²)	IPECE
PIB municipal (renda)	Produto Interno Bruto de 2023 (mil Reais)	IPECE

Fonte: Elaborado pela própria autora

3.4 Modelo econométrico

O método de fronteira estocástica constitui-se como uma ferramenta metodológica de elevada sofisticação, amplamente utilizada na literatura para a mensuração da eficiência técnica em diferentes setores produtivos. Sua formulação repousa sobre fundamentos da econometria, permitindo a incorporação simultânea de dois componentes essenciais: o termo de eficiência, que captura desvios sistemáticos em relação à fronteira de produção, e o termo estocástico, responsável por absorver choques aleatórios e ruídos estatísticos inerentes ao processo produtivo.

Essa abordagem distingue-se por sua capacidade de separar variações atribuíveis à ineficiência gerencial ou tecnológica daquelas decorrentes de fatores aleatórios, conferindo maior robustez às inferências realizadas. Ademais, o modelo possibilita a estimação de funções de produção ou custo sob diferentes especificações funcionais, o que amplia sua aplicabilidade em análises comparativas de desempenho.

A fronteira estocástica tem como propósito central a obtenção de medidas de eficiência produtiva que traduzam o desempenho dos estabelecimentos rurais. Tal objetivo é alcançado mediante a estimação de uma função de produção, a qual formaliza as relações entre insumos e produto no âmbito agropecuário (RADA; VALDES, 2012; HELFAND et al., 2015).

O presente estudo adotou o modelo econométrico de Análise de Fronteira Estocástica (Stochastic Frontier Analysis – SFA), especificado por meio da função de produção Cobb-Douglas, por se tratar de uma abordagem amplamente empregada na mensuração da eficiência técnica em atividades agropecuárias. Essa metodologia permite estimar uma fronteira de produção eficiente, considerando simultaneamente as relações entre os fatores produtivos e os níveis de produção observados, além de possibilitar a identificação dos níveis de ineficiência técnica das unidades analisadas.

Para a especificação da fronteira de produção, foi utilizada a função Cobb-Douglas, amplamente consolidada na teoria econômica da produção devido às suas propriedades analíticas e econométricas. Entre suas principais vantagens destacam-se a interpretação direta dos coeficientes estimados como elasticidades de produção, possibilitando avaliar a sensibilidade da produção em relação às variações dos fatores produtivos; a simplicidade da forma funcional, que demanda um número reduzido de parâmetros, facilitando o processo de estimação; e a menor suscetibilidade à multicolinearidade quando

comparada à função Translog, proporcionando maior estabilidade estatística aos parâmetros estimados (SILVA, 1996).

Embora a especificação adotada apresente elevada consistência metodológica, algumas limitações devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Destacam-se a ausência de informações municipais detalhadas sobre a área das propriedades que possuem a pecuária leiteira como atividade principal ou exclusiva, bem como a indisponibilidade de dados referentes à renda dos produtores de leite e aos custos operacionais detalhados das propriedades em nível municipal. Essas restrições limitam a incorporação de variáveis potencialmente relevantes para explicar diferenças de desempenho produtivo entre os municípios.

Ainda assim, tais limitações não comprometem a capacidade analítica do modelo econométrico empregado. A utilização da Análise de Fronteira Estocástica, associada à função de produção Cobb-Douglas, fornece evidências robustas acerca dos níveis de eficiência técnica e das diferenças de desempenho produtivo entre os municípios cearenses, contribuindo para a compreensão dos fatores que influenciam a produção de leite no estado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção destina-se à apresentação dos resultados obtidos com os métodos anteriormente detalhados, bem como, à discussão dos resultados com base na literatura existente acerca do tema aqui abordado.

