

Ecoeficiência, custos e rentabilidade na produção de leite

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência produtiva e a ecoeficiência na produção de leite. A hipótese central do estudo foi verificar se há relação entre as eficiências e o retorno econômico da atividade. As medidas de eficiência foram calculadas para uma amostra de produtores rurais localizados no estado de Minas Gerais, utilizando-se modelos de Análise Envoltória dos Dados. Os resultados indicam que os produtores mais ecoeficientes tendem a receber mais pelo produto vendido. Além disso, verificou-se que o uso de práticas produtivas mais sustentáveis não gera aumento no custo médio da produção, permitindo maiores taxas de lucratividade e de rentabilidade.

Palavras-chave: Eficiência e ecoeficiência. Custos e rentabilidade. Produção de leite.

Área Temática: Custos como ferramenta para o planejamento, controle e apoio a decisões.

1 INTRODUÇÃO

A discussão acerca da sustentabilidade ambiental é tema recorrente nos diferentes setores produtivos, econômicos, políticos e sociais, principalmente após o Acordo de Paris, em 2015. Tal acordo tem como objetivo fortalecer a resposta global à ameaça das mudanças climáticas, cada vez mais evidentes e perceptíveis. Nesse contexto, um destaque é dado aos desafios para a produção de alimentos de forma compatível com a disponibilidade dos recursos naturais, reforçando a importância do conceito da Agropecuária Sustentável, focada no manejo e conservação dos recursos naturais e na produção eficiente e rentável (Malafaia, Azevedo, Pereira e Matias, 2019).

No caso da pecuária leiteira, um dos principais e mais importantes processos produtivos brasileiro, a sustentabilidade ambiental está cada vez mais presente como tema central dos eventos, pesquisas e atividades de extensão do setor, indicando as mudanças de pensamento e atitudes dos *stakeholders* desta cadeia produtiva (Pereira, 2023). Essa transformação produtiva sustentável vem principalmente pela integração entre produtores de leite e indústrias, na busca de benefícios advindos da qualidade do produto, valorização da marca e bem-estar produtivo (Embrapa, 2023).

Assim, observa-se que a sustentabilidade ambiental não está dissociada dos fatores econômicos e sociais da produção, o que pode ser verificado pela adoção da agenda ESG (*Environmental, Social and Governance*) no setor lácteo (Ximenes & Soares, 2023). Contudo, as características do setor leiteiro no Brasil, ainda baseado em sua maioria na subsistência e no uso de práticas convencionais, é um dos grandes desafios a ser enfrentado (Carvalho, Barquette & Nogueira, 2022).

Para Huppés, Bigolin, Muhl e Souza (2020), se ainda há deficiências e desconhecimento no gerenciamento produtivo nas propriedades rurais brasileiras, principalmente com relação à gestão de custos, como trabalhar rentabilidade e custos aliados à sustentabilidade ambiental? Essa questão torna-se ainda mais importante ao perceber que a sustentabilidade ambiental, muitas vezes, é considerada como um dispêndio para a propriedade, indo na contramão da rentabilidade produtiva.

Assim, torna-se relevante o papel da análise de eficiência, buscando maximizar a renda do produtor de leite e minimizar os efeitos prejudiciais ao meio ambiente. Nesse contexto, o presente trabalho busca avaliar a eficiência produtiva e a ecoeficiência em um grupo de produtores de leite do estado de Minas Gerais que recebem assistência técnica e gerencial do Programa de Desenvolvimento da Pecuária Leiteira (PDPL).

Na literatura, apesar de existirem trabalhos que analisam a relação entre eficiência e rentabilidade (Ervilha & Gomes, 2017; Gomes, Ervilha, Freitas & Nascif, 2018; Almeida & Bacha, 2021; Gomes, Ervilha, Melo & Gomes, 2022; Bassotto et al., 2023) e o papel da sustentabilidade na pecuária de leite (Silva & Gameiro, 2021; Abrahão & Natel, 2022; Matinez et al., 2023), não foram identificados estudos empíricos que promovem a relação entre eficiência, rentabilidade e sustentabilidade ambiental. Espera-se com esta pesquisa identificar a importância da gestão adequada dos custos dos fatores de produção, na busca de maiores níveis de eficiências técnica e ambiental, além de corroborar com a hipótese que não há um *trade-off* entre rentabilidade e sustentabilidade na cadeia produtiva do leite.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Função de produção, produtividade e eficiência

Este estudo tem uma de suas bases na teoria microeconômica da produção, especificamente no conceito de função de produção, que indica a relação técnica entre a produção máxima obtida em determinada unidade de tempo e os fatores utilizados no processo, caracterizando a produção como a transformação de recursos (*inputs*) em saídas (*outputs*) correspondentes às quantidades de bens e/ou serviços produzidos.

Nessa análise, há importantes conceitos e aspectos a serem considerados, como a o grau de substitutibilidade existente entre os fatores para determinar a forma ou o perfil de uma isoquanta (curva que representa combinações possíveis de insumos que geram o mesmo volume de produção), a natureza dos retornos à escala (constantes, crescentes ou decrescentes) e os limites da produtividade máxima que uma unidade de produção pode alcançar, transformando insumos em produtos (a fronteira de produção) (Ferguson, 2008; Pindyck & Rubinfeld, 2013; Varian, 2015).

Na interação entre produto e insumo se define o conceito de produtividade, que mede a eficiência com que uma unidade de produção converte insumos em produtos, ou seja, é a avaliação do rendimento dos recursos utilizados na produção. Esse indicador contribui para avaliar o desempenho de unidades produtoras, como as fazendas leiteiras, na busca dos melhores resultados em relação às quantidades de insumos utilizadas (Ferreira & Gomes, 2020). É através das comparações e diferenças de produtividade que são estabelecidas as causas de ineficiências das unidades produtoras em análise, relacionadas às mudanças de eficiência produtiva, às mudanças tecnológicas e às diferenças no ambiente econômico.

Dentro desse contexto, a busca pela eficiência produtiva, de forma a utilizar o insumo da melhor maneira possível, apresenta-se o conceito de eficiência relativa. Segundo Ferreira e Gomes (2020), uma medida de eficiência relativa pode ser determinada através da comparação do produto observado de um dado conjunto de insumos ao produto ótimo com os mesmos níveis de insumos.

Seguindo o enfoque de eficiência, Farrell (1957), precursor desse formato de análise, divide o conceito de medidas de eficiência através de dois componentes: eficiência técnica e eficiência alocativa. Enquanto a eficiência técnica está preocupada

com o aspecto físico da produção, a eficiência alocativa é uma extensão da eficiência técnica, que se preocupa com o aspecto monetário da produção. Em relação à eficiência técnica, esse conceito compara o que foi produzido por unidade de insumo utilizado com o que poderia ser produzido (Ferreira & Gomes, 2020).

Por fim, outro conceito relevante no estudo e estimação da eficiência técnica de quaisquer unidades tomadoras de decisão (*decision making unit* – DMU) é a orientação de análise. Quando orientado para o *input* (orientação insumo), a eficiência técnica mede a fração da quantidade de insumos que pode ser reduzida proporcionalmente, sem reduzir a quantidade de produtos. Por outro lado, na orientação para produtos (*outputs*), a eficiência técnica mede a fração da quantidade de produtos que pode ser aumentada proporcionalmente sem aumentar a quantidade de insumos (Ferreira & Gomes, 2020).

