

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO ANIMAL

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA AMBIENTAL E ECONÔMICA DA PECUÁRIA LEITEIRA EM SISTEMA COMPOST BARN

FRANCIANE GABRIELLE DOS SANTOS

MONTES CLAROS

2024

Franciane Gabrielle dos Santos

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA AMBIENTAL E ECONÔMICA DA PECUÁRIA
LEITEIRA EM SISTEMA *COMPOST BARN***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Animal do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Animal.

Orientadora: Profa. Dra. Anna Christina de Almeida

Coorientadores: Dr. Fernando Colen
Dr. Otaviano de Souza Pires Neto

Montes Claros

2024

Santos, Franciane Gabrielle.

S237a Avaliação do ciclo de vida ambiental e econômica da pecuária leiteira em sistema
2024 Compost Barn [manuscrito]/ Franciane Gabrielle dos Santos. Montes Claros, 2024.
85 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Animal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientadora: Anna Christina de Almeida

Banca examinadora: Anna Christina de Almeida, Fernando Colen, Otaviano de Souza Pires Neto, Leidivan Almeida Frazão, Clandio Favarini Ruviaro.

Inclui referências: f. 23-26; 43-46; 61-64; 82-84.

1. Impacto ambiental -- Teses. 2. Redução de gases do efeito estufa -- Teses. 3. Pegada de carbono -- Teses. 4. Produtividade agrícola -- Teses. 5. Retorno de investimentos -- Teses. I. Almeida, Anna Christina. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 636.2.034



**Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Agrárias
Colegiado de Pós-Graduação em Produção Animal**

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 14 dias do mês de junho de 2024 às 14:30 horas, sob a Presidência da Professora Anna Christina de Almeida, D. Sc. (Orientadora – UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Fernando Colen, D. Sc. (Coorientador – UFMG/ICA), Otaviano de Souza Pires Neto, D. Sc. (Coorientador - Unimontes), Leidivan Almeida Frazão, D. Sc. (UFMG/ICA) e Clandio Favarini Ruviaro, D. Sc. (UFGD), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de defesa de dissertação de **Franciane Gabrielle dos Santos**, aluna do Curso de Mestrado em Produção Animal. O resultado da defesa de dissertação intitulada **“Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental e Econômica da Pecuária Leiteira em Sistema Compost Barn”**, sendo a aluna considerada **APROVADA**. E, para constar, eu, Professora Anna Christina de Almeida, Presidente da Banca, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: A aluna somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 53 do regulamento e da resolução 05/2016 do Curso de Mestrado em Produção Animal.

Documento assinado digitalmente
gov.br FERNANDO COLEN
Data: 14/06/2024 17:22:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Fernando Colen
Coorientador

Documento assinado digitalmente
gov.br LEIDIVAN ALMEIDA FRAZAO
Data: 17/06/2024 09:29:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Leidivan Almeida Frazão
Membro

Documento assinado digitalmente
gov.br ANNA CHRISTINA DE ALMEIDA
Data: 18/06/2024 14:14:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Anna Christina de Almeida
Orientadora

Montes Claros, 14 de junho de 2024.

Documento assinado digitalmente
gov.br OTAVIANO DE SOUZA PIRES NETO
Data: 17/06/2024 19:00:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Otaviano de Souza Pires Neto
Coorientador

Documento assinado digitalmente
gov.br CLANDIO FAVARINI RUVIARO
Data: 17/06/2024 10:22:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Clandio Favarini Ruviaro
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai José Carlos, *in memoriam*, por me incentivar a iniciar a jornada acadêmica. Aos meus irmãos Francine e Francis, meus cunhados Daniel e Cíntia e à minha tia, Iara, por todo o suporte durante esta trajetória. Não haveria dissertação sem o apoio de vocês.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado nos momentos bons e ruins e nunca me deixaram desistir. Todos vocês foram essenciais nessa caminhada. Agradeço em especial à Joyce, Nayra, Raphael, João e Luiz, sem os quais não teria chegado até aqui.

À minha orientadora, professora Anna Christina de Almeida, pela parceria desde o início da graduação, que contribuiu tanto para minha formação acadêmica e pessoal. Aos meus co-orientadores, os professores Fernando Colen e Otaviano Neto, que abraçaram a minha ideia e ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Otaviano Pires, que generosamente abriu as portas de sua propriedade para a realização desta pesquisa, e a toda equipe de colaboradores da fazenda Curral Novo.

Agradeço ao grupo de estudos em sanidade animal e qualidade do leite - Sanileite, que me proporcionou tantas oportunidades e conhecimento, e aos alunos que me ajudaram na coleta de dados, tornando este trabalho possível.

À Universidade Federal de Minas Gerais - ICA pela oportunidade da minha formação profissional, e a todos os docentes e servidores que contribuíram para este processo. Agradeço também ao Programa de Pós-Graduação em Produção Animal, pela oportunidade de crescimento acadêmico e pessoal.

RESUMO

A pecuária leiteira tem grande importância socioeconômica no Brasil, e nas últimas décadas têm registrado uma constante evolução da cadeia produtiva, buscando aumentar a qualidade do produto e a eficiência desta atividade. Nesse contexto, os sistemas de produção têm se intensificado e adotado novas tecnologias. Além da busca por maior eficiência produtiva, a sustentabilidade ambiental dos sistemas agropecuários tem sido cada vez mais discutida, e a bovinocultura leiteira é associada a uma série de potenciais impactos ambientais, sendo imprescindível a identificação e mitigação dos mesmos para a consolidação de uma cadeia produtiva sustentável. O sistema *compost barn* tem se destacado como opção de confinamento para bovinos leiteiros, por seu menor custo de implantação em relação a outros sistemas estabulados e a possibilidade de dar um destino adequado aos dejetos dos animais. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o ciclo de vida ambiental e a viabilidade econômica da implantação de um sistema *compost barn* em uma fazenda leiteira localizada no município de Bocaiúva, no semiárido Norte mineiro. Na Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) foram avaliadas as categorias de impacto de mudanças climáticas; acidificação terrestre e eutrofização de água doce. A viabilidade econômica foi avaliada a partir da compilação e análise de receita bruta, receita líquida, custos e despesas, fluxo de caixa, depreciação e amortização, custo de oportunidade, taxa mínima de atratividade (TMA), valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), *Payback* descontado, índice de lucratividade e ponto de nivelamento. A produção de 1kg de leite corrigido para gordura e proteína na propriedade avaliada está associada a uma pegada de carbono de 1,6698 kg CO₂-eq, acidificação terrestre de 0,003443 kg SO₂-eq e eutrofização de água doce de 0,000289 kg PO₄-eq. O investimento no sistema *compost barn* se mostrou economicamente viável, com VPL de R\$541.487,17, TIR de 44,83% e *Payback* de 2,56 anos. A adoção do sistema *compost barn* na propriedade contribuiu tanto para a pegada de carbono abaixo da média global quanto para a viabilidade econômica da atividade.

PALAVRAS CHAVE: Impactos ambientais. Gases de efeito estufa. Pegada de carbono. Custos de produção. *Payback* descontado.

ABSTRACT

Dairy farming has great socioeconomic importance in Brazil, and in recent decades has recorded a constant evolution of the production chain, seeking to increase the quality of the product and the efficiency of this activity. In this context, production systems have intensified and adopted new technologies. In addition to the quest for greater productive efficiency, the environmental sustainability of agricultural systems has been increasingly discussed, and dairy farming is associated with a series of potential environmental impacts, making it essential to identify and mitigate them for the consolidation of a sustainable production chain. The compost barn system has stood out as a confinement option for dairy cattle, due to its lower implementation cost compared to other stabled systems and the possibility of providing an appropriate destination for animal waste. Therefore, the objective of this work was to evaluate the environmental life cycle and economic feasibility of implementing a compost barn system on a dairy farm located in the municipality of Bocaiúva, in the semi-arid northern region of Minas Gerais. In the Life Cycle Assessment (LCA), the impact categories of climate change, terrestrial acidification, and freshwater eutrophication were evaluated. Economic feasibility was assessed through the compilation and analysis of gross revenue, net revenue, costs and expenses, cash flow, depreciation and amortization, opportunity cost, minimum attractiveness rate (MAR), net present value (NPV), internal rate of return (IRR), discounted payback, profitability index, and breakeven point. The production of 1 kg of fat- and protein-corrected milk on the evaluated property is associated with a carbon footprint of 1.6698 kg CO₂-eq, terrestrial acidification of 0.003443 kg SO₂-eq, and freshwater eutrophication of 0.000289 kg PO₄-eq. Investment in the compost barn system proved to be economically viable, with an NPV of R\$541,487.17, an IRR of 44.83%, and a payback of 2.56 years. The adoption of the compost barn system on the property contributed both to a carbon footprint below the global average and to the economic viability of the activity.

KEYWORDS: Environmental impacts. Greenhouse gases. Carbon footprint. Production costs. Discounted payback.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Imagem 1- Schematic of the biological and technical cycles.....	36
Imagem 2 - Localização geográfica e sistema de produção avaliado.....	52
Imagem 3 - Visão de satélite da propriedade avaliada.....	71
Imagem 4 - Compost barn da propriedade.....	72
Gráfico 1 - Produção, custos de produção, receita, lucro e ponto de nivelamento ao longo do período avaliado.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de animais por categoria e produção leiteira da propriedade avaliada.....	52
Tabela 2 - Participação dos produtos no processo de manejo do rebanho.....	55
Tabela 3 - Impacto ambiental da produção de 1kg FPCM na fazenda estudada.....	57
Tabela 4 - Inventário do processo elementar armazenamento de insumos.....	64
Tabela 5 - Inventário do processo elementar manejo do rebanho.....	65
Tabela 6 - Inventário do processo elementar de manejo de dejetos.....	65
Tabela 7 - Produção e produtividade por animal no período avaliado.....	70
Tabela 8 - Produção, receita bruta, custos de produção e receita líquida da propriedade de 2020 a 2022.....	76
Tabela 9 - Fluxo de caixa e amortização projetados em horizonte temporal de dez anos.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV - Avaliação do Ciclo de Vida
AICV - Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
GEE - Gases de Efeito Estufa
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV - Inventário de Ciclo de Vida
IDF - *International Dairy Federation*
IL - Índice de Lucratividade
IPCC - *Intergovernmental Panel On Climate Change*
ISO - *International Organization for Standardization*
PPM - Pesquisa Pecuária Municipal
PN - Ponto de Nivelamento
TIR - Taxa Interna de Retorno
TMA - Taxa Mínima de Atratividade
VPL - Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo geral.....	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1. A pecuária leiteira no Brasil e em Minas Gerais.....	15
3.2. Impactos ambientais da pecuária leiteira.....	16
3.2.1. Avaliação de sustentabilidade ambiental na pecuária leiteira.....	18
3.3. Viabilidade econômica da pecuária leiteira.....	20
REFERÊNCIAS.....	23
4. ARTIGO - ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY AND ECONOMIC VIABILITY OF THE COMPOST BARN SYSTEM IN BRAZILIAN DAIRY FARMING	27
ABSTRACT.....	28
RESUMO.....	28
INTRODUCTION.....	29
DEPLYOMENT.....	30
CONCLUSION.....	43
REFERENCE.....	43
5. ARTIGO - AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DA PECUÁRIA LEITEIRA EM SISTEMA COMPOST BARN	47
RESUMO.....	48
ABSTRACT.....	49
RESUMEN.....	49
INTRODUÇÃO.....	50
MATERIAL E MÉTODOS.....	51
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS.....	61
ANEXOS.....	65
6. ARTIGO - VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMA COMPOST BARN PARA A PECUÁRIA LEITEIRA	67
RESUMO.....	68
ABSTRACT.....	68
INTRODUÇÃO.....	69
MATERIAL E MÉTODOS.....	70
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
REFERÊNCIAS.....	82
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	85

1. INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira é uma importante geradora de renda para o Brasil, empregando milhões de pessoas, direta ou indiretamente. Atualmente, há mais de um milhão de estabelecimentos rurais dedicados à atividade no país, distribuídos em quase todos os municípios brasileiros (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2023). Buscando cada vez mais aumentar sua eficiência, a cadeia produtiva leiteira do Brasil tem passado por uma série de mudanças, como a intensificação dos sistemas produtivos e a seleção e melhoramento dos rebanhos (Rocha et al., 2020).

A população mundial atingiu a marca de oito bilhões de habitantes em 2022, e há estimativas de que alcance os 9 bilhões até o ano de 2050, aumentando a pressão sobre o setor agropecuário, que deve ser capaz de produzir alimentos que atendam a essa população, sem comprometer os sistemas ambientais (Medeiros, 2023). Nesse contexto, os esforços da pecuária leiteira nacional agora se concentram não só em aumentar a eficiência produtiva e entregar um produto de excelente qualidade, mas também na preservação da biodiversidade, adoção de práticas regenerativas e mitigação de impactos ambientais (Neiva; Rocha, 2023).

A adoção de novas tecnologias e a otimização dos sistemas produtivos tem se destacado nesse processo de desenvolvimento da pecuária leiteira, com a transição de sistemas extensivos para modelos intensivos de produção. Nos sistemas intensivos, tem-se observado ganhos em bem estar e produtividade animal, bem como a viabilidade econômica a longo prazo. Além disso, estudos vêm apontando que sistemas intensivos de produção tendem a ter um menor impacto ambiental, pois será concentrado em uma menor área e os possíveis impactos diluídos por um maior volume de produção (Caldato, 2019; Krüger et al., 2019).

Na intensificação da pecuária leiteira, o sistema de *compost barn* tem se destacado cada vez mais no cenário nacional como uma alternativa de confinamento que requer um menor investimento inicial, em comparação a outros sistemas estabulados e, que permite uma destinação adequada dos dejetos produzidos pelos animais, que poderão ser utilizados como fertilizante orgânico após o processo *in loco* de compostagem. O *compost barn* também proporciona ganhos em ambiência e bem estar, que favorecem aumento de produtividade dos animais (Caldato, 2019; Krüger et al., 2019).

Além da importância socioeconômica e do desenvolvimento da pecuária leiteira nacional, as preocupações com a sustentabilidade da cadeia produtiva também têm crescido e cada vez mais são estudados os potenciais impactos ambientais e como podem ser mitigados. Dentre estes impactos ambientais potenciais, destaca-se a emissão de gases de efeito estufa (GEE), sendo dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) os mais associados à bovinocultura de leite (*Intergovernmental Panel On Climate Change - IPCC, 2019*). A agropecuária foi responsável por pouco mais de 36% das emissões totais de GEE do Brasil no ano de 2022, sendo o setor com a maior participação no montante (SEEG, 2024).