4.1 Estatísticas descritivas

As estatísticas descritivas apresentadas a seguir oferecem uma visão geral das principais variáveis utilizadas no estudo. Elas permitem compreender a dimensão da produção leiteira no município, bem como os fatores associados à atividade agropecuária e ao desempenho econômico local. O volume de chuva, a produção de leite e o número de vacas ordenhadas refletem diretamente a capacidade produtiva da região. Já o preço médio do leite e o valor agregado municipal evidenciam a relevância econômica da atividade para a renda local. Além disso, a área territorial e o PIB municipal de 2023 complementam o panorama, permitindo relacionar os indicadores produtivos com a estrutura socio-econômica do município.

Tabela 2 Estatísticas descritivas

Variável	Obs	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
chuva_2024	50	883,6816	255,685	448,4	2024,2
produção	50	19893,76	19474,86	5895	108815
valor	50	44305,61	42284,17	12379	243746
vacas_orderhadas	50	10578	8055819	1907	42673
preço do leite	50	2,31	0,3116907	1,94	3,22
área_município	50	1280,10	875,3619	276,508	4010,609
PIB_2023	50	96356,8	1658131	102445	9873557

Fonte: Elaborado pela própria autora

A Tabela 2 apresenta informações relevantes sobre o comportamento das variáveis utilizadas na análise dos 50 maiores municípios produtores de leite do estado do Ceará. As medidas de tendência central e dispersão permitem compreender a heterogeneidade produtiva, econômica e climática existente entre os municípios analisados.

A variável precipitação pluviométrica (chuva_2024) apresentou média de 883,68 mm, com desvio padrão de 255,68 mm, indicando significativa variabilidade climática entre os municípios da amostra. Essa diferença nos níveis de precipitação é particularmente importante para a pecuária leiteira do semiárido, uma vez que a disponibilidade hídrica

influencia diretamente a produção de forragem, a alimentação animal e, conseqüentemente, os níveis de produtividade do rebanho.

A produção de leite apresentou média de 19.893.760 litros, acompanhada de elevado desvio padrão (19.474860), evidenciando forte heterogeneidade produtiva entre os municípios. Esse resultado demonstra que alguns municípios concentram níveis muito superiores de produção, enquanto outros apresentam menor participação relativa no volume produzido estadual.

O valor bruto da produção leiteira registrou média de R\$ 44.305.610, com desvio padrão de R\$ 42.284.170 , revelando ampla dispersão econômica entre os municípios. Tal comportamento acompanha a elevada variabilidade da produção, sugerindo diferenças estruturais relacionadas à escala produtiva, produtividade animal, nível tecnológico e inserção de mercado.

A variável número de vacas ordenhadas apresentou média de 10.578 animais, conforme a tabela 2. O elevado desvio padrão demonstra significativa diferença no tamanho dos rebanhos leiteiros municipais, refletindo distintos níveis de especialização produtiva e capacidade de produção. Esse comportamento é coerente com a estrutura heterogênea da pecuária leiteira cearense, composta por sistemas produtivos de diferentes escalas e intensidades tecnológicas.

O preço médio do leite apresentou média de R\$ 2,31 por litro e desvio padrão relativamente baixo (0,31), indicando menor variabilidade entre os municípios quando comparado às demais variáveis econômicas e produtivas. Isso sugere relativa homogeneidade dos preços pagos ao produtor dentro do mercado estadual, possivelmente influenciada pela integração regional da cadeia leiteira e pelas condições de comercialização.

4.2 Resultados da Fronteira Estocástica

O modelo estimado, baseado na função de produção Cobb-Douglas em logaritmos, demonstrou resultados consistentes e estatisticamente significativos, confirmando a relevância das variáveis vacas, preço e precipitação pluviométrica na explicação da produção leiteira. O modelo adotado utilizou a função de produção, com todas as variáveis transformadas em logaritmo natural.

A variável dependente foi a produção de leite, explicada pelo número de vacas, preço do leite, área, renda municipal e precipitação pluviométrica. O teste de Wald apresentou valor de 2,4332, com significância estatística de 99%, confirmando a adequação do modelo.

Esse tipo de abordagem é amplamente utilizado em estudos de eficiência produtiva, pois permite interpretar os coeficientes como elasticidades, facilitando a análise da sensibilidade da produção em relação às variáveis explicativas (BATTESE; COELLI, 1995).