2.2 Desenvolvimento sustentável e ecoeficiência

Os estudos relacionados ao desenvolvimento, promotor de oportunidades econômicas, sociais, educacionais, liberdades políticas e estímulos às iniciativas, são destaque nas diferentes áreas de conhecimento há algumas décadas (Sen, 2008). Mas foi com o Relatório Brundtland de 1987, que a questão ambiental se tornou fator determinante para o desenvolvimento, cunhando o denominado desenvolvimento sustentável. Para Steurer, Langer, Konrad e Martinuzzi (2005), o desenvolvimento sustentável exige que as dimensões econômicas, sociais e ambientais devam ser ponderadas simultaneamente em todas as esferas e níveis da sociedade, considerando as tecnologias adotadas, os recursos utilizados, as relações entre os diversos agentes e os possíveis *trade-offs* existentes entre as diferentes dimensões.

Nesse contexto, surge o conceito de ecoeficiência, que busca incorporar a eficiência ambiental/ecológica na análise de eficiência e produtividade tradicional, ou seja, é a interação entre impactos ambientais e a teoria microeconômica da produção (Silva, Roseno-Peña, Martins, Tavares & Silva, 2022). Na literatura, a ecoeficiência também é denominada como “eficiência ambiental”, sendo tratada desde o trabalho de Freeman, Haveman e Kneese (1973). Para Kuosmanen e Kortelainen (2005), ecoeficiência é a relação do valor econômico gerado e das externalidades ambientais negativas adjacentes à produção.

Apesar da ausência do consenso na literatura sobre a direção da relação entre preservação ambiental e crescimento econômico, é fato que tal relação existe e demanda estudos e métodos que consigam relacionar os resultados desejáveis (produção de bens e serviços) e indesejáveis (emissão de gases do efeito estufa, por exemplo) dos processos produtivos, inclusive na agropecuária.

É nesse contexto que Ripple et al. (2017) apontam que importantes passos devem ser considerados para garantir a sustentabilidade; entre eles, a garantia da eficiência energética e a promoção de novas tecnologias ecológicas, que reduzam a emissão de poluentes e o consumo de insumos como água, energia e outras matérias-primas.

Assim, esta pesquisa propõe analisar as questões relativas ao processo produtivo do leite, através da eficiência produtiva e da ecoeficiência, utilizando-se de métodos não-paramétricos de fronteira adequados à análise ambiental.

2.3 Contabilidade de custos na atividade leiteira

A gestão financeira é um dos pontos mais importantes dentro do processo administrativo de qualquer empresa ou instituição. Para o Serviço Brasileiro de Apoio

às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae, 2022), é de fundamental importância reconhecer a relevância dos custos sob o aspecto de um processo que visa a otimização dos limitados recursos disponíveis para que qualquer organização possa prosperar. Nesse sentido, um dos objetivos principais do gerenciamento de custos de produção é verificar como os recursos empregados em um processo produtivo estão sendo pagos, possibilitando, também, verificar como se comporta a rentabilidade da atividade, comparada a alternativas de investimentos.

Para a atividade leiteira, a correta mensuração dos custos de produção é complexa, em razão de algumas características próprias. Brito, Nobre e Fonseca (2009) destacaram três dessas características: a) produção é conjunta, isto é, há produção simultânea de leite e de animais; b) elevada participação da mão de obra familiar, cuja apropriação dos custos é subjetiva; e c) altos investimentos em terras, cuja apropriação dos custos também é feita com subjetividade.

Tradicionalmente, os custos são divididos em dois grandes grupos: fixos e variáveis. Os custos fixos são aqueles que permanecem inalteráveis durante determinado período e independem do nível da produção, não estando sob o controle do administrador no curto prazo. Pindyck e Rubinfeld (2013) destacaram que os custos de oportunidade dos fatores as depreciações fazem parte dos custos fixos. Já os custos variáveis são aqueles que o administrador controla no curto prazo, podendo ser aumentados ou diminuídos de acordo com a quantidade produzida.

A mensuração dos custos em fixos e variáveis pode gerar algumas dificuldades operacionais, já que um fator de produção pode ser classificado como fixo ou variável, dependendo do tempo considerado. Além disso, alguns fatores como, por exemplo, mão de obra, são fixos em determinados intervalos de produção, ou seja, não há necessidade de alterar a quantidade de trabalhadores da empresa em razão de modificações pontuais na produção.

Para contornar essa questão e, ao mesmo tempo, permitir que o levantamento do custo de produção seja visto como ferramenta para direcionar as ações técnicas na empresa, pode-se utilizar o procedimento apresentado em Matsunaga et al. (1976), o qual consiste em separar os custos da seguinte forma:

- Custo operacional efetivo (COE): gastos diretos que implicam em desembolsos, ou seja, são os gastos de custeio da atividade leiteira.
- Custo operacional total (COT): COE + custo de oportunidade da mão de obra familiar (inclusive o empresário) + depreciações de máquinas, benfeitorias, animais de serviço e forrageiras não anuais.
- Custo total (CT): COT + remuneração do capital investido na atividade (custo de oportunidade do capital).

A renda bruta do produtor de leite é composta, além da venda e do autoconsumo de leite e derivados lácteos, da venda e do autoconsumo de animais e da variação do inventário animal de um ano para o outro. Detalhes sobre cálculo da renda bruta na atividade leiteira podem ser obtidos em Gomes (2001).

A partir do levantamento dos custos e da renda bruta, são calculados indicadores que permitem avaliar o desempenho econômico da atividade, conforme detalhados em Sebrae (2022):

- Margem Bruta = Renda Bruta – COE (1)
- Margem Líquida = Renda Bruta – COT (2)
- Lucro = Renda Bruta – CT (3)
- Lucratividade = Margem Líquida/Renda Bruta (4)
- Taxa de retorno do capital = Margem Líquida/Capital investido (5)

A margem bruta é uma análise de curto prazo, pois nela estão contidas apenas as despesas que são incluídas em um ciclo de produção, ou seja, aquelas realizadas em um ano de atividade, fornecendo uma ideia do fluxo de caixa da empresa.

Já a margem líquida considera a duração de todos os bens de produção da fazenda, uma vez que inclui as depreciações. Está incluída também a remuneração da mão de obra familiar no processo produtivo. Com isso, pode-se dizer que a margem líquida corresponde a um “resíduo” utilizado para remunerar o capital investido na atividade.

Por fim, o lucro considera o custo total, isto é, todas as despesas diretas de custeio (definidas no COE), as depreciações e o custo da mão de obra familiar (definidas no COT) e a remuneração do capital empatado na atividade.

A lucratividade mede o percentual de ganho obtido sobre as vendas realizadas e serve como um parâmetro de análise de risco. Quanto menor for a lucratividade, mais próximo da receita estará o custo, portanto, maior o risco da atividade.

A taxa de retorno sobre o capital investido, expressa em porcentagem ao ano, fornece a ideia de como o capital investido está sendo remunerado. É um interessante indicador de resultados em análises de investimentos, pois indica a atratividade do projeto e permite comparações com atividades alternativas.

3 METODOLOGIA

3.1 Modelo de eficiência produtiva

Para calcular as medidas de eficiência produtiva dos produtores de leite, será utilizada a técnica de análise envoltória de dados (*data envelopment analysis* - DEA). Essa abordagem teve origem nos trabalhos de Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e Banker, Charnes e Cooper (1984) e consiste em uma abordagem não paramétrica para a análise de eficiência relativa de DMUs que possuem múltiplos insumos e produtos.