Três quartos das emissões de gases de efeito estufa associadas à cadeia produtiva dos produtos lácteos advém da produção primária, ou seja, da produção do leite nas fazendas, evidenciando a necessidade de compreender os possíveis impactos ambientais ao longo do processo produtivo e como minimizá-los (*International Dairy Federation - IDF, 2015*). Nesse contexto, é fundamental a avaliação da sustentabilidade ambiental dos sistemas de produção de leite, buscando identificar os pontos críticos ao longo do processo de produção e alternativas para sua mitigação. A avaliação do ciclo de vida (ACV) tem sido usada como ferramenta de análise de desempenho ambiental na produção leiteira, sendo um método que permite compreender os impactos ambientais de forma completa, possibilitando a busca por aperfeiçoamento em diferentes pontos do processo produtivo e otimizando a gestão ambiental e a redução dos impactos ambientais associados à cadeia produtiva (Seó et al., 2017). A ACV engloba os aspectos ambientais e os potenciais impactos ambientais de todo o ciclo de vida de um produto, da obtenção das matérias-primas, processo de produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem e disposição final, sendo denominada como avaliação “do berço ao túmulo” (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2009a).

A viabilidade econômica é outro pilar fundamental para a pecuária leiteira, bem como para qualquer empreendimento. É imprescindível que as propriedades sejam consideradas como empresas e façam uso de ferramentas gerenciais que permitam que as fazendas se mantenham rentáveis e avancem juntamente com o restante da cadeia produtiva dos lácteos (Krüger et al., 2019; Neves et al., 2017).

Apesar de a pecuária leiteira ter particularidades que podem ser

consideradas desafiadoras para a prática da contabilidade rural, como a variação dos custos de produção e a saída de múltiplos produtos, a análise de custos e investimentos são imprescindíveis para a gestão assertiva da atividade (Souza et al., 2022; Krüger et al., 2019).

A pecuária leiteira é uma atividade em constante desenvolvimento, e a busca por melhorias em produção e produtividade deve ser conciliada com a rentabilidade e sustentabilidade ambiental da atividade. Assim sendo, deve-se estudar tecnologias produtivas que permitam conciliar estes três pilares, como por exemplo, o sistema *compost barn*.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar os impactos ambientais da pecuária leiteira e a viabilidade econômica da implantação do sistema *compost barn* na propriedade estudada.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar Avaliação do Ciclo de Vida da pecuária leiteira na propriedade;
- Avaliar o potencial dos impactos ambientais da atividade, nas categorias de mudanças climáticas, acidificação terrestre e eutrofização de água doce;
- Estudar a viabilidade econômica da adesão ao sistema de confinamento *compost barn*.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A pecuária leiteira no Brasil e em Minas Gerais

A pecuária leiteira está presente em todos os estados do Brasil, praticada em 5.494 municípios sob diferentes níveis tecnológicos e sistemas de produção. As regiões Sul e Sudeste se destacam no cenário nacional, representando 33,8 e 33,6% do volume de leite produzido em 2022, respectivamente. Ainda neste ano, a pecuária brasileira como um todo registrou valor de produção de 116,3 bilhões de reais, dos quais 80 bilhões foram gerados pela produção de leite, evidenciando a relevância econômica deste setor para o País (IBGE, 2023).

Em busca de maior eficiência de produção, há uma tendência de que os sistemas produtivos de leite se tornem mais intensivos, usando o aumento da escala de produção como estratégia para reduzir os custos por unidade de produto e aumentar a rentabilidade. Essa estratégia demanda maior investimento e gestão assertiva de custos, o que tem resultado na redução do número de produtores envolvidos na atividade, ao mesmo tempo em que observa-se crescimento na produção e produtividade nacional (Rentero, 2023).

De acordo com a Pesquisa Pecuária Municipal (PPM), foram produzidos 34,6 bilhões de litros de leite no Brasil durante o ano de 2022, com rebanho ordenhado de 15,74 milhões de animais. O volume de produção apresentou queda de 1,6% em relação aos 35,18 bilhões de litros produzidos no ano de 2021, associada à oscilação no valor dos insumos e o abandono da atividade por produtores menores (IBGE, 2023).

Entre os dois últimos censos agropecuários realizados, nos anos de 2006 e 2017, o número de estabelecimentos com produção de leite reduziu em 12,92%, passando de 1,35 para 1,18 milhões de propriedades envolvidas na atividade. No mesmo período, houve redução no número de propriedades com produção inferior a 50 litros por dia, enquanto aumentou o número de fazendas nas faixas de produção de 50 a 200 litros e acima de 200 litros. De 2006 a 2017 o número de fazendas com produção superior a 200 litros por dia aumentou de 44 para 87 mil, resultado da busca por melhorias em eficiência de produção. Embora este grupo ainda represente apenas cerca de 7,4% do total de produtores de leite, é responsável por 55,6% de toda a produção nacional (Ferrazza; Castellani, 2022). A produtividade

média nacional, expressa em litros por vaca ao ano, saltou de 1.213 litros em 2006 para 1.977 em 2017, um aumento de aproximadamente 63%. Já em 2022, a produtividade média do rebanho foi de 2.199 litros, 11% maior que no ano de 2017, corroborando o aumento da eficiência produtiva no Brasil (CILEITE, 2024; IBGE, 2023).

Minas Gerais continua sendo o maior produtor de leite do Brasil, registrando uma produção de 9,4 bilhões de litros em 2022, o que representa 27% do volume nacional e 80% da produção da região Sudeste. O estado também possui o maior rebanho de animais ordenhados, estimado em 3,1 milhões, cerca de 20% do rebanho nacional, com uma produtividade média de 2.982 litros por vaca ao ano, 36% acima da média nacional. No mesmo ano, a mesorregião Norte de Minas Gerais foi responsável por 3,3% da produção estadual, totalizando 309.471 litros de leite, o menor volume entre as dez mesorregiões do Estado. A produtividade nessa mesorregião foi de 1.641,2 litros por vaca ao ano, com média diária de 5,4 litros por animal, superando apenas a média da região dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (IBGE, 2023).

A baixa produção e produtividade registradas no Norte de Minas Gerais podem ser associadas a diferentes fatores, com destaque para o nível de tecnificação dos sistemas de produção. Em estudo sobre a heterogeneidade tecnológica da pecuária leiteira em Minas Gerais, que contemplou fatores agrupados entre tecnologias de pastejo e controle sanitário, tecnologias de qualidade e reprodução e escala de produção, as microrregiões de Montes Claros, Bocaiúva e Janaúba apresentaram nível intermediário de desenvolvimento tecnológico, enquanto as demais microrregiões integrantes da mesorregião Norte foram classificadas como de baixo nível tecnológico (Simões; Reis; Avelar, 2017).

3.2. Impactos ambientais da pecuária leiteira

Os produtos lácteos são ricos em nutrientes essenciais, e a demanda por proteína de origem animal de alta qualidade cresce juntamente com o aumento da população mundial. Assim sendo, a cadeia produtiva do leite é um setor em franco desenvolvimento, e é fundamental que este crescimento seja conduzido de forma sustentável, levando em consideração os possíveis impactos da atividade para o meio ambiente (*Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO,*

2018).

Um termo cada vez mais recorrente nas discussões sobre sustentabilidade e impacto ambiental é a pegada de carbono. Entende-se por pegada de carbono o total de emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas a um produto ao longo de sua cadeia de produção e distribuição, normalmente expressa em quilogramas ou toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) (FAO, 2010). No panorama da cadeia produtiva de lácteos, estima-se que pelo menos três quartos da pegada de carbono total venha da produção primária, ou seja, da produção de leite nas fazendas (IDF, 2015).

A pecuária leiteira está associada principalmente a emissão de três importantes gases de efeito estufa: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). A emissão de CO₂ advém da produção de fertilizantes, do consumo de energia elétrica e fóssil em fertilização e outras atividades de campo; do processamento das culturas agrícolas em subprodutos e concentrados, do transporte dos insumos ao longo da cadeia produtiva e dos alimentos produzidos para o local de fornecimento e de alteração em estoques de carbono no solo a partir de mudanças no uso da terra, especialmente devido ao desmatamento. O CH₄ advém da fermentação entérica dos animais e de emissões relacionadas ao manejo do esterco, enquanto o N₂O, por sua vez, é emitido direta ou indiretamente pela aplicação de esterco ou fertilizantes químicos nas culturas agrícolas, pela disposição de esterco e urina nas pastagens, por perdas de nitrogênio relacionadas a mudanças nos estoques de carbono do solo e pelo manejo e armazenamento do esterco (FAO, 2010; IPCC, 2019).

No ano de 2006, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) publicou o *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*, disponibilizando as primeiras estimativas da contribuição do setor pecuário para as emissões de GEE em âmbito global. Nesta publicação, que levou em conta toda a cadeia alimentar dos animais de produção, estimou-se que o setor era responsável por aproximadamente 18% das emissões antropogênicas totais de GEE, das quais 4% seriam associadas diretamente à pecuária leiteira. Já naquele ano, estava claro a iminência de uma crise climática global, e a necessidade de compreender a contribuição da pecuária para este cenário, bem como a identificação de estratégias eficazes em reduzir as emissões totais da atividade e mitigar os possíveis impactos ambientais (Steinfeld, 2006; FAO, 2010).

Entre 2005 e 2015, as emissões de GEE pela pecuária leiteira aumentaram em 18%, enquanto o rebanho leiteiro global, a produção de leite e a produtividade média tiveram incrementos de 11%, 30% e 15%, respectivamente (FAO, 2018). De modo geral, o aumento da eficiência de produção está associado ao aumento das emissões absolutas; porém, com o acréscimo em produtividade, reduz-se a intensidade de emissão por unidade de produto. Com isso, apesar do aumento geral das emissões entre 2005 e 2015, as emissões por quilograma de produto diminuíram em 11% (FAO, 2010; FAO, 2018). Há uma grande heterogeneidade entre os sistemas de produção de leite ao redor do mundo, resultando em considerável variação da intensidade de emissão por unidade de produto, de acordo com a região. Nas regiões onde a pecuária leiteira é mais tecnificada, como na América do Norte, a intensidade de emissão média é de 1,3 a 1,4 kg CO₂-eq por quilo de leite produzido, enquanto nas regiões onde a atividade ainda está em desenvolvimento, como na África Subsaariana ou no sul da Ásia, as médias variam de 4,1 a 6,7 kg CO₂-eq por quilo do produto (FAO, 2018).

O comportamento das médias globais supracitadas, bem como a diferença da intensidade de emissão entre as regiões mais e menos tecnificadas, corroboram que o aumento na eficiência produtiva é um fator chave para melhorar o desempenho ambiental da pecuária leiteira. Paralelamente, deve-se buscar a adoção de práticas agrícolas para minimizar as emissões absolutas dos sistemas produtivos, como estratégias de manejo de pastagem que favoreçam a ciclagem de nutrientes no solo e o sequestro de carbono atmosférico, bem como investimentos na circularidade dos materiais, por exemplo, a utilização do esterco compostado para substituir parte da adubação química (FAO, 2018).

3.2.1. Avaliação de sustentabilidade ambiental na pecuária leiteira

Enquanto o crescimento da população mundial e mudanças nos hábitos alimentares fazem a demanda por produtos lácteos aumentar, ameaças ambientais como alterações climáticas e redução de biodiversidade despertam a preocupação da sociedade com a pegada ambiental das atividades agropecuárias (Baldini; Gardoni; Guarino, 2017). Atualmente, a produção primária de leite tem o desafio de aumentar a produtividade e fornecer um produto de alta qualidade,

sem aumentar a pressão ambiental e mantendo um baixo custo de produção. Sendo assim, os tomadores de decisão dos sistemas de produção de leite devem buscar estratégias que propiciem simultaneamente o aumento de produtividade e a redução dos impactos ambientais associados à criação do rebanho (Baldini; Gardoni; Guarino, 2017; Seó et al., 2017).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma das ferramentas utilizadas para a avaliação dos impactos ambientais da produção de leite, estando entre as metodologias mais reconhecidas internacionalmente (Diogo; Rodrigues; Rebelato, 2023). Neste método de avaliação, é feita a compilação e avaliação de todas as entradas, saídas e possíveis impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, da obtenção das matérias-primas até a sua disposição final (ABNT, 2009a).

A ACV é um método fluido, que pode ser aplicada a todos os sistemas de produção, normatizada internacionalmente pelas normas ISO 14040 e 14044 (ISO 2006a; ISO 2006b) e nacionalmente pela ABNT, com a mesma denominação (ABNT 2009a; ABNT 2009b). A primeira fase de uma ACV é a definição de objetivo e escopo, onde define-se os limites do sistema a ser estudado, a unidade funcional, a justificativa do estudo e público alvo pretendido. Em seguida, realiza-se o Inventário de Ciclo de Vida (ICV), com a coleta e compilação dos dados referentes às entradas e saídas relevantes do sistema de produção. Na terceira fase, denominada de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV), é feito o estudo dos possíveis impactos ambientais do processo produtivo, associando o levantamento do ICV às categorias de impacto selecionadas para a avaliação. Por fim, ocorre a fase de interpretação do ciclo de vida, onde as constatações das fases de ICV e AICV devem ser consideradas em conjunto para a apresentação de um resultado compatível com o definido na primeira fase (ABNT, 2009a).

Apesar do crescente número de publicações que utilizam da ACV para o estudo dos impactos ambientais associados à produção de leite, ainda é difícil fazer a comparação entre os resultados, uma vez que em cada uma das fases da avaliação devem ser feitas escolhas que podem influenciar o resultado final da análise, desde os limites do sistema até a forma de avaliação dos resultados, além da própria heterogeneidade entre os sistemas de produção e da influência de condições edafoclimáticas e particularidades geográficas (Seó et al, 2017;

Diogo; Rodrigues; Rebelato, 2023).

Visando incorporar o conhecimento existente em estudos de ACV da cadeia produtiva de lácteos e definir uma metodologia que abrangesse os diferentes sistemas de produção, a *International Dairy Federation* publicou, em 2010, o boletim “*A common carbon footprint approach for dairy - The IDF guide to standard life cycle assessment methodology for dairy sector*”, posteriormente atualizado, em 2015. Este documento objetivou padronizar a metodologia, definindo unidades funcionais, limites de sistema e metodologias de alocação e análise mais adequadas para a ACV de produtos lácteos, com foco no potencial de aquecimento global da atividade (IDF, 2015; Baldini; Gardoni; Guarino, 2017).