Tabela 3 - Coeficientes de elasticidade.

Variável	Coeficiente estimado (elasticidade)	Significância estatística
Produção de leite	variável dependente	—
Chuva	0,0831	Significante ($p < 0,05$)
Vacas ordenhadas	0,9757	Significante ($p < 0,01$)
Valor da produção	0,0535	—
Preço médio do leite	0,7551	Significante ($p < 0,10$)
PIB municipal	Não significativa	—
Área territorial	Não significativa	—

Fonte: Elaborado pela própria autora

O coeficiente das vacas ordenhadas próximo de 1 confirma a lógica produtiva: o aumento do rebanho impacta diretamente a produção de leite, em linha com estudos de Silva (2007) e Brito (2016). Os valores de eficiência variam entre 0 e 1, sendo:

valores próximos de 1 = maior eficiência;

valores próximos de 0 = maior ineficiência.

O preço médio do leite, conforme a tabela 3, mostrou relação positiva, dentro de uma função de produção esperamos um coeficiente positivo: preços mais altos tendem a estimular o produtor a expandir o rebanho e investir em insumos. Esse resultado já foi observado em outros trabalhos, como o de Battese e Coelli (1995), que discutem como variáveis de mercado podem refletir tanto incentivos quanto restrições, dependendo do contexto produtivo e da estrutura de custos.

A variável chuva aparece como fator positivo e significativo, reforçando a importância das condições climáticas na pecuária leiteira nordestina. Estudos como o de Brito (2016) e Silva (2007) também destacaram que a precipitação pluviométrica influencia diretamente a disponibilidade de pastagens e, consequentemente, a produtividade. Assim, seu modelo dialoga com a literatura existente, mas traz nuances importantes: confirma o papel central do rebanho, evidencia a ambiguidade da variável preço e reforça a relevância da chuva como condicionante da eficiência técnica.

A análise reforça a robustez da metodologia de Fronteira Estocástica e evidencia que os municípios avaliados operam próximos à fronteira de eficiência técnica.

Os coeficientes estimados revelaram que o Número de vacas (0,9756): estatisticamente significativo e positivo, indicando que um aumento de 1% no rebanho resulta em incremento de aproximadamente 0,97% na produção de leite. O Preço do leite (-0,7551): significativo a 10%, com efeito negativo, confirmando a lógica da lei da demanda, ou seja, preços mais altos reduzem a produção.

A área territorial e o PIB (renda municipal) não apresentaram significância estatística, possivelmente pela heterogeneidade das fontes de renda (não possui dados específicos da renda vinda da produção leiteira), e pela não correspondência direta da área considerada com a área destinada ao rebanho. A precipitação pluviométrica (0,08%) foi estatisticamente significativa e positiva, evidenciando que o regime de chuvas exerce influência direta sobre a produtividade.

Esses resultados são compatíveis com estudos anteriores que identificaram o capital pecuário (número de vacas) e fatores climáticos como determinantes centrais da eficiência produtiva (BRITO, 2016; SILVA, 2007).

4.3 Eficiência Técnica dos Municípios

A análise de eficiência técnica demonstrou que os 50 maiores municípios produtores de leite operam próximos à fronteira de produção, com índices médios em torno de 0,99. Embora não tenham atingido o valor máximo de 1, os resultados indicam elevado nível de eficiência, reforçando a competitividade do setor leiteiro cearense.

Estudos semelhantes realizados no Ceará e em outras regiões do Brasil também apontaram médias de eficiência superiores a 80%, com espaço para melhorias relacionadas ao uso racional de insumos e à adoção de tecnologias de manejo (SILVA, 2007; BRITO, 2016). Essa constatação sugere que, embora os municípios analisados estejam próximos da fronteira, ainda existem oportunidades de ganhos produtivos por meio de políticas públicas voltadas para assistência técnica e inovação tecnológica.