Os modelos DEA são baseados em uma amostra de dados observados para diferentes DMUs. Esses dados são constituídos de insumos e produtos. O objetivo é construir um conjunto de referência convexo, a partir dos próprios dados das DMUs, e então classificá-las em eficientes ou ineficientes, tendo como referencial essa superfície formada. De acordo com as pressuposições específicas de cada modelo, o conjunto referência admitirá determinada forma. Nessas pressuposições estão contidas as informações a respeito da orientação e do tipo de retorno à escala.

No caso do modelo para calcular a eficiência produtiva, optou-se por utilizar a orientação a produtos, uma vez que se quer comparar as atividades leiteiras da amostra de produtores no sentido de possibilidades na expansão da produção, dados os recursos disponíveis para tal.

Além disso, será utilizado o modelo com pressuposição de retornos variáveis de escala, o que permite a obtenção das medidas de eficiência desprovidas de ineficiências de escala. A medida obtida é chamada de pura eficiência técnica, podendo ser utilizada para comparar diferentes “tamanhos” de DMUs, uma vez que não leva em consideração a escala incorreta de operação.

O modelo de programação matemática que pressupõe orientação produto e retornos variáveis, apresentado por Banker et Al. (1984), pode ser escrito da seguinte forma:

Maximizar φ ,

sujeito a:

$$-\varphi y_i + Y\lambda - S^+ = 0$$

$$x_i - X\lambda - S^- = 0$$

$$N'\lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

$$S^+ \geq 0$$

$$S^- \geq 0$$

(6)

em que $1 \leq \varphi < \infty$ corresponde ao aumento proporcional no produto considerado, mantendo-se constante a utilização dos insumos em questão; y_i é um vetor de quantidades de produtos da DMU que está sendo analisada; x_i é um vetor de quantidades de insumo da DMU analisada; Y é uma matriz de produtos de todas DMUs; X é uma matriz de insumos de todas DMUs; N_1 é um vetor de algarismos unitários; S^+ é um vetor de folgas nos produtos; e S^- é um vetor de folgas nos insumos. O parâmetro λ é um vetor, cujos valores são calculados de forma a obter a solução ótima. Para uma DMU eficiente, todos os valores de λ serão zero, enquanto para uma DMU ineficiente, os valores serão os pesos utilizados na combinação linear de outras DMUs eficientes, que influenciam a projeção da ineficiente sobre a fronteira calculada. Para obter a medida de eficiência basta considerar o inverso φ , ou seja, $1/\varphi$. A equação $N'\lambda = 1$ corresponde à restrição de convexidade, o que permite ao modelo a pressuposição de retornos variáveis.

3.2 Modelo de ecoeficiência

De forma similar ao modelo de eficiência produtiva, as medidas de ecoeficiência serão obtidas pressupondo-se retornos variáveis à escala. Contudo, diferem na orientação, isto é, a ecoeficiência busca analisar se há possibilidade de se reduzirem as emissões de poluentes para atingir o mesmo produto. Com isso, o modelo DEA utilizado terá orientação insumo, conforme apresentado em Banker et Al. (1984):

Minimizar θ ,

sujeito a:

$$-y_i + Y\lambda \geq 0,$$

$$\theta x_i - X\lambda \geq 0,$$

$$N'\lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

$$S^+ \geq 0$$

$$S^- \geq 0$$

(7)

em que θ é a medida de eficiência da DMU analisada. Caso o valor de θ seja igual a um, a DMU será eficiente; caso seja menor, será ineficiente, permitindo quantificar a redução possível no uso dos insumos. As demais variáveis foram definidas anteriormente.

Para descrições mais detalhadas dos modelos de análise de eficiência utilizando-se a DEA, recomenda-se a consulta de livros-texto como, por exemplo, Coelli, Rao, O'Donnell e Battese (2007), Cooper, Seiford e Zhu (2011) e Ferreira e Gomes (2020).

3.3 Mensuração da emissão de poluentes

Para mensurar as emissões de poluentes na atividade leiteira foi utilizada a metodologia proposta pelo *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol) aplicado à agricultura, elaborada pelo *World Resources Institute*, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e a Universidade Estadual de Campinas (WRI, 2015). A ferramenta consiste na análise de como está a emissão nas fazendas, permitindo verificar o progresso futuro em relação ao planejamento realizado de redução dos gases de efeito estufa (GEE).

De modo geral, a metodologia consiste em converter todas as emissões em dióxido de carbono equivalente (CO₂e), utilizando-se as Diretrizes Agrícolas Brasileiras (DAB). No cálculo das emissões de carbono, é possível realizar a divisão das emissões em três escopos, de acordo com o controle ou influência que a empresa tem em relação à emissão: 1) emissões diretas advindas de fontes da organização ou controladas por ela; 2) emissões indiretas provenientes da aquisição de energia elétrica e térmica que é consumida pela empresa; e 3) todas as outras emissões indiretas, não relatadas no Escopo 2.

Nas fazendas atendidas pelo PDPL, o inventário é realizado considerando-se o Escopo 1, o que permite a subdivisão em três fontes poluentes:

- Fontes mecânicas: fontes de emissão que consomem combustível ou eletricidade e, portanto, emitem GEE pelo processo da combustão, na geração de energia ou no consumo de combustível. Exemplos de fontes mecânicas incluem equipamentos de colheita e caminhões para transporte.
- Fontes não mecânicas: são fontes que emitem GEE por processos bioquímicos e têm grande variação, de acordo com as condições bioclimáticas sob as quais a fonte de emissão está submetida. Essas emissões, muitas vezes, estão ligadas aos ciclos de nitrogênio e carbono. Exemplos de fontes não mecânicas incluem fermentação entérica dos animais e calagem do solo.
- Mudanças no uso do solo: este tipo de emissão ocorre quando há supressão de vegetação nativa para uso posterior da área para outros fins. As emissões advindas desta prática são consideradas não renováveis, pois considera-se que há substituição permanente de um reservatório de carbono antigo, relativamente constante e autorregenerativo por outro, geralmente de dimensão inferior e não autorregenerativo.

Maiores detalhes da metodologia de mensuração de emissões, bem como o acesso aos guias e ferramentas de cálculo, podem ser obtidos em GHG (2023).

3.4 Dados utilizados nos modelos

Para calcular as medidas de eficiência, foram utilizados dados primários referentes a 26 produtores que fazem parte do Programa de Desenvolvimento da Pecuária Leiteira (PDPL), projeto de extensão conduzido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), voltado para o treinamento de mão de obra e transferência de tecnologias para produtores de leite. Todas as informações utilizadas se referem ao ano de 2022.