Uma revisão sistemática de literatura com 44 estudos de ACV de diferentes países, publicados entre 2009 e 2015, identificou que o fator de caracterização mais estudado foi o aquecimento global, seguido de acidificação, eutrofização, uso da terra e uso de energia (Baldini; Gardoni; Guarino, 2017). Os autores identificaram também a variação entre metodologia, unidade funcional, limite de sistema e método de análise entre os estudos. Seó et al (2017) encontraram resultados similares, ao revisar trabalhos de ACV realizados no Brasil e no mundo. Ao revisar publicações de ACV entre 2016 e 2021, Diogo, Rodrigues e Rebelato (2023) visaram identificar as principais lacunas no conhecimento científico e as consequentes oportunidades de pesquisa na área, que evidenciou a necessidade da realização de mais estudos de avaliação de ciclo de vida e da validação de uma metodologia de análise, viabilizando a comparação entre os resultados.

3.3. Viabilidade econômica da pecuária leiteira

A constante evolução e tecnificação da pecuária leiteira deve ser acompanhada da adoção de práticas de gestão que permitam manter a viabilidade econômica da atividade em meio a busca por eficiência e qualidade da produção. A gestão financeira das propriedades leiteiras é de suma importância enquanto ferramenta gerencial, possibilitando que as fazendas sejam consideradas como empresas e evoluam juntamente com o setor (Neves et al., 2017).

As estratégias adotadas para melhorias de produção e produtividade

devem ser estudadas quanto a viabilidade do investimento e a relação entre os custos e resultados. Nesse cenário, a contabilidade rural é uma ferramenta que pode dar suporte para a tomada de decisão dos empreendimentos agropecuários (Krüger *et al.*, 2019).

Entende-se por contabilidade rural aquela voltada ao estudo de propriedades que se dedicam a atividade agrícola, zootécnica ou agroindustrial, sendo uma ferramenta auxiliar na gestão dos empreendimentos, análise dos processos produtivos e desempenho (Krüger *et al.*, 2019). As características da pecuária leiteira, como a saída de mais de um produto do sistema produtivo, mudanças na estrutura do rebanho e a subjetividade dos custos dos ativos e de oportunidade, são consideradas desafiadoras para a determinação dos custos de produção. Entretanto, a análise desses custos possibilita uma tomada de decisão mais assertiva e uma atividade mais eficiente (Souza *et al.*, 2022).

A contabilidade de custos pode ser usada como instrumento de controle e de decisões gerenciais. Duas metodologias podem ser usadas na definição do custo de produção do leite, sendo: o custo total e o custo operacional. O custo total é a soma de todas as despesas da atividade, incluindo as que não tenham gerado desembolso, ou seja, o custo total é a soma dos custos fixos, dos custos variáveis e dos custos de oportunidade. O custo operacional, por sua vez, representa a soma dos custos variáveis, custos fixos, impostos e taxas, levando em consideração os valores financeiros efetivamente desembolsados. A metodologia do custo operacional, desenvolvida por Matsunaga *et al.* (1976) é amplamente utilizada no Brasil (Fonseca, Ferreira, 2021; Souza *et al.*, 2022).

Os custos fixos englobam os recursos de longo prazo, com duração maior que o ciclo de produção, e cujo valor independe do volume produzido, como por exemplo a terra, benfeitorias, maquinários e mão de obra. Os custos variáveis englobam insumos consumidos durante o processo de produção, e variam de acordo com o volume produzido, como por exemplo os produtos de higiene de ordenha e as rações comerciais. Já o custo de oportunidade refere-se ao valor que o capital empatado da atividade poderia render em outra alternativa de investimento (Fonseca, Ferreira, 2021; Souza *et al.*, 2022).

Dentre as diferentes metodologias para a avaliação da viabilidade econômica da pecuária leiteira, destacam-se a definição de receita bruta, receita líquida, custos e despesas, fluxo de caixa, depreciação e amortização, custo de

oportunidade, taxa mínima de atratividade (TMA), valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), *Payback* descontado, índice de lucratividade (IL) e ponto de nivelamento (Basaia, 2020; Krüger et al., 2019).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 2009a. NBR ISO 14040: Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura. Rio de Janeiro, RJ. 21p. Disponível em: <https://tinyurl.com/mryeadut>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 2009b. NBR ISO 14044: Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações. Rio de Janeiro, RJ. 46p. Disponível em: <https://tinyurl.com/bddrn7jx>

BALDINI, C.; GARDONI, D.; GUARINO, M. A critical review of the recent evolution of Life Cycle Assessment applied to milk production. **Journal of Cleaner Production**, v.140, p. 421-435, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.078>

BASAIA, D. C. K. **Avaliação do ciclo de vida e análise da viabilidade econômica de uma fazenda leiteira no estado de Minas Gerais-Brasil**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2020. Disponível em: <https://tinyurl.com/668tu2my>

CALDATO, E. M. R. **Manual técnico de construção e manejo de Compost Barn para vacas leiteiras**. 2019. 41 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019. Disponível em: <https://tinyurl.com/mswuz7z8>

CENTRO DE INTELIGÊNCIA DO LEITE - CILeite. Embrapa gado de leite. Leite em números. Disponível em: <https://www.cileite.com.br/content/leite-numeros>

DIOGO, G.M.M.; RODRIGUES, A.M.; REBELATO, M.G. Avaliação de Ciclo de Vida na pecuária de leite: Uma revisão sistemática. **REVISTA FOCO**, v.16, n. 02, p. e945-e945, 2023. DOI: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n2-081>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Anuário Leite 2023: Leite Baixo Carbono. Brasília: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1154264/anuario-leite-2023-leite-baixo-carbono>

FARINA, E.; GARDIN, J. A. C.; BEE, A. M. Análise de viabilidade econômica da atividade de bovinocultura de leite em uma propriedade no município de Pinheiro Preto-SC. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**, 2015. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3983>

FERRAZZA, R.A.; CASTELLANI, E. Análise das transformações da pecuária brasileira: um enfoque na pecuária leiteira. **Ciência Animal Brasileira**, v. 22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-68940>

FONSECA, J. F.; FERREIRA, J. M. Análise de viabilidade econômica na pecuária de leite: estudo de caso na Fazenda Girassol em Presidente Olegário-MG. **Revista do Fórum Gerencial**, v. 1, n. 3, p. 177-189, 2021. Disponível em: <https://revistas.unipam.edu.br/index.php/forumgerencial/article/view/2514>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. 2010. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector: A Life Cycle Assessment. Rome. 98 pp. Disponível em: <https://tinyurl.com/yuwvnr2b>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. 2018. Climate change and the global dairy cattle sector – The role of the dairy sector in a low-carbon future. Rome. 36 pp. Licence: CC BY-NC-SA- 3.0 IGO. Disponível em: <https://tinyurl.com/45jepxkd>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. 2023. Dairy Market Review – Emerging trends and outlook in 2023. Rome. Disponível em: <https://tinyurl.com/4uxr9zmb>

GUIDUCCI, R. C. N.; LIMA FILHO, J. R.; MOTA, M. M. Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de caso. Brasília, DF: Embrapa, p. 17-78, 2012. Disponível em: <https://tinyurl.com/4hva2ypx>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa Pecuária Municipal. Rio de Janeiro, RJ, 2023. Disponível em: <https://tinyurl.com/2tm4nevp>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E.; Tanabe, K.; Kranjc, A.; Baasansuren, J.; Fukuda, M.; Ngarize S.; Osako, A.; Pyrozhenko, Y.; Shermanau, P.; Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. Disponível em: <https://tinyurl.com/nhzewta5>

INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION - IDF. A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology (Bulletin 479). 2015. Disponível em: <https://tinyurl.com/5btx3jxn>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. 2006a. Environmental Management – Life Cycle Assessment-principles and Framework, EN ISO 14040:2006. Geneva, Switzerland. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/37456.html>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. 2006b. Environmental Management – Life Cycle Assessment-requirements and Guidelines, EN ISO 14044:2006. Geneva, Switzerland. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:en>

KRÜGER, C.; RADDATZ, J. C.; SILVA, L. I.; GOLDSCHMIDT, D.; ZUMBA, N. Contabilidade rural: avaliação econômica de um sistema de produção leiteira em confinamento. **Revista Eletrônica de Ciências Contábeis**, v. 10, n. 1, p. 57-79, 2021. Disponível em: <https://seer.faccat.br/index.php/contabeis/article/view/1957>

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P. F.; TOLEDO, P. D.; DULLEY, R. D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I. A. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. *Agricultura em São Paulo*, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=11566>

MEDEIROS, S. Oito bilhões de habitantes e dez sugestões para ter alimentos para todos. In: **Anuário Leite 2023: leite: baixo carbono**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2023. p. 26-29. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1154264/anuario-leite-2023-leite-baixo-carbono>

NEIVA, R.; ROCHA, D.T. A Embrapa e o salto de produtividade da pecuária de leite no Brasil. In: **Anuário Leite 2023: leite: baixo carbono**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2023. p. 26-29. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1154264/anuario-leite-2023-leite-baixo-carbono>

NEVES, F. R.; LOPES, M. M.; SOARES, E. P.; SOUZA, D. R.; SANTOS AMARAL, R. Custos de produção da pecuária leiteira: estudo em uma instituição federal. **Revista de Auditoria, Governança e Contabilidade**, v. 5, n. 19, 2017. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/ragc/article/view/978>

OLIVEIRA, A.S.; PEREIRA, D.H. Gestão econômica de sistemas de produção de bovinos leiteiros. *Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável*. 1ed. Viçosa, v. 1, p. 106-133, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/259479689_Gestao_economica_de_sistemas_de_producao_de_bovinos_leiteiros

RENTERO, N. Projeção de tendências para o leite aqui e lá fora. In: **Anuário Leite 2023: leite: baixo carbono**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2023. p. 26-29. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1154264/anuario-leite-2023-leite-baixo-carbono>

ROCHA, D. T. et al. Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2020. 15 p. (Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica, 123.). Disponível em: <https://tinyurl.com/5n6z3kmp>

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA, Observatório do Clima. Acesso em: jun 2024. Disponível

em: seeg.eco.br

SEÓ, H. L. S.; MACHADO, L. C. P.; RUVIARO, C. F.; LÉIS, C. M. D. Avaliação do Ciclo de Vida na bovinocultura leiteira e as oportunidades ao Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, p. 221-237, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016149096>

SIMÕES, A. R. P.; REIS, J. D. dos; AVELAR, P. S. A heterogeneidade tecnológica da pecuária leiteira em Minas Gerais. **Agrarian**, [S. l.], v. 10, n. 37, p. 261–269, 2017. DOI: 10.30612/agrarian.v10i37.6782. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/6782>

SOUZA, P.J.F. DE; MARTINS, M.R.; NOGUEIRA, L.R.T.; NUINTIN, A.A.; REZENDE, M.L. Cost analysis and economic feasibility of pasture and compost barn systems for milk production in southern Minas Gerais. **Custos e Agronegócio on line**, v. 18, n. 4, Oct/Dec, 2022. Disponível em: <https://tinyurl.com/bdz955b8>

STEINFELD, H. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Food & Agriculture Org., 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/239524071_Livestock's_Long_Shadow_Environmental_Issues_and_Options

4. ARTIGO - ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY AND ECONOMIC VIABILITY OF THE COMPOST BARN SYSTEM IN BRAZILIAN DAIRY FARMING

(Revisão de literatura escrita de acordo com as normas da Revista **Caderno de Ciências Agrárias**)

ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY AND ECONOMIC VIABILITY OF THE COMPOST BARN SYSTEM IN BRAZILIAN DAIRY FARMING

DOI: <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2023.42783>

ABSTRACT

Dairy farming has great socioeconomic importance in Brazil, and the last decades have registered a constant evolution of the production chain, seeking to increase quality and production efficiency. In this context, the production systems have intensified and adopted new technologies. The Compost Barn system has stood out as a confinement option for dairy cattle, for its lower implementation cost than other confinement systems and the possibility of giving an adequate destination to the animals' waste. Besides the search for greater production efficiency, the environmental sustainability of agricultural systems has been increasingly discussed, and dairy cattle farming is associated with many potential environmental impacts. It is essential to identify and mitigate them for the consolidation of a production chain socially fair, economically viable and environmentally correct. Thus, this literature review aims to evaluate the economic and environmental feasibility of the Compost barn system within the national dairy farming scenario.

KEYWORDS: Life cycle assessment. Milk production. Environmental impacts. Greenhouse gasses.

SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA COMPOST BARN NA PECUÁRIA LEITEIRA BRASILEIRA

RESUMO

A pecuária leiteira tem grande importância socioeconômica no Brasil e as últimas décadas tem registrado uma constante evolução da cadeia produtiva, buscando aumentar a qualidade e a eficiência produtiva. Nesse contexto, os sistemas de produção têm se intensificado e adotado novas tecnologias e o sistema *compost barn* tem se destacado como opção de confinamento para bovinos leiteiros, por

seu menor custo de implantação em relação a outros sistemas estabelecidos e a possibilidade de dar um destino adequado aos dejetos dos animais. Além da busca por maior eficiência produtiva, a sustentabilidade ambiental dos sistemas agropecuários tem sido cada vez mais discutida, e a bovinocultura leiteira é associada à uma série de potenciais impactos ambientais, sendo imprescindível a identificação e mitigação dos mesmos para a consolidação de uma cadeia produtiva socialmente justa, economicamente viável e ambientalmente correta. Sendo assim, o objetivo com essa revisão bibliográfica é avaliar a viabilidade econômica e ambiental do sistema *compost barn* dentro do panorama da pecuária leiteira nacional.

PALAVRAS CHAVE: Avaliação do ciclo de vida. Produção de leite. Impactos ambientais. Gases de efeito estufa.

INTRODUCTION

Dairy farming and its production chain are of great national socioeconomic importance, generating employment and income in the countryside and the city (Rocha et al., 2020). Currently, Brazil stands out as one of the world's largest producers of milk volume, and its production chain has been undergoing decades of improvements in search of higher production, productivity, and quality (Maia et al., 2013).