Diversos estudos de eficiência técnica em sistemas leiteiros no Brasil confirmam que o rebanho é a variável mais determinante, com coeficientes próximos de 1, o que é lógico, quanto maior o número de vacas, maior a produção de leite. Esse resultado é consistente com pesquisas como a de Silva (2007), que encontrou elasticidades semelhantes em municípios cearenses, e Brito (2016), que analisou dados nacionais e também destacou o peso do rebanho na função de produção.

Tabela 4 - Municípios e suas eficiências

Municípios mais eficientes		Municípios menos eficientes	
Beberibe	0,9977685	Sobral	0,9977083
Umirim	0,9977468	Cedro	0,9977155
Mombaça	0,9977454	Crateús	0,9977162
Morada Nova	0,9977443	Santa Quitéria	0,9977167
Quixeramobim	0,9977438	Independência	0,9977173
Iracema	0,9977408	Várzea Alegre	0,9977177
Alto Santo	0,9977402	Aurora	0,9977214
Solonópole	0,9977391	Milagres	0,9977216
Milhã	0,997739	Ipaumirim	0,997722
Piquet Carneiro	0,9977376	Tauá	0,9977226

Fonte: Elaborado pela própria autora

Na perspectiva da SFA, a eficiência técnica corresponde à capacidade de uma unidade produtiva em extrair o máximo de produção a partir dos insumos e da tecnologia disponíveis. Dessa forma, quanto mais próximo de 1 for o índice, maior é a eficiência, já que a distância em relação à fronteira estimada torna-se praticamente irrelevante.

Entre os municípios analisados, conforme a tabela 4, Beberibe destacou-se como o mais eficiente, com escore de 0,9977685, enquanto Sobral apresentou o menor valor, 0,9977083. Apesar da diferença, a distância entre ambos é muito pequena, revelando que todos operam em patamares muito elevados de desempenho produtivo.

Outro ponto interessante foi o resultado de Morada Nova, tradicionalmente reconhecido como um dos maiores produtores de leite do estado, mas que ocupou apenas a quarta posição em eficiência técnica. Esse achado reforça que volume de produção não se confunde com eficiência: o que importa é a capacidade de transformar insumos em produto de forma otimizada, considerando as condições e tecnologias disponíveis.

Os resultados obtidos evidenciam que a produção leiteira dos principais municípios cearenses apresenta elevados níveis de eficiência técnica, indicando que essas unidades produtivas operam próximas à fronteira de produção estimada. Esse desempenho sugere que grande parte dos ganhos recentes da atividade está associada ao uso mais eficiente dos fatores de produção, especialmente do rebanho, dos incentivos econômicos proporcionados pelos preços do leite e das condições climáticas favoráveis. A significância estatística das variáveis vacas ordenhadas, preço do leite e precipitação pluviométrica reforça que a expansão da produção depende tanto da disponibilidade de recursos produtivos quanto de fatores de mercado e ambientais. Assim, políticas públicas voltadas ao melhoramento genético, à assistência técnica, ao manejo nutricional e à gestão eficiente dos recursos hídricos

tendem a ampliar a produtividade sem que seja necessária uma expansão proporcional do rebanho.

A comparação entre os anos de 2012 e 2024 evidencia a capacidade de recuperação e adaptação da cadeia produtiva do leite no Ceará. O ano de 2012 foi marcado pelo início de uma das mais severas secas da história recente do estado, ocasionando redução da disponibilidade de água, escassez de forragens, elevação dos custos de alimentação e diminuição da produção leiteira, com impactos negativos sobre a renda dos produtores. Em contraste, os dados da Pesquisa da Pecuária Municipal do IBGE indicam que, em 2024, a produção estadual alcançou um dos maiores volumes da série histórica, consolidando o Ceará entre os principais produtores de leite do Nordeste. Esse avanço demonstra que, apesar da elevada vulnerabilidade climática da atividade, a adoção de tecnologias de produção, a melhoria do manejo alimentar, a utilização de sistemas irrigados em algumas regiões, o aprimoramento genético dos rebanhos e a maior profissionalização da cadeia produtiva contribuíram para elevar a resiliência do setor frente às adversidades climáticas (IBGE, 2012,2024).