Para calcular as medidas de eficiência produtiva, utilizou-se o modelo DEA com orientação produto, conforme apresentado em (6). Nesse modelo, buscou-se avaliar se há possibilidade de se aumentar o produto, mantendo-se constante os fatores alocados na produção de leite. As variáveis utilizadas nesse modelo foram:

a) Produto (*output*)

- Renda bruta da atividade, medida em R\$/ano. A renda bruta é composta pela soma das receitas provenientes da venda e do autoconsumo de leite e de animais. Optou-se por medir o produto em termos de valor da produção ao invés da produção física, uma vez que o valor unitário de venda dos produtos difere muito. Com isso, a utilização de quantidades físicas pode distorcer a realidade dos sistemas de produção, quando o objetivo é compará-los.

b) Insumos (*inputs*)

- Área utilizada pelo rebanho, medida em hectares.
- Número de vacas da propriedade, medido em cabeças.
- Custo operacional total da atividade leiteira (COT). Medido em R\$/ano, o COT é composto por todas as despesas diretas na produção de leite, ou seja, mede todos os desembolsos realizados pelo produtor ao longo de um ano de atividade, acrescidos do valor da mão de obra familiar e das depreciações de máquinas, benfeitorias, animais de serviço e forrageiras não anuais.

Já no modelo para calcular as medidas de ecoeficiência foi utilizada a orientação a insumos, conforme apresentado em (7). A ideia desse modelo foi verificar se há possibilidade de redução nas emissões de poluentes para se obter a mesma quantidade de produto. Para calcular as medidas de ecoeficiência, o produto continuou sendo a renda bruta da atividade. Porém, os insumos passaram a ser emissões de poluentes, da seguinte forma:

- Emissões em pecuária e pastagens, medidas em toneladas de CO₂e/ano. Mede a emissão de poluentes devido ao uso de animais e da terra. São levadas em consideração informações sobre o número de animais em faixas de idade e sexo, manejo de dejetos em cada faixa etária, tipo de solo e sistema de cultivo da terra, além dos tratos culturais realizados nas pastagens.
- Emissões em culturas agrícolas, medidas em toneladas de CO₂e/ano. Mede a emissão de poluentes devido ao plantio de forrageiras utilizadas na alimentação do rebanho. Leva em consideração a área utilizada, além de informações sobre tipo de solo e sistema de cultivo.
- Emissões devido ao uso de combustíveis e efluentes, medidas em toneladas de CO₂e/ano. As emissões relacionadas ao consumo de combustíveis consideram os tipos e quantidades consumidas de diversas fontes. Já o cálculo dos efluentes leva em consideração o número de pessoas diretamente envolvidas na atividade.

O Quadro 1 sintetiza as informações sobre os dois modelos:

Modelo	Orientação	Insumos	Produto
Eficiência produtiva	Produto	– Área utilizada na atividade – Total de vacas – Custo operacional total	– Renda bruta da atividade
Ecoeficiência	Insumo	– Emissões de poluentes em pecuária e pastagem – Emissões de poluentes em culturas agrícolas – Emissões de poluentes combustíveis e efluentes	– Renda bruta da atividade

Quadro 1. Síntese dos modelos

Fonte: Elaborado pelos autores

Os dois modelos foram conduzidos considerando-se retornos variáveis de escala. Com isso, as medidas encontradas são de pura eficiência, desprovidas de

problemas inerentes à incorreta escala de operação, conforme apresentadas por Banker et al. (1984).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Eficiência na produção de leite

Conforme mencionado nos procedimentos metodológicos, o modelo para calcular as medidas de eficiência técnica na produção de leite para a amostra de produtores assistidos pelo PDPL foi conduzido utilizando-se a orientação produto. Isso significa que, dados os insumos utilizados pelos produtores, qual a expansão possível que se pode obter no faturamento da atividade.

A eficiência média obtida nesse modelo foi de 84,03%, sendo que sete produtores foram considerados eficientes. Retirando os produtores eficientes, a eficiência média cai para 78,14%, ou seja, pode-se trabalhar com a possibilidade de aumentar a renda bruta das fazendas analisadas em até 28% (ou 1/0,7814), sem a necessidade de incorporação de novos insumos. Certamente tal expansão somente é possível para produtores que apresentam algum grau de ineficiência no processo produtivo.

A utilização do modelo com a pressuposição de retornos variáveis de escala permitiu a obtenção das medidas de pura eficiência, ou seja, desprovidas de problemas relacionados à escala incorreta de operação. Em outras palavras, a magnitude do sistema produtivo não afeta a eficiência, isto é, pequenos ou grandes volumes de produção podem ser considerados eficientes, caso não haja desperdícios no uso dos insumos. De fato, o que se percebe é que a significativa variação nos produtores considerados eficientes, conforme dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1

Recursos disponíveis e produção de leite dos produtores considerados eficientes produtivos

Especificação	Unidade	Mínimo	Média	Máximo
Recursos disponíveis				
- Vacas em lactação	Cabeça	12,58	106,91	360,50
- Mão de obra	Pessoa	1,28	4,08	9,92
- Área para o gado	Hectare	10,13	57,19	192,18
- Capital investido	R\$ mil	635,10	4.095,47	13.962,85
Produção de leite	Litro/dia	230,56	2.750,20	9.033,61

Fonte: Elaborado pelos autores

A produção média das propriedades consideradas eficientes foi de 2.750 litros/dia, com um plantel em torno de 106 vacas em lactação e uso de 57 hectares de terra para a produção de leite. Além disso, foram utilizados cerca de quatro trabalhadores por propriedade e empatados em torno de R\$ 4,1 milhões na atividade leiteira.

A produção média desse pequeno grupo de produtores pode ser considerada elevada, não representando a grande maioria das fazendas que produzem leite no Brasil. Contudo, há elevada amplitude no volume de produção dos produtores considerados tecnicamente eficientes, variando de 230 a mais de nove mil litros de leite por dia.

Esse é um ponto muito importante da análise, permitindo afirmar que um produtor pode ser considerado eficiente, independe do “tamanho” da sua produção. Qualquer produtor pode ser eficiente. Para isso, basta que seu processo produtivo

utilize recursos de forma tecnicamente racional, gerando o máximo possível de produção, dada sua dotação de recursos.

No intuito de comparar o desempenho técnico e econômico das atividades analisadas, os produtores foram separados em dois grupos: os que apresentaram máxima eficiência e os que apresentaram algum grau de ineficiência produtiva. Na Tabela 2 encontram-se os valores médios das produtividades parciais dos recursos utilizados na produção de leite para esses grupos de produtores.

Tabela 2

Produtividades médias dos recursos utilizados pelos produtores, estratificados de acordo com a eficiência produtiva

Especificação	Unidade	Não eficientes	Eficientes	Média
Produtividades parciais				
- Vacas em lactação	L/cabeça/dia	18,74	23,59	20,04
- Terra	L/hectare/ano	8.028,17	16.483,00	10.304,47
- Mão de obra	L/homem/dia	271,23	471,24	325,08
- Capital investido	L/R\$/ano	0,16	0,21	0,17

Fonte: Elaborado pelos autores

De acordo com esses dados, percebe-se que a produtividade das vacas em lactação, tradicional indicador utilizado para comparar o desempenho técnico dos sistemas de produção, é elevada nos dois grupos. A média geral de 20 litros diários por animal é mais que o dobro da média nacional, que está em torno de oito litros por vaca ordenhada, segundo dados do último Censo Agropecuário (IBGE, 2017). Contudo, nos sistemas eficientes, a produtividade média desse recurso é cerca de 25% maior que nos demais produtores.

Em relação aos insumos terra, trabalho e capital, as produtividades médias de todos esses recursos são significativamente maiores no grupo dos eficientes, com destaque para as produtividades da mão de obra e, principalmente, da terra. A produtividade da terra fornece uma referência do custo de oportunidade desse importante recurso, enquanto a produtividade do trabalho reflete a qualificação dos funcionários.