The adoption of new technologies and the optimization of production systems have been a constant in the development process of national dairy farming. The transition from extensive to intensive production systems is gaining more and more space since intensive systems can provide gains in productivity. Recent researches indicate that intensive production systems tend to have a lower environmental impact because these are diluted in a greater volume of production and concentrated in a smaller area. In this context, the Compost Barn has been gaining space in the national scenario, offering lower implementation cost compared to other confined systems and gains in the environment, welfare and productivity (Basaia, 2020; Caldato, 2019; Krüger et al., 2021; Silva, 2022; Tomazi; Gai, 2022).

Despite its socioeconomic relevance, dairy cattle farming is also an activity that can cause environmental pollution from untreated animal waste and the emission of greenhouse gases; for example, and therefore the analysis and mitigation of environmental impacts are necessary, seeking the consolidation of sustainable dairy farming (Amaral et al., 2012). The circular economy and regenerative agriculture are concepts still little explored that preach sustainable practices, which can be adopted to mitigate environmental impacts attributed to the dairy supply chain. Life cycle assessment (LCA) has presented itself as an alternative for the evaluation of production chains and the identification of critical points to be improved, and recent studies have made use of this tool to assess the environmental sustainability of farming systems (Basaia, 2020; Seó et al., 2017; Silva, 2022).

Considering the socioeconomic importance and the environmental impacts attributed to dairy farming, the search for production techniques and technologies that maximize productivity and resource use associated with the least possible environmental impact is of paramount importance.

DEPLOYMENT

Overview of dairy cattle breeding in Brazil and in Minas Gerais

The milk production chain, one of the main economic activities in Brazil, is responsible for positive numbers in the economy, besides generating millions of jobs in the countryside and the city (Rocha et al, 2020). According to data from the Municipal Livestock Survey (PPM) of 2021, released by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, 2022) the, milk production was 35.3 billion liters, similar to the 35.4 billion recorded in the year 2020 (IBGE, 2021).

According to data from the Food and Agriculture Organization (FAO, 2019), Brazil is the third largest milk producer in the world, preceded by the United States and China, respectively. According to Maia and collaborators (2013), milk production has grown relatively steadily in Brazil since 1974, rising from 7.1 billion liters to 32 billion in 2011, a growth of almost 350%. More specifically, in the last two decades, production has increased by approximately 80%, while the number of milked cows has decreased due to increased herd productivity (Rocha et al.,

2020).

The Municipal Cattle Survey identified a reduction in the milked herd in Brazil in 2020 compared to the previous year, with a discrete decrease of 0.8%, along with an increase of 1.5% in production, despite the challenges that 2020 brought to the milk production chain, such as the closing of production flow channels and the escalating prices of inputs such as corn and soy meal (IBGE, 2021). The decrease in establishments and milked animals and the increase in production indicate productivity improvements, with the average going from 1.6 thousand liters per cow/year in 2006 to 2.6 thousand liters per cow/year in 2017 (Ferrazza; Castellani, 2022).

Historically, Minas Gerais is the largest dairy basin in Brazil. According to IBGE data, in 2018, the state recorded a volume of more than 9.4 billion liters of milk, 27.1% of the national production. According to census surveys, from 2006 to 2017, the number of farms involved in dairy cattle farming in Minas Gerais fell by 2.96% and the number of milked animals dropped by 6.58%, while the state's total production increased by 52.9% in the same period, with productivity jumping from 1.8 thousand liters per cow/year in 2006 to 2.9 thousand liters per cow/year in 2017, a growth of 63.67% (Ferrazza; Castellani, 2022). In 2021, the average productivity in the state was 3,114 liters/cow/year, an increase of 7.4% compared to 2017 (IBGE, 2021; SEAPA-MG, 2022).

Ximenes (2020) points out that despite Brazil presenting favorable characteristics for efficient production, the dairy chain lacks greater organization of the sectors, and the heterogeneity of the production systems requires the adoption of local development policies to encourage greater organization and access to technical assistance. The adoption of new technologies is necessary for production systems to become more efficient, sustainable and competitive, being increasingly necessary the dissemination of knowledge and technical training (Zoccal et al., 2011).

Sustainability in dairy cattle farming

Dairy farming, undeniably an activity of great economic importance in Brazil and worldwide, is also potentially polluting the environment, likely to cause adverse

environmental impacts such as soil degradation, indiscriminate use and/or contamination of water resources, reduction of biodiversity, and emission of greenhouse gases. Animal waste, fertilizers, antibiotic residues, and other veterinary medicines and pesticides are pointed out as the main sources of pollution of activity (Wüst et al., 2015).

The activity is responsible for producing a considerable amount of waste, about 317 million tons per year (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 2012). In general, Brazil accounts for high production of waste from animal production, waste that can contribute to environmental pollution. However, with a cyclical vision of the systems and the proper disposal of waste, these can stop being environmental problems, and becoming sources of nutrients for the soil and / or energy sources (Albuquerque et al., 2022; Maciel et al., 2019).

Sustainability can be understood as the development that meets the demands of the Present without compromising the ability of future generations to meet theirs (WCED, 1987). When applied to livestock farming, sustainability should simultaneously contemplate environmental, productive, and socioeconomic aspects to meet the present population's food demands without exhausting environmental resources and compromising the producer's and community's quality of life. Therefore, sustainable livestock farming should be based on the rational use of soil, water, and energy, the preservation of biodiversity, productivity and respect for human health (Alvez, 2011).

The emissions of greenhouse gases (GHG) associated with agricultural production are mainly related to the expansion of agricultural boundaries and deforestation, change in land use, use of chemical fertilizers, enteric fermentation of ruminant animals and fermentation of animal waste. It is estimated that 46% of the dairy farming GHG emissions come from the production of pollutant gases, such as methane, and the waste produced by the animals; 36% are attributed to animal feed and food procurement; 21% to the fertilization of crop areas and 5% of emissions are attributed to dairy products, and the intensity of emissions varies according to the type of property and the production system adopted (Basaia, 2020).

Life Cycle Assessment

Life Cycle Assessment (LCA) is a widely used technique for evaluating and quantifying the sustainability profile of products, analyzing and measuring the impacts generated both in the manufacturing processes and in their use, in order to consider the entire production chain and its relationships with the environment. In this context, LCA allows a complete understanding of the environmental impacts, enabling the search for improvement at different points of the production process and optimizing environmental management and the reduction of impacts associated with the production chain (Basaia, 2020; Brandalise; Bertolini, 2015; Seó et al., 2017; Silva, 2022).

According to the NBR ISO 14044 of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT, 2009), LCA allows the assessment of points of potential improvement in the environmental performance of products at various points in their life cycle and the selection of relevant environmental performance indicators. LCA encompasses the environmental aspects and potential environmental impacts of the entire life cycle of a product, from raw material sourcing, production process, use, post-use treatment, recycling, and final disposal, and is referred to as "cradle to grave" assessment. The delimitation of the boundaries of an LCA study will depend on the product being evaluated and the objective of the study. However, in general, the study will consist of the phases of defining the objective and scope, inventory analysis, impact assessment, and finally, the interpretation phase.

The life cycle inventory analysis (LCI) phase, the second phase of LCA, is the formation of the inventory of input and output data associated with the system studied, then involves the collection of the necessary data. In the third phase, the life cycle impact assessment (LCIA) phase, the goal is to provide additional information that helps in the LCI assessment, aiming for a better understanding of its environmental significance. Finally, in the interpretation phase, the results of the LCI and/or the LCIA will be summarized and discussed as a basis for conclusions and decision-making, according to the objectives set for the study (ABNT, 2009).

The life cycle can be understood as the consecutive and interconnected stages of the production system of a given product, from the acquisition of raw materials or its procurement through natural resources to its final disposal (ABNT,

2009). Thus, LCA is defined as the compilation and evaluation of inputs, outputs and potential environmental impacts of a production system throughout its life cycle.

In a systematic review on the use of LCA in the dairy supply chain, Seó et al. (2017) found that primary production accounted for the majority of greenhouse gas emissions. Enteric fermentation, production and use of synthetic fertilizers, manure use, production and transport of concentrates, low animal productivity, and the low nutritional quality and yields of pastures are the main critical control points for the activity.

Circular economy

The circular economy (CE) has been presented as a counterpoint to traditional production systems and the current production/consumption model, called linear or closed-system economy. The linear economy follows a pattern of extract-produce-dispose in a closed cycle that repeats itself indefinitely and can produce a large amount of waste. With population growth and the concentration of populations in urban areas, the demand for consumer goods and consequently the production of waste increases. The disposal of this waste can pollute the soil, water, and air, being a threat to the earth's ecosystems (Abdalla; Sampaio, 2018).

In an attempt to minimize waste production and the environmental impacts involved, the principles, currently called "5R's", have been disseminated: rethink, refuse, reduce, reuse, and recycle. However, according to McDonough and Braungart (2002), cited by Abdalla and Sampaio (2018), focusing only on strategies to minimize these impacts leads society in the same direction, only reducing the speed of environmental degradation.

The circular economy, in turn, proposes to revolutionize society's current production and consumption patterns. According to the Ellen MacArthur Foundation, created to propagate the ideas of the CE, this model is based on three principles: eliminate waste and pollution, circulate products and materials, and regenerate nature by adopting renewable materials and energy sources. The adoption of CE starts from the search to preserve and improve natural resources,

optimize resource yield, and recirculate inputs and products (Abdalla; Sampaio, 2018; Maia et al., 2013). According to Abdalla and Sampaio (2018), one can summarize the concept of CE into three fundamental principles: waste is nutrients, use of solar energy or other renewable sources, and celebration of diversity.

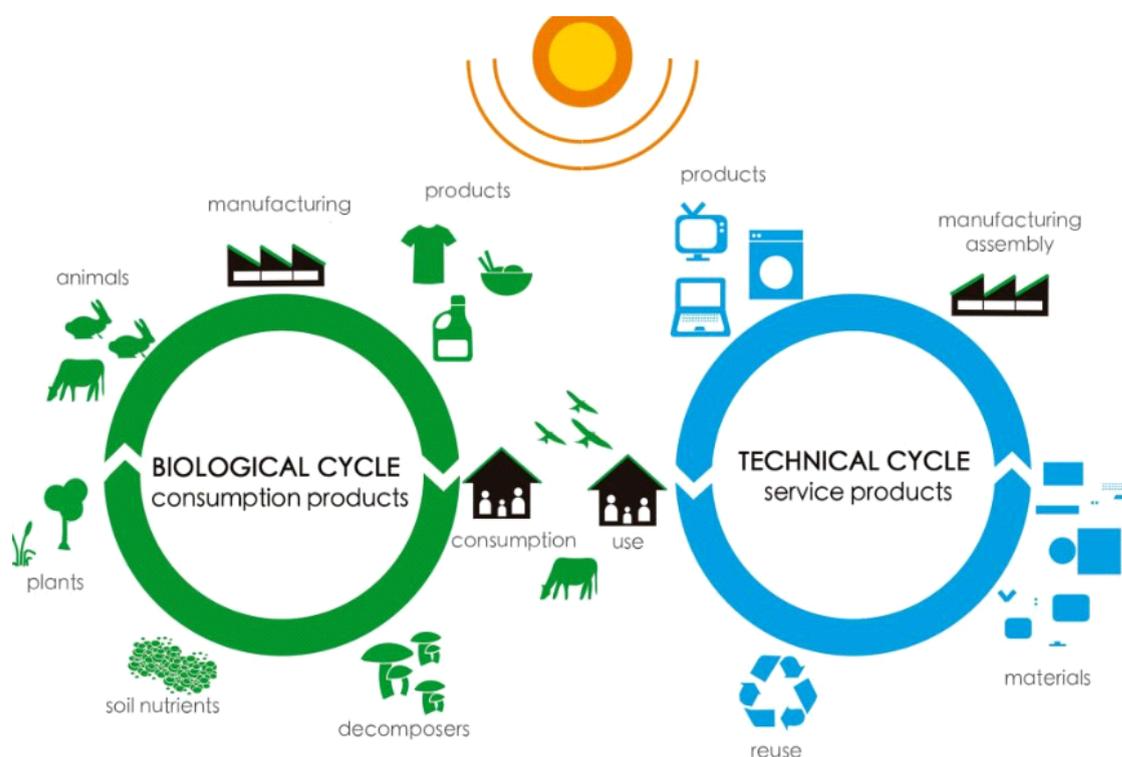
Waste is nutrients: each product must be thought of from its conception, prioritizing the use of healthy inputs for humans and the biosphere, and that can have their value recovered after each use. Thus, we seek to replace harmful and/or unwanted substances by others that can be used later as nutrients or raw materials;

Use of renewable energy: the use of solar energy or other renewable energy sources should always be preferred over non-renewable sources such as fossil fuels;

Celebration of diversity: advocates harmony between manufactured and natural spaces, the stimulation of biodiversity, and the premise that there is no single solution for any problem, proposing the search for potential answers on a case-by-case basis, aiming at the best use of resources and processes in different situations.

These principles are applied to production in two distinct cycles: biological and technical (figure 1). The biological cycle includes natural processes and the premise is to mimic the logic of the cycles that occur in nature, where the input is used and regenerated, with or without human interference, and returns to the biosphere as a nutrient. In the technical cycle, in turn, it seeks the maintenance of materials in industrial circulation so that they can be recovered in whole or in part after use and reconverted into raw materials and/or products for new uses instead of becoming waste (Abdalla; Sampaio, 2018; Maia et al., 2013).

Figure 1 - Schematic of the biological and technical cycles.



Source: McDonough; Braungart, 2002.

Countries in the European Union and China have been pioneers in adopting circular economy concepts and in the search for sustainable production. In Denmark, the concept of "industrial symbiosis" has emerged, where industrial parks are diversified, and one industry is installed near another, from which it can work with waste as raw material. China not only adopted the industrial symbiosis but added a new level, the industrial eco-parks, which besides the symbiosis by the flow of materials, counts on the sharing of structures and resources. In Brazil and South America in general, except for Chile, the advances of the circular economy are still incipient and walk slowly, but there is a movement for the adoption of this concept from universities, public agencies, and private initiative (Abdalla; Sampaio, 2018; Maia et al., 2013).

Regenerative Agriculture

Regenerative Organic Agriculture was idealized and defined in the 1980s by

Robert Rodale. It can be understood as a set of practices aimed at the rational use of soil and the recovery of degraded soils, building its structure and fertility, and allowing productivity sustainably. Besides positively altering the soil's chemical, physical, and biological attributes, it can contribute to reducing greenhouse gas emissions and reducing agriculture's dependence on chemical inputs and fossil fuels (Rhodes, 2017; Gazola et al., 2017; Tavares; Borschiver, 2019).