Esses resultados possuem importantes implicações para o desenvolvimento da pecuária leiteira cearense. Embora os elevados índices de eficiência indiquem reduzida margem para ganhos decorrentes apenas da melhor utilização dos recursos disponíveis, ainda existem oportunidades de crescimento por meio da incorporação de inovações tecnológicas, do fortalecimento da assistência técnica e da ampliação dos investimentos em infraestrutura hídrica, especialmente nas regiões mais suscetíveis às secas recorrentes. Além disso, a elevada dependência da precipitação pluviométrica observada no modelo econométrico evidencia que a sustentabilidade da produção leiteira no semiárido continuará condicionada à adoção de estratégias de convivência com a variabilidade climática. Nesse contexto, políticas públicas voltadas à segurança hídrica, à irrigação, à produção de forragens conservadas e ao acesso ao crédito rural tornam-se fundamentais para assegurar o crescimento sustentável da cadeia produtiva do leite e reduzir os impactos de futuros eventos de estiagem sobre a produção e a renda dos produtores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Análise de Fronteira Estocástica demonstrou-se uma metodologia robusta para mensurar a eficiência técnica em sistemas de produção leiteira, permitindo identificar com precisão as perdas produtivas e orientar estratégias de gestão. Essa abordagem contribui para compreender de forma mais aprofundada os fatores que limitam o desempenho das unidades produtivas, oferecendo subsídios para intervenções direcionadas e fundamentadas em evidências empíricas.

Os resultados obtidos evidenciam que a aplicação dessa técnica pode favorecer o aumento da produtividade sem a necessidade de expansão da área utilizada, o que se alinha diretamente aos princípios de sustentabilidade e eficiência econômica. Ao possibilitar uma utilização mais racional dos recursos disponíveis, a metodologia reforça a importância de práticas que conciliem ganhos produtivos com preservação ambiental e redução de custos.

Além disso, a análise permite identificar gargalos produtivos e orientar políticas públicas voltadas para subsídios e assistência técnica mais eficazes. Também possibilita avaliar o impacto de programas específicos, como os de recuperação de pastagens, e indicar caminhos para elevar a eficiência sem implicar em maiores gastos, destacando a relevância de uma gestão técnica e administrativa adequada para o fortalecimento do setor leiteiro.

Observou-se ainda heterogeneidade significativa entre municípios, sugerindo que diferenças produtivas não decorrem exclusivamente de fatores ambientais, mas também de eficiência técnica e gestão dos sistemas produtivos.

Conclui-se que há potencial de incremento da produção leiteira cearense sem expansão proporcional dos insumos, por meio da melhoria da eficiência técnica, adoção tecnológica e fortalecimento de políticas públicas voltadas à infraestrutura rural, assistência técnica e competitividade do setor. A variabilidade produtiva não é explicada apenas pelo clima, mas pela gestão do sistema produtivo com um potencial de aumento de produção sem expansão de área.