Qualquer produto da agropecuária utiliza terra no processo produtivo, em maior ou menor intensidade. O leite não é diferente, uma vez que compete com outros produtos pela utilização desse recurso. Isso significa que menor produtividade por área utilizada tende a ser menos atrativa para o empresário rural.

Para exemplificar o raciocínio, pode-se verificar quanto um hectare de terra rende para o produtor. No ano de 2022, o preço médio recebido pelos produtores da amostra foi de R\$ 2,73 por litro de leite vendido. Considerando as produtividades dos dois grupos, os produtores eficientes receberam quase R\$ 45 mil por hectare utilizado na produção, enquanto o valor médio dos demais foi de cerca de R\$ 22 mil.

Uma vez que tal recurso é limitado para a maioria dos produtores rurais, o elevado valor recebido por unidade de área torna-se fundamental na tomada de decisão do que produzir. Certamente um produtor que fatura o dobro por unidade de área utilizada terá mais atrativos para permanecer na atividade.

A escassez de mão de obra na zona rural tem imposto dificuldades para a produção agropecuária e, em especial, para o leite, uma vez que é um setor que tradicionalmente sempre empregou muitas pessoas. Tais dificuldades muitas vezes forçam o produtor a mudar seu sistema, intensificando o uso de máquinas e equipamentos em detrimento ao uso de trabalho. Nesse sentido, o fato de a

produtividade média da mão de obra no grupo dos eficientes ser 73% maior que nos demais sinaliza que tais produtores estão utilizando melhor esse recurso, muitas vezes mediante qualificação de seus colaboradores.

Pelo exposto, nota-se que eficiência produtiva está diretamente relacionada com resultados técnicos da atividade, mensurados pelas produtividades dos recursos. Certamente, melhores resultados técnicos irão gerar resultados financeiros também maiores. Os dados apresentados na Tabela 3 permitem avaliar receita, custos e resultados nos dois grupos de produtores.

Tabela 3

Resultados econômicos dos produtores, estratificados de acordo com a eficiência produtiva

Especificação	Unidade	Não eficientes	Eficientes	Média
Renda bruta	R\$ mil/ano	1.152,66	3.046,54	1.662,55
Custo operacional efetivo	R\$ mil/ano	812,03	1.965,72	1.122,64
Custo operacional total	R\$ mil/ano	906,52	2.147,81	1.240,71
Custo total	R\$ mil/ano	988,09	2.337,45	1.351,38
Margem bruta	R\$ mil/ano	340,63	1.080,82	539,91
Margem líquida	R\$ mil/ano	246,14	898,73	421,84
Lucro	R\$ mil/ano	164,57	709,09	311,17

¹ Taxa de remuneração do capital investido considerando o valor das terras; ² Taxa de remuneração do capital investido sem considerar as terras

Fonte: Elaborado pelos autores

Conforme apresentado na metodologia, para avaliar o resultado econômico da atividade foi utilizado o procedimento de separar os custos operacionais de acordo com despesas diretas e indiretas, apresentado em Matsunaga et al. (1976) e largamente utilizado em trabalhos relacionados ao setor produtivo lácteo.

Em razão do maior volume de produção no grupo dos produtores eficientes, é de se esperar que as receitas e os custos de produção também sejam maiores, conforme se verifica. Os produtores mais eficientes faturam, em média, 2,6 vezes mais que os outros. Porém, as magnitudes dos custos não seguem essa mesma proporção, isto é, produtores eficientes gastam mais, porém as diferenças nos custos são relativamente menores. Com isso, as margens e o lucro são substancialmente maiores nos produtores do grupo eficiente.

A renda bruta média dos sete produtores identificados como eficientes é de aproximadamente R\$ 3 milhões por ano. Com despesas diretas (custo operacional efetivo) da ordem de R\$ 1,96 milhões, o resultado operacional de fluxo de caixa, medido pela margem bruta, é da ordem de R\$ 1 milhão. Para os menos eficientes está em torno de R\$ 340 mil.

Se forem incluídas as depreciações e a remuneração da mão de obra familiar, o custo operacional total dos eficientes sobe 9%, enquanto o acréscimo médio dos menos eficientes é da ordem de 11%. Com isso, a margem líquida anual dos eficientes fica em torno de R\$ 900 mil, contra R\$ 246 mil do outro grupo.

Por fim, se for adicionada a remuneração do capital investido, há um acréscimo médio no custo total em ambos os grupos da ordem de 9%. Ao contabilizar todos os custos (despesas diretas, depreciações e custos de oportunidade da mão de obra e do capital), o balanço final indica um lucro médio superior a R\$ 700 mil para os eficientes contra R\$ 164 mil para os demais. Em síntese, o lucro dos produtores que operam de forma tecnicamente eficiente é mais do que quatro vezes maior que o dos menos eficientes.

Apesar das significativas diferenças entre os dois grupos, os resultados apresentados já eram esperados. Em outras palavras, produtores com maior eficiência produtiva tendem a ter melhores resultados técnicos (produtividades) e, consequentemente, melhores resultados financeiros (margens e lucro). Essa sequência também foi identificada em outros trabalhos que avaliam a eficiência na produção de leite, tais como Ervilha e Gomes (2017), Gomes et al. (2018) e Almeida, Gomes e Freitas (2021).

4.2 Ecoeficiência e rentabilidade na produção de leite

Com o aumento da preocupação, tanto de consumidores quanto das indústrias, sobre questões ambientais e sustentáveis nos processos produtivos, surgiu a necessidade de se incentivar a produção mais sustentável da matéria-prima. Em outras palavras, em razão do aumento das exigências dos consumidores, as indústrias começaram a direcionar ações para a sustentabilidade da matéria-prima que é entregue pelos seus fornecedores.

No caso da produção de leite, o advento de ferramentas que mensuram a pegada de carbono nos processos produtivos permitiu identificar produtores mais ecoeficientes, ou seja, aqueles que produzem mais e poluem menos. A dúvida que surge naturalmente é se essa ecoeficiência é complementar ou substituta à eficiência produtiva.

Assim, optou-se por calcular novas medidas de eficiência, porém com foco na redução da emissão de poluentes, a chamada ecoeficiência. Conforme apresentado nos procedimentos metodológicos, foi utilizado um modelo com orientação insumo, permitindo identificar os produtores que, para o mesmo nível de faturamento, conseguem poluir relativamente menos.

Nesse modelo, 12 produtores foram considerados ecoeficientes. Para os demais, a média da medida de ecoeficiência foi da ordem de 69,80%, isto é, podem reduzir em até 22% (ou 1-0,7814) a emissão de CO₂ sem comprometer seu faturamento. Para isso, é preciso identificar seus *benchmarks* entre aqueles que foram ecoeficientes, pois conseguem atividades mais rentáveis e menos poluentes.

De forma semelhante ao modelo de eficiência produtiva, a utilização de retornos variáveis permite calcular medidas de pura ecoeficiência, desconsiderando a escala de produção, ou seja, o tamanho da atividade não afeta a ecoeficiência. Nesse sentido, os dados apresentados na Tabela 4 referem-se somente aos produtores que alcançaram máxima ecoeficiência.