The Rodale Institute defines Regenerative Agriculture as "a type of agriculture that goes beyond sustainable" because it contributes to the improvement of available resources, rather than just preserving them, being concerned with the health of the food system as a whole, from the health of crops and humans to the prospects of future generations (Rodale institute, 2021). In addition, this model of agriculture encourages constant innovation and improvement in environmental, economic, and social measures, being guided not only by being environmentally sustainable but also by the social and economic sustainability of the entire system (Ehlers, 1994).

According to Perez Casar (2021), the traditional production model was based mainly on modifying the environment to allow crops to express their genetic potential to the maximum, which brought us many benefits, but also caused environmental impacts that we have to deal with. Now, the premise would be to adapt crops and technologies so that the environment can express its productive potential with minimal disturbance. Regenerative Agriculture seeks to harmonize agricultural production processes with natural dynamics, producing and promoting biodiversity simultaneously through techniques such as crop rotation, ground cover, no-till or reduced tillage, and the use of organic compost for fertilization. The rational use of water and the biological control of pests are also among the proposals contemplated by this system (Gazola et al., 2017; Tavares; Borschiver, 2019).

Compost Barn

In search of production and productivity improvements, the intensification of production systems is a growing trend in dairy cattle farming. Despite the higher initial investment in facilities and machinery, confined systems are associated with

gains in animal welfare and productivity (Caldato, 2019; Krüger et al., 2021; Tomazi; Gai, 2022).

Created as an adaptation to the Free Stall, the Compost Barn is a confinement system for dairy cows that has been gaining space in Brazil. Compared to the Free Stall, the Compost Barn demands less initial investment and can favor greater animal welfare, besides minimizing the risk of hoof or hock problems, favored by the time the animals spend on concrete floors in the Free Stall (Caldato, 2019). The Compost Barn comprises a concrete feeding lane and an area of free circulation for the animals, consisting of a collective bed, usually formed with an organic material rich in carbon such as shavings, sawdust, and rice husk, among other similar materials. The premise is the aerobic composting of the bedding material plus animal excreta (Caldato, 2019; Janni et al., 2007; Tomazi; Gai, 2022).

To provide the expected gains in ambience and productivity, the project must be prepared by qualified professionals and take into consideration a number of criteria, including the orientation of the house, the type of ventilation to be used, the microclimate of the region, the number of animals housed and the availability of bedding material. One can work with 7.4 to 15 m² of bedding area per animal, and it should be considered that the smaller the area per animal, the greater the frequency of bedding replacement should be. In addition, the microclimate of the region directly influences the drying of the litter; colder and more humid regions demand a larger area per animal so that the litter is maintained at the appropriate humidity (Caldato, 2019).

The bed should be formed with a depth of 40 to 50 cm, with the addition of layers of 10 to 20 cm every five weeks, and typically maintained for periods of 6 to 12 months. For the composting process to occur correctly, at 30 cm depth, the bed temperature should vary between 40 and 50 C°, enabling the degradation of cellulose and the inactivation of pathogens, and the humidity should be kept between 40 and 60%. The carbon/nitrogen ratio of the bedding must be adequate for the desired stabilization of the manure to occur, and a carbon/nitrogen ratio of 25:1 to 30:1 is recommended (Caldato, 2019; Janni et al., 2007).

If the bed presents excess organic matter, low temperature or high humidity, it is necessary to add a new layer of the material that composes it, renewing the

carbon source consumed during composting. In a bed formed of fine ground particles or dust the compaction is favored, hindering aeration, reducing microbial activity, and may provide the formation of clods and areas of anaerobiosis. On the other hand, a bed of coarsely ground particles favors the entry of air and can accelerate the composting process, reducing the bed's replacement time. Thus, using materials in different granulometries to form the bed is interesting. Proper bed management is crucial to the Compost Barn's success and consists of making the bed stirring and incorporating animal waste into the bed material. This revolving should be done from 25 to 30 cm deep at least twice a day and usually happens while the cows are in the milking parlor (Caldato, 2019; Janni et al., 2007).

Despite being a relatively new system, the Compost Barn has shown promise for dairy cattle farming. Besides the benefits involving production, animal welfare, and the advantages it presents concerning the free stall system, another positive point can be attributed to the system regarding environmental sustainability. The waste from cattle farming is a major concern regarding the potential polluter of the activity, and with the Compost Barn, most of the waste is incorporated into the bed and then used as organic fertilizer, providing then rational management of waste and replacing part of the mineral fertilization (Caldato, 2019).

Tomazi and Gai (2022) observed that the use of compost from the Compost Barn litter contributed to the diameter of the stalk and number of leaves in a corn crop, as well as improving the chemical parameters of the soil in terms of phosphorus, calcium, organic matter, base sum, cation exchange capacity, and base saturation percentage, about the control treatment, which received only mineral fertilization.

Therefore, the Compost Barn can provide, in addition to improvements in production and animal welfare, the improvement of soil quality and the reduction of waste production, aligning then to premises of regenerative agriculture, which aims at rational use and building soil fertility, and circular economy, which proposes the cyclicity of materials within a productive system (Abdalla; Sampaio, 2018; Rhodes, 2017).

Financial viability of dairy cattle farming

As one of the leading agricultural activities in Brazil, dairy cattle farming is an important source of income. Therefore, the financial management of farms is of utmost importance as a managerial tool, allowing properties to be considered as companies and for them to evolve along with the sector. Applying accounting in the rural sector is indispensable for proper property management and assertive decision-making to make the activity more efficient (Neves et al., 2017).

Rural accounting is focused on studying properties and/or companies focused on vegetable or animal production or agro-industrial activities. It is a tool that is still little used by producers, considered complex and of low practical return, which can be attributed to the deficiency of accounting systems that are reliable to the characteristics of agricultural activities and the lack of trained professionals to transmit adequate administrative strategies to rural producers (Krüger et al., 2021; Neves et al., 2017).

An analysis of its feasibility should precede the implementation of a project. The discounted cash flow presents itself as the most used method for assessing the feasibility of a project by determining through calculations the fair value and the risks inherent in the investment, discounting a rate of cash flows expected for the future (Basaia, 2020; Farina et al., 2015). According to Basaia (2020), to perform these analyses, it is necessary to define cash flow, gross revenue, net revenue, costs and expenses, depreciation and amortization, opportunity cost, minimum rate of attractiveness (TMA), inflation, net present value (NPV), internal rate of return (IRR), discounted payback, profitability index and benefit-cost ratio. According to this methodology, he concluded that an intensive dairy farm, adept of the Compost Barn system, was economically viable, also concluding that the intensification of production systems favors its financial viability.

Krüger and collaborators (2021), in a study based on documentary research and interviews with the producer, observed that despite the necessary investment, the implementation of a Compost Barn System was economically feasible in the property studied, because even implying an increase in production costs, it allowed the reduction of the area used with dairy cattle and gains related to increases in

production, productivity, and milk quality. The main indexes used to evaluate economic viability in the previously mentioned bibliography are described below.

Cash flow: This is understood as the behavior (inflows and outflows) of money in the cash of a particular company or enterprise over some time, even allowing to estimate the cash flow for the future and it is possible to evaluate periods in daily, monthly, semiannual or annual intervals, depending on the purpose (Basaia, 2020; Farina et al., 2015);

Gross revenue: Monetary value that comes into the company's cash flow from selling products, animals, or services in a certain period. It is obtained by multiplying the total produced by the amount received (liters of milk sold per month x amount paid per liter, for example);

Net Revenue: It is calculated employing the difference between the Gross Revenue and the expenses implied in the production process;

Costs and expenses: Costs can be understood as the monetary value of inputs consumed directly or indirectly in the production process and marketing of a particular product or service, such as the amount spent on fuel and labor, while expenses are the spending or decrease of resources during a period of company activities and that are necessary to obtain revenue (Farina et al., 2015);

Depreciation and amortization: Depreciation aims to account for the loss of value of fixed assets in the production process, which occurs through the action of nature, physical wear, and tear, or obsolescence. In short, it is the difference between the purchase value of an asset and its value at the end of its useful life (Farina et al., 2015). The amortization covers the reduction of some debt through partial or total discharge between the parties involved and can be considered as a cost;

Opportunity Cost: represents how much is renounced in remuneration when choosing to apply its resources in a particular activity instead of applying these same resources in another, that is, it evaluates the possibility of alternative use of resources (Basaia, 2020; Farina et al., 2015);

Minimum Rate of Attractiveness (TMA): represents the minimum interest rate that an investor proposes to earn when investing his resources in a given project or the maximum that he is willing to pay when financing a given amount (Farina et al.,

2015). To be considered attractive, an investment must yield at least the interest rate equivalent to the profitability offered by low-risk investments, such as the Selic rate;

Net Present Value (NPV): is the sum of the variations of the expected cash flow for the expected years of investment for each period, updated year by year and brought to zero period values (present value, in which the analysis is made), applying an interest rate that is equivalent to the Minimum Rate of Attractiveness (TMA) of the market subtracted from the amount initially invested, in period zero, i.e., in simplified form, it is the amount that the investor will receive in the future, discounting the amount invested. The higher the NPV, the more attractive is considered the investment, and the NPV must be greater than zero to be considered viable (Guiducci et al., 2012);

The Internal Rate of Return (IRR): is the rate of return that a project offers to its investor, and if the IRR is higher than the opportunity cost rate, it is viable for the investor to invest in that project (Guiducci et al., 2012). The IRR shows precisely what is the periodic rate at which the investment is remunerated and serves as a basis for comparison with other investments;

Discounted Payback: allows you to calculate the time (in days, months or years) required for an investment to pay off, i.e., the time required for the net profit to equal the amount invested, recovering the initial capital invested. This period is calculated by adjusting the amounts invested at a given interest rate compared to the maximum period defined as the parameter of attractiveness, and if the Payback period is longer than the time defined as the parameter of attractiveness, the investment must be rejected (Farina et al., 2015; Guiducci et al., 2012);

Profitability Index: is an indicator of the investment's capacity to generate profits from the project developed, showing what proportion of the gross revenue consists of available resources after covering the total operating costs, calculated from the present value of the disbursements, in percentage terms, allowing us to define whether the project is viable or not;

Benefit-cost ratio: This is the relationship between the present value of the revenues to be obtained and the present value of the costs.

CONCLUSION

The bibliography consulted shows the dairy production chain's importance and the possible challenges and environmental impacts it can cause. It becomes clear, therefore, the need for further studies that identify and quantify these environmental impacts, so that it is possible to define the critical points to be worked on and plausible alternatives to be adopted for this.

REFERENCE

- Abdalla, F. A., & Sampaio, A. C. F. 2018. Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular. *Entorno Geográfico*, (15), 82-102. Doi: <https://doi.org/10.25100/eg.v0i15.6712>
- Albuquerque, M. G., Sousa, S. S. O. D., Arruda, V. C. M. D., & El-Deir, S. G. 2022. Impactos socioambientais dos dejetos da pecuária no âmbito rural: uma revisão de literatura. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, 15(1), 517-529. Doi: <https://doi.org/1022201/iingen.071837xe.2022.15.1.78123>
- Alvez, J. P. 2011. 10-Indicadores de sustentabilidade para pecuária. *Cadernos de Agroecologia*, 6(1). Available in: [https://www.uvm.edu/~jfarley/publications/12728-48401-1-PB\(1\).pdf](https://www.uvm.edu/~jfarley/publications/12728-48401-1-PB(1).pdf)
- Amaral, G. F., Carvalho, F. A. A. D., Capanema, L. X. D. L., & Carvalho, C. A. D. D. (2012). Panorama da pecuária sustentável. *BNDES Setorial*, n. 36, set. 2012, p. 249-288. Available in: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1491>
- Associação brasileira de normas técnicas. ABNT NBR ISO 14044: Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida-requisitos e orientações. ABNT, 2009. Available in: <https://tinyurl.com/y767t2uj>.
- Basaia, D. C. K. 2020. Avaliação do ciclo de vida e análise da viabilidade econômica de uma fazenda leiteira no estado de Minas Gerais-Brasil. Dourados: Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, 67 f. Dissertação Mestrado. Available in: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/3135>
- Brandalise, L. T., & Bertolini, G. R. F. 2015. Matriz de classificação de produtos ecologicamente corretos com base na análise do ciclo de vida do produto. *Revista Competitividade e Sustentabilidade*, 1(1), 01-16. Doi: <https://doi.org/10.48075/comsus.v1i1.11459>
- Caldato, E. M. R. 2019. Manual técnico de construção e manejo de Compost Barn para vacas leiteiras. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 41 f. Dissertação Mestrado. Available in: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/27595>

- Ehlers, E. (1994). A agricultura alternativa: uma visão histórica. Estudos Econômicos (São Paulo), 24(Especial), 231-262. Available in: <https://www.revistas.usp.br/ee/article/view/159171/154068>
- Farina, É., Gardin, J. A. C., & Bee, A. M. 2015. Análise de viabilidade econômica da atividade de bovinocultura de leite em uma propriedade no município de Pinheiro Preto-SC. In Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. Available in: <https://tinyurl.com/3ekpvx9r>
- Ferrazza, R. D. A., & Castellani, E. 2022. Análise das transformações da pecuária brasileira: um enfoque na pecuária leiteira. Ciência Animal Brasileira, 22. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-68940>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO STAT. 2019. Livestock Primary. Roma. Available in: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Gazola, C. V., Lopes, F. H. A., Prates, T. X., de Carvalho, J. P., & da Silva, R. D. A. 2017. Benefícios das plantas de cobertura e plantio direto em sistemas de agricultura orgânica regenerativa-uma visão geral. Rev. Conexão Eletrônica, 14(1), 474-484.
- Guiducci, R. D. C. N., de Lima Filho, J. R., & Mota, M. M. 2012. Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de caso. Embrapa.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2018. Pesquisa Pecuária Municipal. Rio de Janeiro, RJ. Available in: <https://tinyurl.com/54mnjsa7>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2021. Pesquisa Pecuária Municipal. Rio de Janeiro, RJ. Available in: <https://tinyurl.com/2p94m7yd>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2022. Pesquisa Pecuária Municipal. Rio de Janeiro, RJ. Available in: <https://tinyurl.com/3b9ry93t>.
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. 2012. Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas. Brasília. Available in: <https://tinyurl.com/yx62299r>
- Janni, K. A., Endres, M. I., Reneau, J. K., & Schoper, W. W. 2007. Compost dairy barn layout and management recommendations. Applied engineering in agriculture, 23(1), 97-102. Doi: 10.13031/2013.22333
- Krüger, C., Raddatz, J. C., da Silva, L. I., Goldschmidt, D., & Zumba, N. 2021. Contabilidade rural: avaliação econômica de um sistema de produção leiteira em confinamento. Revista Eletrônica de Ciências Contábeis, 10(1), 57-79. Available in: <https://tinyurl.com/43pb92rk>
- Maciel, A. M., Silva, J. B. G., de Matos Nascimento, A., de Paula, V. R., & Otenio, M. H. 2019. Aplicação de biofertilizante de bovinocultura leiteira em um planossolo.

Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, 12(1), 151-171. Doi:
<https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n1p151-171>

Maia, G. B. D. S., Pinto, A. D. R., Marques, C. Y. T., Roitman, F. B., & Lyra, D. D. 2013. Produção leiteira no Brasil. BNDES Setorial, n. 37, mar. 2013, p. 371-398. Available in: <https://tinyurl.com/2v7rv8hn>.

McDonough, W., & Braungart, M. 2002. Cradle to cradle: Remaking the way we make things. North point press. Available in: <https://tinyurl.com/mrxs733j>.

Neves, F. R., Lopes, M. M., Soares, E. P., de Souza, D. R., & dos Santos Amaral, R. 2017. Custos de produção da pecuária leiteira: estudo em uma instituição federal. RAGC, 5(19). Available in: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/ragc/article/view/978>

Perez Casar, M. L. (2021). Agricultura regenerativa: aliada para un futuro sostenible. Ediciones INTA. Available in: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/10164>

Rhodes, C. J. 2017. The imperative for regenerative agriculture. Science progress, 100(1), 80-129. Doi:10.3184/003685017X14876775256165

Rocha, D. T., Carvalho, G. R., & De Resende, J. C. 2020. Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária. Available in: <https://tinyurl.com/ym46t7tw>

Rodale institute. 2021. Agricultura orgânica regenerativa. Available in: <https://rodaleinstitute.org/pt/blog/category/regenerative-organic/>

Secretaria de estado de agricultura, pecuária e abastecimento de Minas Gerais – SEAPA-MG. 2021. Balanço do Agronegócio. Belo Horizonte, MG, 2022. Available in: http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/Balanco_Agronegocio_2021.pdf.

Seó, H. L. S., Machado, L. C. P., Ruviano, C. F., & Léis, C. M. D. 2017. Avaliação do Ciclo de Vida na bovinocultura leiteira e as oportunidades ao Brasil. Engenharia Sanitaria e Ambiental, 22, 221-237. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016149096>

Silva, D.V. 2022. Avaliação do ciclo de vida e serviços Ecosistêmicos: um estudo de caso aplicado a diferentes sistemas de produção. Sorocaba: Universidade Federal de São Carlos, 116 p. Dissertação Mestrado. Available in: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15905>

Tavares, A. S., & Borschiver, S. 2019. Proposta de Novos Modelos de Negócio no Contexto da Economia Circular. In 10th International Symposium on Technological Innovation. Doi: 10.7198/S2318-34032019000300010881

Tomazi, C. V., & Gai, V. F. 2022. Produtividade de milho para silagem com utilização do Compost Barn. Revista Cultivando o Saber, 15, 9-19. Available in: <https://tinyurl.com/4skm7cyw>

World Commission on Environment and Development United Nations – WCED. 1987. Available in: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>

Wüst, C., Tagliani, N., & Concato, A. C. 2015. A pecuária e sua influência impactante ao meio ambiente. In Congresso brasileiro de gestão ambiental (Vol. 6, pp. 1-5). Available in: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/V-025.pdf>

Ximenes, L. F. 2020. Bovinocultura leiteira: necessário evitar o derramamento de leite. Available in: <https://bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/391>

Zoccal, R., Alves, e. R.; Gasques, J. G. 2012. Diagnóstico da pecuária de leite nacional: estudo preliminar: contribuição para o plano pecuário. Available in: http://www.cnpq.embrapa.br/nova/Plano_Pecuario_2012.pdf

**5. ARTIGO - AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DA PECUÁRIA LEITEIRA
EM SISTEMA *COMPOST BARN***

(Artigo escrito de acordo com as normas da Revista **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**)

**AValiação DE CICLO DE VIDA DA PECUÁRIA LEITEIRA EM SISTEMA
COMPOST BARN**

**LIFE CYCLE ASSESSMENT OF DAIRY FARMING IN COMPOST BARN
SYSTEM**

**EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LA GANADERÍA LECHERA EN
UN SISTEMA DE ESTABLO DE COMPOSTAJE**

DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.4-252>

RESUMO

A pecuária leiteira do Brasil tem se intensificado e crescido em produtividade e qualidade. Aliado a esse crescimento, aumenta também a atenção aos possíveis impactos ambientais associados à atividade. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de impacto ambiental da produção de leite em uma propriedade semi-intensiva no Norte de Minas Gerais, a partir de uma avaliação de ciclo de vida. Foram consideradas todas as entradas e saídas necessárias para a produção de leite no sistema produtivo avaliado, considerando os processos elementares de armazenamento de insumos, manejo do rebanho e manejo de dejetos. A análise do impacto de ciclo de vida foi conduzida em observância ao *software* OpenLCA versão 2.0.3, pelo método CML IA baseline, utilizando as bases de dados *Agribalyze* e *Environmental Footprints* para os processos de *background*. A produção de 1kg FPCM na propriedade avaliada está associada a uma pegada de carbono de 1,6698 kg CO₂-eq, potencial de acidificação terrestre de 0,003443 kg SO₂-eq e potencial de eutrofização de água doce de 0,000289 kg PO₄-eq.

PALAVRAS-CHAVE: produção de leite; impacto ambiental; gases de efeito estufa; pegada de carbono.

ABSTRACT

Dairy farming in Brazil has seen a significant increase in intensity, productivity, and quality. With this growth comes a heightened awareness of the potential environmental implications associated with the industry. This study aimed to evaluate the environmental impact potential of milk production on a semi-intensive farm in Northern Minas Gerais through a life cycle assessment. The analysis considered all inputs and outputs necessary for milk production in the evaluated system, encompassing elementary processes such as input storage, herd management, and waste management. The life cycle impact analysis was conducted using OpenLCA software version 2.0.3, employing the CML IA baseline method, and utilizing the Agribalyze and Environmental Footprints databases for background processes. The production of 1kg FPCM (fat and protein corrected milk) on the evaluated property is associated with a carbon footprint of 1.6698 kg CO₂-eq, a terrestrial acidification potential of 0.003443 kg SO₂-eq, and a freshwater eutrophication potential of 0.000289 kg PO₄-eq.

KEYWORDS: milk production; environmental impact; greenhouse gases; carbon footprint.

RESUMEN

La ganadería lechera en Brasil se ha intensificado y ha crecido en productividad y calidad. Además de este crecimiento, también se está prestando atención a los posibles impactos ambientales asociados a esta actividad. El objetivo de este estudio fue evaluar el posible impacto ambiental de la producción de leche en una explotación semiintensiva del norte de Minas Gerais, utilizando una evaluación del ciclo de vida. Se consideraron todos los insumos y productos necesarios para la producción de leche en el sistema de producción evaluado, teniendo en cuenta los procesos elementales de almacenamiento de insumos, gestión del rebaño y gestión de residuos. El análisis del impacto del ciclo de vida se realizó con el software OpenLCA versión 2.0.3, utilizando el método de referencia CML IA y las bases de datos Agribalyze y Environmental Footprints para los procesos de base. La producción de 1kg de FPCM en la propiedad evaluada está asociada a una huella de carbono de 1,6698 kg CO₂-eq, un potencial de acidificación terrestre de

0,003443 kg SO₂-eq y un potencial de eutrofización de agua dulce de 0,000289 kg PO₄-eq.

PALABRAS CLAVE: producción de leche, impacto ambiental, gases de efecto invernadero, huella de carbono.

INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira é uma atividade de grande importância socioeconômica para o Brasil, presente em quase todos os municípios do país, em mais de um milhão de estabelecimentos rurais (Rocha *et al.*, 2020). O Brasil registrou a produção de 35.934 bilhões de litros de leite em 2022, sendo o quinto maior produtor em nível mundial (*Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAO, 2023).

Na busca por maior eficiência produtiva e adoção de novas tecnologias a otimização dos sistemas de criação tem se destacado os sistemas intensivos de produção, os quais podem proporcionar ganhos em produtividade e qualidade. Nesse contexto, o *compost barn* vem ganhando espaço no cenário nacional, oferecendo menor custo de implantação em relação a outros sistemas confinados e ganhos em ambiência, bem estar e consequentemente, em produtividade (Caldato, 2019; Krüger *et al.*, 2021).

Apesar de sua indiscutível relevância socioeconômica, a bovinocultura leiteira é também uma atividade potencialmente causadora de impactos ambientais negativos, a partir de dejetos animais não tratados e da emissão de gases de efeito estufa (GEE), por exemplo, e portanto, faz-se necessária a análise e mitigação de tais impactos (Almeida; Bacha, 2021). Mais de três quartos da pegada de carbono atribuída à cadeia produtiva do leite está associada à produção primária, ou seja, à produção de leite na fazenda, portanto, é fundamental o estudo e compreensão das etapas e processos envolvidos na produção primária, visando a identificação dos gargalos e pontos de melhoria (*International Dairy Federation* - IDF, 2015). Cabe destacar que a pegada de carbono consiste no total de emissões de GEE causada por atividades ou indivíduos, expresso em CO₂-eq (FAO, 2018).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma das técnicas utilizadas para o estudo da sustentabilidade ambiental da pecuária leiteira. De acordo com a NBR ISO 14044 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2009b), ciclo de vida pode ser entendido como os estágios consecutivos e interligados do sistema produtivo de um determinado produto, desde a aquisição das matérias-primas ou de sua obtenção por meio de recursos naturais até sua disposição final. Assim, a ACV define-se como a compilação e avaliação de entradas, saídas e potenciais impactos ambientais de um sistema produtivo ao longo de todo o seu ciclo de vida, da obtenção das matérias-primas, processo de produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem e disposição final, sendo denominada como avaliação “do berço ao túmulo” (ABNT, 2009a).

Um estudo de ACV é composto por quatro fases: a fase de definição do objetivo e escopo, a fase de análise de inventário, a fase de avaliação de impactos e a fase de interpretação. Na fase de definição do objetivo e escopo são definidos os limites do sistema a ser estudado, a unidade funcional, a justificativa do estudo e o público alvo pretendido. Na fase de análise de inventário de ciclo de vida (ICV) é realizada a coleta de dados e quantificação das entradas e saídas relevantes do sistema. Na fase de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) os possíveis impactos ambientais são estudados, em geral relacionando os resultados do ICV às categorias de impacto pertinentes. Na fase da interpretação do ciclo de vida as constatações das fases de ICV e AICV são consideradas em conjunto para apresentar um resultado na forma de conclusão e/ou recomendação que seja compatível com o objetivo e escopo definidos na primeira fase (ABNT, 2009a).

O objetivo deste estudo foi avaliar os impactos ambientais da produção de leite em uma propriedade semi-intensiva no Norte de Minas Gerais, a partir de uma avaliação de ciclo de vida, considerando as categorias de impacto ambiental de potencial de mudanças climáticas, potencial de acidificação terrestre e potencial de eutrofização da água doce.

MATERIAL E MÉTODOS

Sistema de produção avaliado

A propriedade rural onde o estudo foi realizado localiza-se no município de Bocaiúva-MG, nas coordenadas 17°06'26"S – 43°47'41"W e altitude de 679m, na

mesorregião Norte de Minas Gerais. De acordo com a classificação Köppen e Geiger (Martins *et al.*, 2021) o município se enquadra na classificação climática Aw, com temperatura média de 23 °C, precipitação média anual de 1023 mm e uma estação seca bem definida, coincidente com o inverno. A figura 1 apresenta a localização geográfica de Bocaiúva no estado de Minas Gerais (1A), uma imagem de satélite da fazenda estudada (1B) e o Compost barn em que as vacas em lactação são alojadas (1C).

Figura 1. Localização geográfica e sistema de produção avaliado.



Fonte: elaborado pelos autores.

A atividade principal da propriedade é a produção leiteira em sistema semi-intensivo. Durante o período do estudo, de agosto de 2022 a agosto de 2023, a propriedade possuía um rebanho formado por 189 animais, da raça Holandês preto e branco, descrito na tabela 1. As vacas em lactação são confinadas em alojamento do tipo Compost barn e ordenhadas duas vezes ao dia, em ordenhadeira mecânica. O alimento volumoso fornecido variou entre silagem de milho, silagem de sorgo, cana-de-açúcar e capiaçu. O alimento concentrado variou entre ração comercial e formulação própria, ambos com 22% PB (proteína bruta). As novilhas e vacas improdutivas são rotacionadas entre os 30 hectares de pastagem da propriedade.

Tabela 1. Número de animais por categoria e produção leiteira da propriedade avaliada.

Categoria	Componentes	Quantidade
-----------	-------------	------------

Rebanho	Vacas em lactação	55
	Vacas secas/pré-parto	5
	Novilhas	50
	Bezerros	15
	Bezerros pós-desmame	55
	Improdutivos/Descarte	9
Produção	kg/ano	269.217
	kg/vaca/ano	4.894
	kg/vaca/dia	16,045

Fonte: elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Avaliação de Ciclo de Vida

A Avaliação do Ciclo de Vida foi conduzida segundo as normativas NBR ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b), baseada em dados primários e secundários, sob a abordagem atribucional, e seguindo as recomendações do IDF (2015) para a ACV de produtos lácteos. O método de avaliação de impacto ambiental utilizado foi o CML - IA *baseline*, indicado por Baldini *et al* (2017) como o mais utilizado na ACV de lácteos.

Definição de objetivo e escopo

O objetivo da ACV foi estudar os impactos ambientais relacionados à produção de leite em uma propriedade de exploração semi-intensiva no sistema *compost barn*. Espera-se que os resultados contribuam para a literatura da ACV na pecuária leiteira nacional, especialmente nas condições edafoclimáticas do Norte de Minas Gerais, além de subsidiar a tomada de decisões do proprietário quanto à gestão ambiental da propriedade em questão.