REFERÊNCIAS

- AIGNER, D.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. **Formulation and estimation of stochastic frontier production function models**. Journal of Econometrics, 1977.
- ALBUQUERQUE, E. de M., CAMPOS, K. C., TABOSA, F. J. S. (2023). **Perfil da pecuária no Centro-Oeste**. Revista De Política Agrícola, 32(1), 29. Recuperado de <https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/1810>
- ALMEIDA, R.G. de; MEDEIROS, S.R. de. Emissão de gases de efeito estufa em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. In: ALVES, F.V.; LAURA, V.A.; ALMEIDA, R.G. de (Ed.). **Sistemas agroflorestais: a agropecuária sustentável**. Brasília: Embrapa, 2015. p.97-116.
- ALVES, L. B.. **Sinergias entre as instabilidades climáticas e a produção de leite no Ceará**. 102 f. 2024. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.
- BATTESE, G. E.; COELLI, T. J. **A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data**. Empirical Economics, v. 20, p. 325–332, 1995.
- BEZERRA, F. N. R.; LIMA, F. A. X. **Multidimensionalidade do Desenvolvimento Rural nos municípios do Ceará**. Revista Cerrados (Unimontes), vol. 20, núm. 01, 2022
Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil Disponível em:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=576969868007>. Acesso em 09 jun. 2026
- BRITO, R. **Há espaços para melhora no setor leiteiro? Uma análise de fronteira estocástica de produção e regressão quantílica utilizando dados do Censo Agropecuário 2006 (IBGE)**. 2016. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-03102016-171950/>. Acesso em: 26 mai. 2026.
- CARVALHO, T.B. de.; ZEN, S. de. **A cadeia de pecuária de corte no Brasil: evolução e tendências**. Revista iPecege, v.3, p.85-99, 2017. Disponível em:
<https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2017.1.85>. Acesso em 30 de mai. 2026
- CAVALLERI F. M., BRAGA M. J. (2021). **A eficiência técnica dos produtores leiteiros no Uruguai**. Revista de Economia e Sociologia Rural, 59(2), e221319. Disponível em:
<https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.221319artigo3>
- CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Indicadores do leite**, 2024. Disponível em: <https://cepea.org.br/br/categoria/boletim-do-leite.aspx>. Acesso em: 28 abr. 2026
- CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do agronegócio brasileiro de 1996 a 2018**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 2 mai. 2026.

COELLI, T. J. *et al.* **An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**. Springer, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Pecuária leiteira: análise dos custos de produção e da rentabilidade nos anos de 2014 a 2017**. Compêndio de estudos CNAB, v. 16, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/publicacoes/compendio-de-estudos-da-conab>. Acesso em 30 abr. 2026

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Custos de produção agropecuária**, 2024. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/custos-de-producao.html> Acesso em 01 jun. 2026

COUTO, G.R. **Produção de bovinos de corte para atender o mercado de carne gourmet**. Orientador: Verner Eichler. 2020. 79p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia. Disponível em: <<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/335/1/TCC%20GIOVANNA%20RODRIGUES%20COUTO.pdf>>. Acesso em: 1 mai. 2026.

EMBRAPA. **Anuário leiteiro brasileiro**, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1154264/anuario-leite-2023>. Acesso em 2 mai. 2026

FERREIRA JUNIOR, S.; CUNHA, N.R.S. **Eficiência técnica na atividade leiteira de Minas Gerais: um estudo a partir de três sistemas de produção**. Organizações Rurais e agroindustriais, Lavras, v. 6, n. 2, p. 46-60, 2004.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>. Acesso em 01 mai. 2026

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2024. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/ceara-em-numeros/> Acesso em 3 mai. 2026

KUMBHAKAR, S.; LOVELL, C. **Stochastic Frontier Analysis**. Cambridge University Press, 2000.

LIMA, A.L.R. **Eficiência produtiva da atividade leiteira em Minas Gerais**. 2006. 65p. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

LÓPEZ, V.H.M.; BRAVO-URETA, B.E.; ARZUBI A.; SCHILDER, E. **Multi-output technical efficiency for argentinean dairy farms using stochastic production and stochastic distance frontiers with unbalanced panel data**. *Economia Agraria*, Santiago, v. 10, n. 1, p. 97-106, 2006.

MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Inspeção de produtos de origem animal**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-tematicas/suasa/anos-anteriores/palestra-sisbi-01.pdf>. Acesso em: 04 mai. 2026

MOTA, J.A. **O Ouro Branco do Ceará: desafios e conquistas da cadeia láctea no estado.** Revista Mais Leite, São Paulo, edição digital 20 Fevereiro de 2025. Disponível em: <https://revistamaisleite.com.br/o-ouro-branco-do-ceara-desafios-e-conquistas-da-cadeia-lactea-no-estado/> Acesso em 1 jun. 2026

NASCIMENTO, A.C.C.; LIMA, J.E. de; BRAGA, M.J.; NASCIMENTO, M.; GOMES, A.P. **Eficiência técnica da atividade leiteira em Minas Gerais: uma aplicação de regressão quantílica.** Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 41, n. 3, p. 783-789, 2012.