Tabela 4

Recursos disponíveis e produção de leite dos produtores considerados ecoeficientes

Especificação	Unidade	Mínimo	Média	Máximo
Recursos disponíveis				
- Vacas em lactação	Cabeça	12,58	97,26	360,50
- Mão de obra	Pessoa	1,28	4,82	10,85
- Área para o gado	Hectare	10,13	79,74	378,42
- Capital investido	R\$ mil	635,10	4.037,32	13.962,85
Produção de leite	Litro/dia	230,56	2.244,75	9.033,61

Fonte: Elaborado pelos autores

Conforme se observa, há grande heterogeneidade entre os produtores ecoeficientes. A produção média dos 12 produtores considerados eficientes foi de 2.244 litros/dia, com um plantel em torno de 97 vacas em lactação e uso de 80

hectares de terra para a produção de leite, com cerca de R\$ 4,8 milhões de reais investidos na atividade.

Um ponto que chama atenção é que os dados de mínimos e máximos dessa tabela são iguais aos apresentados na Tabela 1. Isso significa que o menor e o maior produtor ecoeficiente também são eficientes produtivos. A Figura 1 permite avaliar melhor a relação entre ecoeficiência e eficiência produtiva.

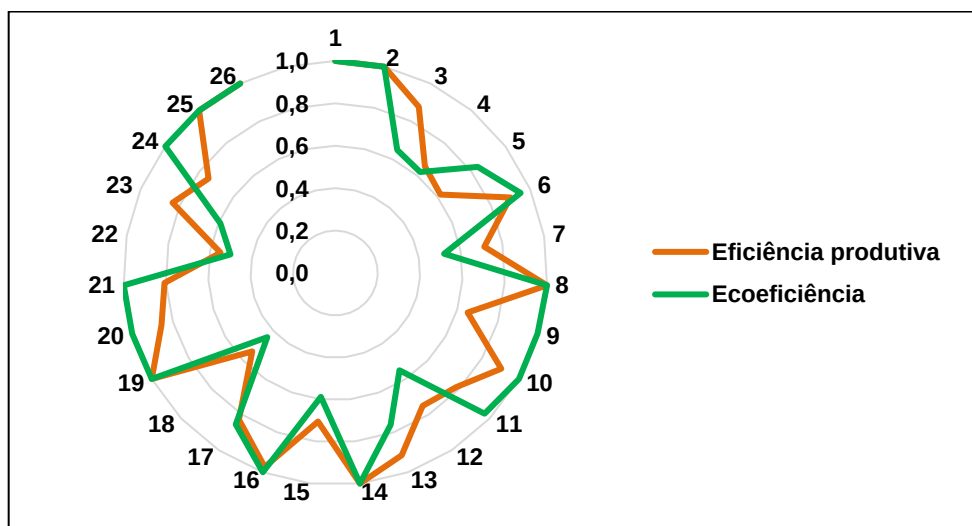


Figura 1. Medidas de eficiência produtiva e ecoeficiência dos produtores de leite

Fonte: Elaborado pelos autores

Nessa figura, o gráfico na forma de radar foi construído colocando-se os produtores em ordem crescente de acordo com o volume de produção. Assim, o produtor número 1 é o de menor produção (média anual de 230 litros/dia) e o número 26 é o de maior produção (média acima de 9 mil litros/dia).

Conforme mencionado, sete produtores foram considerados eficientes no modelo produtivo (produtores 1, 2, 8, 14, 19, 25 e 26). Verifica-se que todos eles também são considerados ecoeficientes. Ademais, nota-se que há elevada correlação entre as duas séries, com poucas unidades mais eficientes em um modelo e menos eficientes em outro, demonstrando a relação existente entre eficiência produtiva e ecoeficiência.

Percebe-se, ainda, que existem produtores eficientes e ecoeficientes com diversos volumes de produção, ou seja, é possível ser eficiente e ecoeficiente com qualquer tamanho de produção. Essa é uma constatação muito importante, uma vez que ações direcionadas para maior sustentabilidade podem e devem ser feitas para qualquer produtor, independente do volume de matéria prima fornecido para a indústria.

A grande questão a ser analisada é de que forma a adoção de práticas mais sustentáveis vai afetar o custo de produção e, conseqüentemente, a lucratividade e a rentabilidade da atividade. Em outras palavras, o uso de processos produtivos mais sustentáveis, mesmo aumentando o custo total, podem reduzir o custo unitário da produção? É possível obter economia de escala com a adoção de práticas sustentáveis?

Os dados apresentados na Tabela 5 permitem a comparação dos valores médios de alguns indicadores econômicos para dois grupos de produtores: o grupo dos ecoeficientes, composto por 12 produtores, e o grupo formado pelos demais produtores da amostra.

Tabela 5

Indicadores econômicos dos produtores, estratificados de acordo com a ecoeficiência

Especificação	Unidade	Não ecoeicientes	Ecoeficientes	Média
Preço recebido	R\$/litro	2,64	2,85	2,73
Custo unitário	R\$/litro	2,29	2,09	2,20
Lucro unitário	R\$/litro	0,34	0,76	0,53
Lucratividade operacional	%	16,38	29,66	22,50
Taxa de retorno do capital ¹	% ao ano	8,10	18,80	13,23

¹ Taxa de remuneração do capital investido considerando o valor das terras

Fonte: Elaborado pelos autores

Inicialmente, nota-se que o preço médio recebido pelos produtores ecoeficientes foi maior. A diferença de 8% no preço médio é significativa. A explicação para essa diferença pode estar relacionada com a forma de pagamento da indústria pela matéria-prima. De modo geral, a maioria das empresas concede bonificações sobre o preço da matéria-prima, de acordo com o volume entregue e a qualidade leite. Mais recentemente, algumas empresas já estão adotando a bonificação pelo uso de práticas sustentáveis no processo produtivo.

Além disso, o uso de práticas sustentáveis pode gerar efeitos benéficos sobre a qualidade do produto. Com isso, pode-se dizer que preços maiores recebidos pelos produtores ecoeficientes estejam relacionados tanto à bonificação pela sustentabilidade, como pela qualidade.

Além da possibilidade de receber mais por unidade de produto entregue, a média do custo unitário no grupo dos eficientes é menor, ou seja, a adoção de práticas mais sustentáveis é capaz de gerar ganhos de escala na produção. Preço recebido maior e custo médio menor certamente irão impactar positivamente nos resultados financeiros da empresa rural.

De fato, a média do lucro unitário dos produtores eficientes é mais que o dobro dos demais. Aliás, o lucro de R\$ 0,76/litro pode ser considerado um resultado extremamente positivo. Uma vez que a produção média desses produtores é da ordem de 2.244 litros/dia (Tabela 4), o lucro médio está em torno de R\$ 622 mil/ano. Significa dizer que, após pagar todas as despesas diretas, fazer a reserva para substituição dos bens depreciados e remunerar adequadamente a mão de obra do empresário e o capital investido, ainda sobram recursos significativos, os quais podem ser utilizados para realizar novos investimentos.

A lucratividade operacional permite estimar o risco com que a empresa rural está trabalhando em razão de alterações no preço de seu produto. O valor médio desse indicador é quase o dobro no grupo dos ecoeficientes, implicado que o preço recebido pelo seu produto pode reduzir em quase 30% e a empresa não irá operar com margem líquida negativa. Já para o grupo dos demais produtores, essa margem de segurança é bem menor.

A análise da lucratividade de forma isolada não permite verificar se a atividade é rentável, uma vez ela pode ser lucrativa, porém não esteja remunerando adequadamente o capital empatado. Do ponto de vista do empresário, a rentabilidade é considerada o indicador mais apropriado para verificar como está o retorno dos seus investimentos. Além disso, possibilita comparar como estão esses rendimentos em relação às alternativas de aplicações de capital disponíveis no mercado.

Para atividades agropecuárias de modo geral e, em especial, para a pecuária de leite, o cálculo da taxa de retorno do capital investido pode ser feito incluindo-se ou

não o valor da terra. Esse procedimento é realizado pois a terra pode se valorizar com o passar do tempo, caracterizando como investimento e não como custo de produção (Sebrae, 2022). Essa é uma questão importante, na medida em que o capital empatado em terras é um dos principais componentes do investimento realizado pelo empresário. Para se ter uma ideia, na amostra utilizada no presente trabalho, o estoque de capital investido em terras corresponde a 46% do total.

No intuito de comparar a rentabilidade da empresa produtora de leite com as de outras regiões, cujos preços da terra são diferentes, ou com outras atividades, optou-se por utilizar a taxa de remuneração do capital investido, incluindo a terra. Observando os dados da Tabela 5, nota-se que as atividades realizadas nas propriedades ecoeficientes são muito mais rentáveis, cuja taxa de retorno do capital investido média é mais que o dobro da registrada para os demais produtores da amostra.

Os produtores ecoeficientes da amostra estão conseguindo remunerar o capital empatado em aproximadamente 19% ao ano, em média, enquanto nos demais produtores essa taxa está em torno de 8%. Vale ressaltar, novamente, que esses valores não levam em consideração a possibilidade de a terra se valorizar ao longo do tempo. Se o cálculo for realizado desconsiderando-se os valores investidos em terra, as taxas de remuneração do capital seriam substancialmente maiores.

De qualquer forma, os dados são consistentes e favoráveis aos produtores mais ecoeficientes, ou seja, há relação entre sistemas de produção ecoeficientes e rentáveis. A Figura 2 resume bem os principais resultados encontrados no presente trabalho, comparando remuneração do capital investido com emissão de poluentes nas atividades desenvolvidas pelos produtores de leite da amostra.

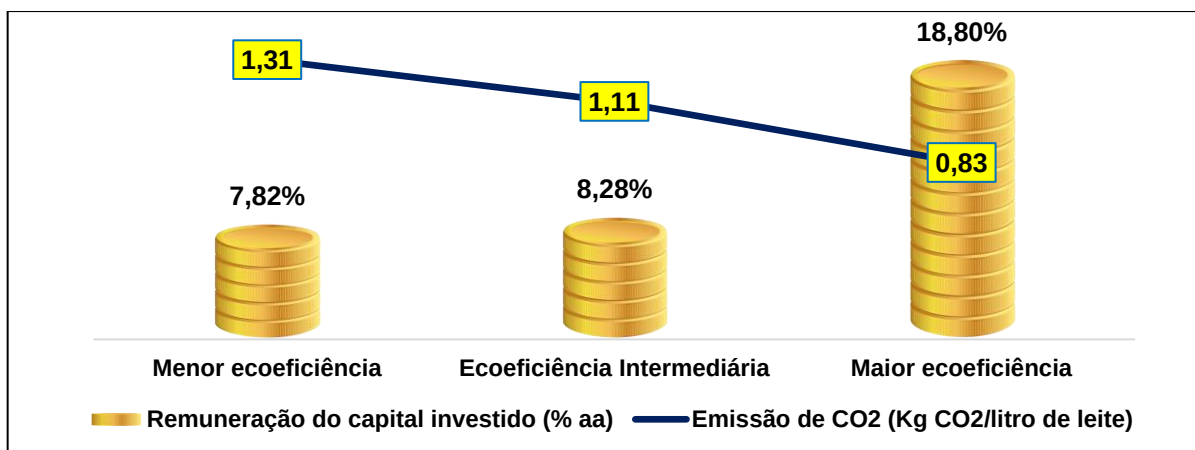


Figura 2. Remuneração do capital investido e emissão de CO₂ na produção de leite dos produtores, estratificados de acordo com a ecoeficiência

Fonte: Elaborado pelos autores

Nessa figura, o grupo dos produtores que não alcançaram máxima ecoeficiência foi subdividido em dois, sendo metade dos produtores com menor ecoeficiência e metade com ecoeficiência intermediária. O grupo dos ecoeficientes permaneceu inalterado.

Conforme discutido anteriormente, as emissões de poluentes nas fazendas assistidas pelo PDPL foram calculadas utilizando-se o GHG Protocolo Agropecuário, que permite sintetizar os resultados em dióxido de carbono (CO₂) equivalente. Dividindo-se esses valores pela produção de leite, obtém-se o indicador de quantidade

emitida de CO₂ por litro de leite produzido, cujos valores médios dos grupos estão na Figura 2.

Certamente, a quantidade emitida de poluentes aumenta com a expansão da produção, fato que ocorre em qualquer atividade produtiva. Porém, o que se percebe é que a emissão de poluentes por litro de leite produzido diminui na medida em que se aumenta a ecoeficiência, comprovando a hipótese de que é possível aumentar o faturamento da empresa rural emitindo proporcionalmente menos poluentes, ao se utilizar de forma mais racional os insumos.

Além disso, a ecoeficiência impacta positivamente os resultados financeiros da empresa. Em outras palavras, atividades mais ecoeficientes possuem menor custo unitário de produção e, conseqüentemente, maior rentabilidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência produtiva e a ecoeficiência na produção de leite. Para isso, foi utilizada uma amostra de produtores de leite que recebem assistência técnica e gerencial do Programa de Desenvolvimento da Pecuária Leiteira (PDPL).

Buscou-se evoluir nas análises de eficiência para esse importante segmento da economia brasileira, relacionando aspectos de sustentabilidade e rentabilidade na atividade. De modo mais específico, a ideia central foi verificar se eficiência produtiva, ecoeficiência e rentabilidade seguem no mesmo sentido.

Nos últimos anos, a produção de leite tem sido pressionada, no sentido de reduzir sua emissão de poluentes. Apontada como grande fonte poluidora, a produção primária desse importante alimento tem sido alvo de discussões em todos os elos da cadeia de lácteos, desde os fornecedores da matéria-prima até os consumidores, passando pela indústria de transformação.

Em todo o mundo, os consumidores passam por mudanças significativas, buscando combinar estilo de vida mais saudável e consumo mais consciente. Sobre esse aspecto, passaram a exigir que as empresas utilizem práticas sustentáveis no oferecimento de seus produtos e serviços.

No intuito de atenderem às novas exigências de seus consumidores e colaboradores, as empresas, por sua vez, passaram a adotar práticas mais sustentáveis. Tais práticas têm modificado não só o processo de geração dos produtos finais, como também os processos produtivos das matérias-primas.

No caso da pecuária leiteira, grandes empresas já estão trabalhando no sentido de reduzir a pegada de carbono dos seus fornecedores. Ações de descarbonização da produção primária têm sido implementadas em várias frentes, desde a conscientização dos fornecedores, passando por modificações na infraestrutura produtiva, até a bonificação pelo uso de práticas sustentáveis.