RIBEIRO, I. G.. **Mensuração da função de produção da pecuária do nordeste brasileiro 2020.** 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

SILVA, F. D. V; CARVALHO, MELO R.; CAMPOS R. T.. **Análise da eficiência técnica dos produtores de leite do estado do Ceará.** In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL - SOBER, 45. Londrina - PR. Anais... Brasília - DF : SOBER, v. 1. p. 1-21, 2007.

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

VALVERDE, O. **Geografia da pecuária no Brasil.** Finisterra, [S. l.], v. 2, n. 4, 1967. DOI: 10.18055/Finis2524. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/2524>. Acesso em: 1 jun. 2026.

APENDICE

```
summarize chuva_2024 producao valor vacas_ordenhadas preco area_municipio PIB_2023
```

Variable	Obs	Mean	Std. dev.	Min	Max
-----+-----					
chuva_2024	50	883.6816	255.685	448.4	2024.2
producao	50	19893.76	19474.86	5895	108815
valor	50	44305.61	42284.17	12379	243746
vacas_ordenhadas	50	10578	8055.819	1907	42673
preco	50	2.305911	.3116907	1.940027	3.20015
-----+-----					
area_municipio	50	1280.107	875.3619	276.508	4010.609
PIB_2023	50	963563.8	1658131	102445	9873557

```
frontier lnproducao lnvacas lnpreco lnarea lnrenda lnchuva
```

```
Iteration 0: log likelihood = -8.7432663
Iteration 1: log likelihood = -8.7326641
Iteration 2: log likelihood = -8.7253176 (not concave)
Iteration 3: log likelihood = -8.7228701
Iteration 4: log likelihood = -8.7211455
Iteration 5: log likelihood = -8.72106
Iteration 6: log likelihood = -8.7209829
Iteration 7: log likelihood = -8.7209682
Iteration 8: log likelihood = -8.720959 (not concave)
Iteration 9: log likelihood = -8.7209552
Iteration 10: log likelihood = -8.7209527
Iteration 11: log likelihood = -8.7209509
Iteration 12: log likelihood = -8.7209502
```

Beberibe	0,9977685
Umirim	0,9977468
Mombaça	0,9977454
Morada Nova	0,9977443
Quixeramobim	0,9977438
Iracema	0,9977408
Alto Santo	0,9977402
Solonópole	0,9977391
Milhã	0,997739
Piquet Carneiro	0,9977376
Ibicuitinga	0,9977376
Jaguaretama	0,9977373
Tabuleiro do Norte	0,9977362
Jucás	0,9977361
Iguatu	0,997736
Maranguape	0,9977357
Saboeiro	0,9977357
Russas	0,9977354
Quixadá	0,9977352
Banabuiú	0,9977352
Limoeiro do Norte	0,9977338
Jaguaribe	0,9977337
Ererê	0,9977335
Quixelô	0,9977334

Senador Pompeu	0,997732
Forquilha	0,9977313
Icó	0,9977288
Jaguaribara	0,9977285
Caucaia	0,9977275
Orós	0,9977269
Cariré	0,9977269
Potiretama	0,9977263
Quiterianópolis	0,9977263
Acopiara	0,9977255
Parambu	0,9977254
Brejo Santo	0,9977252
Mauriti	0,9977249
Lavras da Mangabeira	0,9977245
Barro	0,9977234
Tauá	0,9977226
Ipaumirim	0,997722
Milagres	0,9977216
Aurora	0,9977214
Várzea Alegre	0,9977177
Independência	0,9977173
Santa Quitéria	0,9977167
Crateús	0,9977162
Cedro	0,9977155
Sobral	0,9977083