É nesse escopo que o presente trabalho se encaixa, ao tentar relacionar ecoeficiência e rentabilidade. Partiu-se da hipótese de que o uso de práticas mais sustentáveis não aumenta o custo médio da produção, ou seja, podem gerar ganhos de escala no processo produtivo. De fato, verificou-se que o grupo de produtores que trabalham com maior ecoeficiência tendem a receber mais pelo produto vendido e a terem menor custo médio. Com isso, conseguem maiores taxas de lucratividade e de rentabilidade.

Esse é um importante resultado, na medida em que pode impactar a relação da indústria com seus fornecedores, na busca por uma matéria-prima mais sustentável. De outra forma, as indústrias precisam bonificar seus fornecedores pela

adoção de práticas sustentáveis ou convencê-los de que o uso dessas práticas pode gerar maior rentabilidade?

Muito ainda há de ser feito para chegar a uma resposta definitiva. Porém, independente de qual política seja adotada, é preciso desmistificar a ideia de que o uso de práticas sustentáveis no processo produtivo gera aumento de custo e não dá lucro. Pelo contrário, na produção de leite, ecoeficiência e rentabilidade podem caminhar no mesmo sentido.

REFERÊNCIAS

- Abrahão, J. A., & Natel, A. S. (2022). Indicadores de sustentabilidade ambientais na pecuária leiteira: revisão sistemática. *Research, Society e Development*, 11(5), e6211527883.
- Almeida, F. M. S., Gomes, A. P. & Freitas, A. F. (2021). Social networks and efficiency in dairy farming: the case of the Program for the Development of Dairy Farming in Minas Gerais, Brazil. *Livestock Science*, 244(6), 104401.
- Almeida, M., & Bacha, C. J. C. (2021). Literatura sobre eficiência na produção leiteira brasileira. *Revista de Política Agrícola*, 30(1), 20-33.
- Banker, R.D., Charnes, H. & Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Bassotto, L. C., Lima, A. L. R., Carvalho, F. M., Lopes, M. A., Nascimento, E. F. R., & Lima Netto, E. P. (2023). Characteristics of dairy farms with different levels of technical efficiency. *Ciência e Agrotecnologia*, 47, e019122.
- Brito, A. S., Nobre, F. V. & Fonseca, J. R. R. (2009). *Bovinocultura leiteira: informações técnicas e de gestão*. Natal, Sebrae-RN.
- Carvalho, G. R., Barquette, I. & Nogueira, J. (2022). *A evolução da produção global de leite na última década*. Juiz de Fora, Embrapa Gado de Leite.
- Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2007). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. New York, Springer.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2011). *Handbook on Data Envelopment Analysis*. New York, Springer.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2023). *Anuário leite 2023*. Juiz de Fora, Embrapa Gado de Leite.
- Ervilha, G. T., & Gomes, A. P. (2017). Efficiency and selection of benchmarks in milk production in Minas Gerais - Brazil. *Rivista di Economia Agraria*, 72(2), 107-134.
- Farrell, M. J. (1957). *The measurement of productive efficiency*. Journal of the Royal Statistical Society, Series A, part III, 253-290.

- Ferguson, C. E. (2008). *The neoclassical theory of production and distribution*. Cambridge, Cambridge Books.
- Ferreira, C. M. C., & Gomes, A. P. (2020). *Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações*. Viçosa, Editora UFV.
- Freeman, M. A., Haveman, R.H., & Kneese, A. V. 1973. *The Economics of Environmental Policy*. New York, John Wiley & Sons.
- Gomes, A. P., Ervilha, G. T., Freitas, L. F., & Nascif, C. (2018). Assistência técnica, eficiência e rentabilidade na produção de leite. *Revista de Política Agrícola*, 27(2), 79-94.
- Gomes, A. P., Ervilha, G. T., Melo, T. P., & Gomes, A. P. W. (2022, novembro). Custos, eficiência e rentabilidade na atividade leiteira. *Anais do Congresso Brasileiro de Custos - ABC*, João Pessoa, PB, Brasil, 29.
- Gomes, S. T. (2001). *Economia da produção de leite*. Belo Horizonte, Itambé.
- Greenhouse Gas Protocol (2023). Disponível em <https://ghgprotocol.org/>. Acesso em: 14/08/2023.
- Huppes, C. M., Bigolin, T., Muhl, J. J., & Souza, A. R. L. (2020, novembro). Análise custo-volume-lucro para ponderação de sistemas de produção leiteira. *Anais do Congresso Brasileiro de Custos - ABC*, virtual, 27.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017). Censo Agropecuário 2017. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 14/08/2023.
- Kuosmanen, T., & Kortelainen, M. (2005). Measuring eco-efficiency of production with data. *Journal of Industrial Ecology*, 9(4), 59-72.
- Malafaia, G. C., Azevedo, D. B., Pereira, M. A., & Matias, M. J. A. (2019). A Sustentabilidade na Cadeia Produtiva da Pecuária de Corte Brasileira. In: Bungenstab, D. J., Almeida, R. G., Laura, V. A., Balbino, L. C., Ferreira, A. D. (eds). *ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta*. Cap. 8. Brasília, Embrapa.
- Martínez, V. R., Valente, A. J. B., Estrada, U. V. P., Lagarda, J. L. V., González, B. H., & Saguilán, P. C. (2023). Um estudo de caso abrangente sobre a sustentabilidade da pecuária leiteira tropical em Oaxaca, México. *Ciência Rural*, 53(11), e20210026.
- Matsunaga, M., Bemelmans, P. F., Toledo, P. E. N., Dulley, R. D., Okawa, H. & Pedroso, I. A. (1976). Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. *Agricultura em São Paulo*, 23(1), 123-139.
- Pereira, L. G. R. (2023). Eficiência, sustentabilidade e lucratividade caminham juntas. In. *Anuário leite 2023*. Juiz de Fora, Embrapa Gado de Leite.

- Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. L. (2013). *Microeconomia*. 8 ed. São Paulo, Prentice Hall.
- Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Galetti, M., Alamgir, M., Crist, E., Mahmoud, M. I., Laurance, W. F., & 15,364 scientist signatories from 184 countries. (2017). World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice, *BioScience*, 67(12), 1026-1028.
- Sen, A. (2008). The idea of justice. *Journal of Human Development*, 9(3), 331-342.
- Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (2022). *Metodologia Educampo de gestão aplicada à pecuária leiteira*. Belo Horizonte, Sebrae.
- Silva, J. V. B., Roseno-Peña, C., Martins, M. M. V., Tavares, R. C., & Silva, P. H. B. (2022). Ecoeficiência da produção agropecuária na Amazônia brasileira: fatores determinantes e dependência espacial. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(spe), e250907.
- Silva, M. F., & Gameiro, A. H. (2021). Indicadores de sustentabilidade para a produção de leite: uma revisão de literatura. *Sustentabilidade e Empreendedorismo*, 6(5), 208-237.
- Steurer, R., Langer, M. E., Konrad, A., & Martinuzzi, A. (2005). Corporations, stakeholders and sustainable development I: a theoretical exploration of business–society relations. *Journal of Business Ethics*, 61(3), 263-281.
- Varian, H. R. (2015). *Microeconomia: princípios básicos*. 9 ed. Rio de Janeiro, Campus.
- World Resources Institute (2015). *Metodologia do GHG Protocol da agricultura*. Campinas, UNICAMP/WR Brasil.
- Ximenes, L. F., & Soares, K. R. (2023). Agropecuária: Lácteos. *Caderno Setorial ETENE*, 8(266), 1-13.