O estudo foi realizado na perspectiva “*cradle-to-gate farm*”, ou seja, do berço à porteira da fazenda, abrangendo desde a extração de matérias-primas até a comercialização do leite cru refrigerado para o laticínio captador. Os limites do sistema do produto compreenderam as atividades para a produção de leite dentro

da propriedade em questão, considerando-se três processos elementares: armazenamento de insumos, manejo do rebanho e manejo dos dejetos. Entende-se por processo elementar um grupo de atividades inter-relacionadas que transformam entradas em saídas dentro de um sistema (ABNT, 2009a).

A Unidade Funcional (UF) utilizada no estudo foi a produção de 1kg de leite cru corrigido para gordura e proteína (FPCM, na sigla do inglês “*fat and protein corrected milk*”). O FPCM foi corrigido para um padrão de 4% de gordura e 3,3% de proteína, calculado de acordo com as diretrizes do IDF (2015), multiplicando a produção de leite registrada ao longo dos 12 meses de estudo pelo teor médio de gordura e proteína do leite produzido na fazenda, informado pelo laticínio captador, com a Equação 1.

$$FPCM \text{ (kg/ano)} = \text{Produção (kg/ano)} * [(0,1226 * \% \text{ gordura}) + (0,0776 * \% \text{ proteína}) + 0,2534] \text{ (Eq. 1)}$$

É comum que os sistemas de produção de leite apresentem a saída de outros produtos além do leite cru, como por exemplo dejetos compostados, excedentes de alimentos ou carne, e estes normalmente estão associados aos mesmos processos elementares. Nesse caso, não sendo viável a divisão do sistema entre os produtos, a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) recomenda a alocação, que é a repartição dos fluxos de entrada ou saída de um processo ou sistema de produto em estudo e seus coprodutos.

No caso da propriedade estudada houve a comercialização de carne como co-produto, a partir da venda de animais para abate. Os dejetos compostados foram usados nas lavouras da própria fazenda, e como não deixaram a fronteira do sistema, sua realocação não é necessária. De acordo com a normativa, a alocação pode ser baseada em energia, valor econômico ou em propriedades físicas, como a massa. O método de alocação física foi adotado nesse estudo, de acordo com a recomendação do IDF (2015), dividindo o impacto ambiental associado ao processo elementar de manejo do rebanho proporcionalmente à massa exportada em leite (FPCM) e carne (peso vivo dos animais comercializados), a partir da Equação 2.

$$AF = 1 - 6,04 * BMR \text{ (Eq. 2)}$$

Onde:

AF= fator de alocação física;

BMR= *Beef/Milk Ratio* (soma do peso vivo dos animais vendidos/total FPCM produzido).

Nesse método, os impactos ambientais relacionados ao processo de manejo do rebanho foram divididos proporcionalmente entre as saídas, leite e carne, de acordo com o volume, em quilogramas, de cada saída. Desse modo, foi possível determinar que a produção de leite, objeto da pesquisa, foi responsável por 68,23% do impacto ambiental deste processo elementar, como demonstrado na tabela 2.

Tabela 2. Participação dos produtos no processo de manejo do rebanho.

Produto	Quantidade (kg)	Alocação (%)
Leite	262.353,48	68,23
Carne	13.800	31,77

Fonte: elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Análise de Inventário de Ciclo de Vida

A maior parte dos dados de inventário do ciclo de vida, disponível em material complementar, são dados primários médios obtidos em visitas à propriedade e entrevistas com o gestor e o proprietário. Os dados primários incluíram os insumos para a alimentação do rebanho, isto é, volumosos, concentrados e minerais, serragem, consumo de energia elétrica e água, materiais de higiene de ordenha e o consumo do diesel dos maquinários. As entradas de insumos para a inseminação artificial e medicamentos veterinários foram desconsideradas, pois representam menos de 1% em massa, tendo impacto insignificante para o sistema (Silva, 2022).

A emissão de gases de efeito estufa dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) pela combustão do óleo diesel pelos maquinários

agrícolas foi calculada pela ferramenta *GHG protocol* na categoria combustão móvel. Deve-se levar em consideração que essa ferramenta apresenta limitações como a ausência de fatores de emissão específicos atuais e precisos para os fatores locais e quanto a qualidade e disponibilidade de dados, que podem levar a estimativas de emissões menos precisas.

As emissões de CH₄ pela fermentação entérica e pelo gerenciamento de dejetos foram calculadas de acordo com as recomendações do Tier 2 e Tier 1, respectivamente, das diretrizes do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2019).

Para as emissões de CH₄ entérico, foi considerado o fator de conversão de metano (Y_m) de 6,3 para as vacas leiteiras, devido à produção de leite do rebanho e à dieta fornecida a estes animais, baseada em silagem, forragens de boa qualidade e complementada com grãos e rações comerciais. Para os bezerros, cuja dieta consiste principalmente de leite, complementada com concentrado, considerou-se o Y_m de 0. Para as demais categorias, foi utilizado o Y_m de 6,5, para animais não leiteiros, recebendo dietas mistas (IPCC, 2019).

A emissão de CH₄ pelo manejo do esterco foi calculada com os valores recomendados para o sistema de manejo de dejetos *solid storage*, que mais se aproxima da proposta do *compost barn*, assim como o fator de emissão de metano e a taxa de excreção de sólidos voláteis. Foram considerados os valores para sistemas de alta produtividade da América Latina, em sistema *solid storage* e clima tropical úmido. O peso médio das categorias do rebanho foi calculado a partir de pesagens realizadas durante todo o período experimental. As emissões diretas e indiretas de N₂O pelo manejo de esterco foram calculadas segundo o Tier 1 do IPCC (2019).

Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

As categorias de impacto avaliadas neste estudo foram: mudanças climáticas (kg CO₂-eq), acidificação terrestre (kg SO₂-eq) eutrofização de água doce (kg PO₄-eq). O software OpenLCA versão 2.0.3 (Green Delta, 2022) foi usado na avaliação do impacto ambiental, com as bases de dados *Agribalyze* e *Environmental Footprints* fornecendo os dados de *background*. O método de avaliação de impacto ambiental utilizado foi o CML - IA baseline (Basaia, 2020;

Baldini et al., 2017; Guinée, 2002; Maciel et al., 2022; Silva, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fazenda estudada produziu 262.353,48 kg de leite corrigido para gordura e proteína (FPCM) ao longo dos 12 meses de coleta de dados. O impacto ambiental foi calculado a partir das entradas e saídas necessárias para a produção de 1 kg FPCM em cada processo elementar e somado para o sistema de produto como um todo, como demonstrado na tabela 3.

Tabela 3. Impacto ambiental da produção de 1kg FPCM na fazenda estudada.

Fator de caracterização	Valor observado
Potencial de mudanças climáticas (kg CO ₂ -eq)	1,6698
Potencial de acidificação terrestre (kg SO ₂ -eq)	0,003443
Potencial de eutrofização de água doce (kg PO ₄ -eq)	0,000289

Fonte: elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Mudanças climáticas

A categoria de mudanças climáticas, ou potencial de aquecimento global, se refere ao aumento na temperatura média global, relacionado à emissão de gases de efeito estufa. A bovinocultura é associada à emissão dos GEE óxido nitroso (N₂O), proveniente do uso de fertilizantes e da disposição de dejetos animais no solo, metano (CH₄), proveniente do metabolismo dos animais e do esterco e dióxido de carbono (CO₂), associado às práticas agrícolas do manejo do sistema produtivo. Para a avaliação dessa categoria de impacto, as emissões são convertidas para a mesma unidade, o carbono equivalente (kg CO₂-eq), em que os gases emitidos pelo sistema produtivo são expressos com base no potencial de aquecimento global em um horizonte temporal de 100 anos (Amaral *et al.*, 2012; Basaia, 2020).

Na propriedade avaliada, observou-se a produção de 1,67 kg CO₂-eq para cada 1kg FPCM produzido, com uma produção leiteira de 16,05 kg/vaca/dia. Basaia (2020) calculou a emissão de 1,48 kg CO₂-eq em um sistema *compost*

barn em outra região de Minas Gerais, com produção média diária de 28,34 kg/vaca/dia.

Carvalho et al (2022) registraram a emissão de 1,41 kg CO₂-eq kg FPCM em uma propriedade semi-intensiva da Bahia, com produção leiteira média de 18,65 kg/vaca/dia. Já Silva (2022), observou a produção de 0,365 kg CO₂-eq por kg FPCM em sistema intensivo no estado de São Paulo, com média de produção diária de 38,50 kg/vaca/dia. Tais resultados indicam que há uma tendência de que as propriedades com maior produção por animal lactante ao ano e maior produtividade diária tenham menor produção de CO₂-eq por unidade funcional produzida, corroborando que a intensificação da produção está associada a um menor impacto ambiental em relação às emissões de GEE.

De Léis et al (2015) observaram a emissão de 0,535 kg CO₂-eq por kg ECM (energy corrected milk) em sistema de produção intensivo com média diária de 25,13 kg/vaca e 0,778 kg CO₂-eq kg ECM em sistema semi-intensivo com produção média de 24,07 kg/vaca/dia, ambos no Paraná, porém, a adoção de uma unidade funcional diferente torna a comparação entre os resultados inviável.

Deve-se levar em consideração que há também variação entre o tamanho das propriedades avaliadas, nas raças, graus de sangue e composição dos rebanhos, nas dietas ofertadas aos animais, nas condições edafoclimáticas em que as fazendas estão inseridas, além de diferenças metodológicas para a ACV, visto que não há uma metodologia padrão definida. Todas essas variações interferem diretamente nos resultados de uma ACV, e isto, somado ao fato de não existirem valores de referência em nível nacional, dificultam a comparação entre os resultados.

De acordo com dados da FAO (2018), nos países em que a pecuária leiteira é mais desenvolvida, como nos Estados Unidos, a intensidade de emissão média é de 1,3 a 1,4 kg CO₂-eq por kg FPCM, enquanto em regiões onde a atividade é menos tecnificada, como por exemplo o sul da Ásia e a África sub-saariana, a emissão média varia entre 4,1 e 6,7 kg CO₂-eq por kg FPCM. Dito isso, apesar da ausência de valores de referência e da variação entre os resultados apresentados nos estudos nacionais, é possível afirmar que a propriedade estudada apresentou um baixo potencial de mudanças climáticas, estando próximo da média dos países desenvolvidos. Quanto menor for a emissão de CO₂-eq por quilograma de produto,

melhor o desempenho ambiental da propriedade para esta categoria, e quanto maior a produtividade do rebanho, menor será a emissão de GEE por kg FPCM.

Acidificação terrestre

A acidificação terrestre é causada principalmente pela disposição de compostos acidificantes na atmosfera e pode influenciar a perda de diversidade e produtividade vegetal em diferentes biomas, graças à acidificação do solo. O baixo pH do solo geralmente é associado ao aumento na mobilização e toxicidade do alumínio, lixiviação de nutrientes e redução das taxas de nitrificação e decomposição da matéria orgânica. O potencial de acidificação é expresso em quilogramas de dióxido de enxofre equivalente (kg SO₂-eq) (Azevedo et al., 2013).

Nesse estudo observou-se o valor de 0,003443 kg SO₂-eq por kg FPCM, enquanto Basaia (2020) e Carvalho et al (2022) encontraram valores de 0,006348 e 0,00111 kg SO₂-eq por kg FPCM, respectivamente, em sistemas de produção semi-intensivos, e Silva (2022) observou a produção de 0,00227 kg SO₂-eq por kg FPCM em um sistema intensivo. Essa variação pode ser associada às diferenças de produtividade, composição de rebanho e manejo entre os sistemas de produção, especialmente quanto ao manejo nutricional, bem como nas metodologias de avaliação adotadas.

Por exemplo, as propriedades avaliadas por Basaia (2020) e Silva (2022) utilizaram de dietas similares, baseadas em silagem de milho e concentrado, ambas em sistema compost barn, mas tiveram resultados discrepantes, possivelmente devido ao maior número de animais no rebanho avaliado pelo primeiro autor, contribuindo para maior volume de emissão de compostos acidificantes por fermentação entérica, e ao maior volume de produção leiteira observado pela segunda autora. Já Carvalho et al (2022), apontaram a produção de silagem de milho como o processo de maior contribuição para a acidificação terrestre, mas as pastagens foram a principal fonte de alimento volumoso para este rebanho, com uma contribuição significativamente menor para esta categoria de impacto.

Salvador et al. (2016) observaram que o manejo dos dejetos e a fermentação entérica são os fatores que mais influenciam essa categoria de impacto. O valor observado no presente estudo pode estar relacionado tanto à

variação entre os volumosos utilizados, quanto à composição do rebanho, considerando o número de animais improdutivos que contribuem para as emissões.

Eutrofização de água doce

A eutrofização de água doce é uma possível consequência do aumento excessivo da concentração de nutrientes de origem animal ou vegetal na água, sendo nitrogênio e fósforo os principais nutrientes relacionados à eutrofização. Esse crescimento pode promover o aumento da população de algas, da turbidez da água e a redução do nível de oxigênio, causando a morte de peixes e outros organismos aquáticos (Basaia, 2020; PFISTER et al., 2009).

O sistema de produção avaliado apresentou um potencial de eutrofização de água doce de 0,000289 kg PO₄-eq por kg FPCM. Outros estudos nacionais observaram valores de 0,002248, 0,000239 e 0,000177 kg PO₄-eq por kg FPCM (Basaia, 2020; Carvalho et al., 2022; Silva, 2022). Ao comparar diferentes sistemas de produção leiteira na Itália, Salvador et al (2016) observaram que a maior contribuição para esta categoria veio de fora das propriedades, da compra de insumos para a produção de concentrados, devido à lixiviação de nitratos e fosfatos e da volatilização de amônia na fertilização de suas lavouras. Dentro dos limites da propriedade, o manejo dos dejetos e a fermentação entérica representaram a maior contribuição para esta categoria de impacto.

Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

Diferentes estudos observaram que maior volume de produção e maior produtividade por animal tem melhor desempenho ambiental (Bacenetti et al, 2016; De Léis, et al, 2015; Seó et al, 2017; Wang et al, 2016), visto que durante a fase de inventário, todas as entradas e saídas do horizonte temporal de um ano são divididas pelo volume de leite comercializado. De acordo com Bacenetti et al (2016), aumentar a frequência de ordenha de duas para três vezes ao dia pode maximizar a eficiência alimentar e a produtividade, sendo uma estratégia para mitigação do impacto ambiental da pecuária leiteira. A redução do impacto ambiental por kg FPCM é atribuída à diluição dos custos ambientais relacionados à manutenção, e à premissa de que vacas de alta produção recebem dietas com

menor teor de fibra, o que reduz a emissão de metano por unidade de produto (Bava et al, 2014).

CONCLUSÃO

A avaliação de ciclo de vida da pecuária leiteira possibilitou a identificação e quantificação da pegada de CO₂-eq, da acidificação por SO₂-eq e eutrofização por PO₄-eq. A partir dos resultados obtidos e da relação da emissão de gases de efeito estufa como CO₂, CH₄ e N₂O por unidade animal e sua respectiva produção, pode-se observar que sistemas de produção mais intensivos emitem menor volume de GEE por unidade produzida. Além disso, nota-se que a alimentação dos animais e o manejo de dejetos contribuem com grande parcela das emissões nas diferentes categorias de impacto. Sendo assim, o investimento em animais mais produtivos, manejo alimentar eficiente e tratamento correto dos dejetos contribuem diretamente para uma produção mais sustentável.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M.; BACHA, C.J.C. Literatura sobre eficiência na produção leiteira brasileira. **Revista de Política Agrícola, Brasília**, v. 30, n. 1, p. 20, jan./mar. 2021. Disponível em: <https://tinyurl.com/y7dzbdet>

AMARAL, G. F.; CARVALHO, F. A. A. D.; CAPANEMA, L. X. D. L.; CARVALHO, C. A. D. D. Panorama da pecuária sustentável. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 36, p. 249-288, 2012. Disponível em: <https://tinyurl.com/2v9wsrsy>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR ISO 14040: **Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2009. 21 p. Disponível em: <https://tinyurl.com/mryeadut>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR ISO 14044: **Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2009. 46 p. Disponível em: <https://tinyurl.com/bddrn7jx>

AZEVEDO, L. B.; VAN ZELM, R.; HENDRIKS, A. J.; BOBBINK, R.; HUIJBREGTS, M. A. Global assessment of the effects of terrestrial acidification on plant species richness. **Environmental Pollution**, v. 174, p. 10-15, 2013. Disponível em: <https://tinyurl.com/yeczemzr>

BACENETTI, J.; BAVA, L.; ZUCALI, M.; LOVARELLI, D.; SANDRUCCI, A.; TAMBURINI, A.; FIALA, M. Anaerobic digestion and milking frequency as mitigation strategies of the environmental burden in the milk production system. **Science of the Total Environment**, v. 539, p. 450-459, 2016. Disponível em:

<https://tinyurl.com/bdecst8r>

BALDINI, C.; GARDONI, D.; GUARINO, M. A critical review of the recent evolution of Life Cycle Assessment applied to milk production. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 421-435, 2017. Disponível em: <https://tinyurl.com/fp63x4320>

BASAIA, D. C. K. **Avaliação do ciclo de vida e análise da viabilidade econômica de uma fazenda leiteira no estado de Minas Gerais-Brasil**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2020. Disponível em: <https://tinyurl.com/668tu2my>

BAVA, L.; SANDRUCCI, A.; ZUCALI, M.; GUERCI, M.; TAMBURINI, A. How can farming intensification affect the environmental impact of milk production?. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 7, p. 4579-4593, 2014. Disponível em: <https://tinyurl.com/yykydx72>

CALDATO, E. M. R. **Manual técnico de construção e manejo de Compost Barn para vacas leiteiras**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2019. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Disponível em: <https://tinyurl.com/4znm84mx>

CARVALHO, L. S.; WILLERS, C. D.; SOARES, B. B.; NOGUEIRA, A. R.; ALMEIDA NETO, J. A.; RODRIGUES, L. B. Environmental life cycle assessment of cow milk in a conventional semi-intensive Brazilian production system. **Environmental Science and Pollution Research**, 2022. p. 1-16. Disponível em: <https://tinyurl.com/mtt26xs2>

DE LÉIS, C. M.; CHERUBINI, E.; RUVIARO, C. F.; PRUDÊNCIO DA SILVA, V.; NASCIMENTO LAMPERT, V.; SPIES, A.; SOARES, S. R. Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, p. 46-60, 2015. Disponível em: <https://tinyurl.com/mr4dvksj>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Dairy Market Review – Emerging trends and outlook in 2023**. Rome, 2023. Disponível em: <https://tinyurl.com/4uxr9zmb>

FAO and GDP. **Climate change and the global dairy cattle sector – The role of the dairy sector in a low-carbon future**. Rome, 2018. 36 pp. Licence: CC BY-NC-SA- 3.0 IGO. Disponível em: <https://tinyurl.com/45jepxkd>

GUINÉE, J. B. **Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards** (Vol. 7). Springer Science & Business Media, 2002. Disponível em: <https://tinyurl.com/3z5xjj3x>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **2019**

Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Edited by E. Calvo Buendia et al. Switzerland: IPCC, 2019. Disponível em: <https://tinyurl.com/nhzewta5>

INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION - IDF. A common carbon footprint approach for the dairy sector. **The IDF guide to standard life cycle assessment methodology (Bulletin 479).** 2015. Disponível em: <https://tinyurl.com/5btx3jxn>

KRÜGER, C.; RADDATZ, J. C.; SILVA, L. I.; GOLDSCHMIDT, D.; ZUMBA, N. Contabilidade rural: avaliação econômica de um sistema de produção leiteira em confinamento. **Revista Eletrônica de Ciências Contábeis**, v. 10, n. 1, p. 57-79, 2021. Disponível em: <https://tinyurl.com/pfk97v4y>

MACIEL, A. M.; OTENIO, M. H.; PAULA, V. R.; BENHAMI, V. M. L.; PIEKARSKI, C. M.; ROCHA, C. M.; BARROS, N. O. Life cycle assessment of milk production system in Brazil: Environmental impact reduction linked with anaerobic treatment of dairy manure. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 54, p. 102883, 2022. Disponível em: <https://tinyurl.com/yvhhthhc>

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2021. Disponível em: <https://tinyurl.com/3s8jnt33>

PFISTER, S.; KOEHLER, A.; HELLWEG, S. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. **Environmental Science & Technology**, v. 43, n. 11, p. 4098-4104, 2009. Disponível em: <https://tinyurl.com/bddrh6z2>

ROCHA, D. T.; CARVALHO, G. R.; RESENDE, J. C. C. **Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária.** Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica, 123, 15p, 2020. Disponível em: <https://tinyurl.com/3y2n2zr9>

SALVADOR, S.; CORAZZIN, M.; PIASENTIER, E.; BOVOLENTA, S. Environmental assessment of small-scale dairy farms with multifunctionality in mountain areas. **Journal of Cleaner Production**, v. 124, p. 94-102, 2016. Disponível em: <https://tinyurl.com/3zsjbumm>

SEÓ, H. L. S.; MACHADO, L. C. P.; RUVIARO, C. F.; LÉIS, C. M. D. Avaliação do Ciclo de Vida na bovinocultura leiteira e as oportunidades ao Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 221-237, 2017. Disponível em: <https://tinyurl.com/mr4a53u4>

SILVA, D. V. **Avaliação do ciclo de vida e serviços Ecossistêmicos: um estudo de caso aplicado a diferentes sistemas de produção.** Sorocaba, SP: Universidade Federal de São Carlos - UFSC, 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Sustentabilidade). Disponível em:

<https://tinyurl.com/2rmz7w2h>

WANG, X.; KRISTENSEN, T.; MOGENSEN, L.; KNUDSEN, M. T.; WANG, X. Greenhouse gas emissions and land use from confinement dairy farms in the Guanzhong plain of China—using a life cycle assessment approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, p. 577-586, 2016. Disponível em:<https://tinyurl.com/2t3vvzs3>

ANEXOS

Anexo 1 - Inventário do processo elementar armazenamento de insumos.

Fluxos de entrada	Categoria	Dado bruto	Unidade bruta	Dado corrigido	Unidade corrigida	Origem
Silagem de milho	Consumo de materiais	8,92E-01	kg/l de leite	9,16E-01	kg/kg FPCM	Entrevista
Silagem de sorgo	Consumo de materiais	7,12E-01	kg/l de leite	7,31E-01	kg/kg FPCM	Entrevista
Cana	Consumo de materiais	2,62E-01	kg/l de leite	2,69E-01	kg/kg FPCM	Entrevista
Capineira	Consumo de materiais	2,96E-01	kg/l de leite	3,03E-01	kg/kg FPCM	Entrevista
Bag	Consumo de materiais	1,01E-01	kg/l de leite	1,04E-01	kg/kg FPCM	Entrevista
Milho moído	Consumo de materiais	2,46E-01	kg/l de leite	2,53E-01	kg/kg FPCM	Entrevista
Farelo de soja	Consumo de materiais	8,51E-02	kg/l de leite	8,73E-02	kg/kg FPCM	Entrevista
Ração comercial peletizada	Consumo de materiais	9,25E-02	kg/l de leite	9,49E-02	kg/kg FPCM	Entrevista
Sal branco	Consumo de materiais	4,41E-03	kg/l de leite	4,53E-03	kg/kg FPCM	Entrevista
Sal mineral lactação	Consumo de materiais	3,85E-03	kg/l de leite	3,95E-03	kg/kg FPCM	Entrevista
Ureia	Consumo de materiais	3,57E-03	kg/l de leite	3,66E-03	kg/kg FPCM	Entrevista
Mineral 160	Consumo de materiais	3,68E-03	kg/l de leite	3,78E-03	kg/kg FPCM	Entrevista
Leite em pó	Consumo de materiais	2,23E-04	kg/l de leite	2,28E-04	kg/kg FPCM	Entrevista
Núcleo pré-parto	Consumo de materiais	1,08E-03	kg/l de leite	1,11E-03	kg/kg FPCM	Entrevista
Ração comercial	Consumo de materiais	1,25E-01	kg/l de leite	1,29E-01	kg/kg FPCM	Entrevista
Ração comercial gado solteiro	Consumo de materiais	8,40E-02	kg/l de leite	8,62E-02	kg/kg FPCM	Entrevista
Núcleo mineral	Consumo de materiais	3,99E-03	kg/l de leite	4,09E-03	kg/kg FPCM	Entrevista
Calcário	Consumo de materiais	1,33E-03	kg/l de leite	1,36E-03	kg/kg FPCM	Entrevista
Sorgo moído	Consumo de materiais	1,19E-02	kg/l de leite	1,22E-02	kg/kg FPCM	Entrevista
Farelo de algodão 28%	Consumo de materiais	5,08E-03	kg/l de leite	5,21E-03	kg/kg FPCM	Entrevista
Diesel	Consumo de energia	8,67E-03	l/l de leite	8,90E-03	l/kg FPCM	Entrevista
Eletricidade	Consumo de energia	1,86E-02	kwh/l de leite	1,91E-02	kwh/kg FPCM	Entrevista
Fluxos de saída	Categoria	Dado bruto	Unidade bruta	Dado corrigido	Unidade corrigida	Origem
Emissões de CO2 (fóssil)	Emissões ao ar	2,69E-02	kg/l de leite	2,76E-02	kg/kg FPCM	GHG Protocol
Emissões de CH4 (fóssil)	Emissões ao ar	3,47E-06	kg/l de leite	3,56E-06	kg/kg FPCM	GHG Protocol
Emissões de N2O	Emissões ao ar	1,73E-07	kg/l de leite	1,78E-07	kg/kg FPCM	GHG Protocol

Fonte: elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Anexo 2 - Inventário do processo elementar manejo do rebanho.

Fluxos de entrada	Categoria	Dado bruto	Unidade bruta	Dado corrigido	Unidade corrigida	Origem
Água (dessedentação)	Consumo de materiais	1,71E-02	m³/l de leite	1,75E-02	m³/kg FPCM	Entrevista
Ocupação de terra	Uso da terra	3,71E+00	m²/l de leite	3,81E+00	m²/kg FPCM	Entrevista
Eletricidade	Consumo de materiais	1,41E-02	kwh/l de leite	1,45E-02	kwh/kg FPCM	Entrevista
Detergente alcalino	Consumo de materiais	9,66E-04	l/l de leite	9,91E-04	l/kg FPCM	Entrevista
Detergente ácido	Consumo de materiais	9,66E-04	l/l de leite	9,91E-04	l/kg FPCM	Entrevista
Sanitizante	Consumo de materiais	1,93E-03	l/l de leite	1,98E-03	l/kg FPCM	Entrevista
Iodo	Consumo de materiais	4,34E-03	l/l de leite	4,45E-03	l/kg FPCM	Entrevista
Diesel	Consumo de materiais	1,11E-03	l/l de leite	1,14E-03	l/kg FPCM	Entrevista
Água para limpeza	Consumo de materiais	7,39E-03	m³/l de leite	7,58E-03	m³/kg FPCM	Entrevista
Leite (consumo bezerros)	Consumo de materiais	7,79E-02	l/l de leite	8,00E-02	l/kg FPCM	Entrevista
Fluxos de saída	Categoria	Dado bruto	Unidade bruta	Dado corrigido	Unidade corrigida	Origem
Leite	Coproduto	9,75E-01	l/l de leite	1,00E+00	l/kg FPCM	Entrevista
Venda de animais (peso vivo)	Coproduto	5,13E-02	kg/l de leite	5,26E-02	kg/kg FPCM	Entrevista
Emissão de CH4 (biogênico)	Emissões ao ar	6,26E-02	kg/l de leite	6,43E-02	kg/kg FPCM	IPCC (2019)
Emissão de CH4 (fóssil)	Emissões ao ar	4,46E-07	kg/l de leite	4,57E-07	kg/kg FPCM	GHG Protocol
Emissões de CO2 (fóssil)	Emissões ao ar	3,46E-03	kg/l de leite	3,55E-03	kg/kg FPCM	GHG Protocol
Emissões de N2O	Emissões ao ar	2,23E-08	kg/l de leite	2,29E-08	kg/kg FPCM	GHG Protocol

Fonte: elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Anexo 3 - Inventário do processo elementar de manejo de dejetos.

Fluxos de entrada	Categoria	Dado bruto	Unidade bruta	Dado corrigido	Unidade corrigida	Origem
Serragem	Consumo de materiais	1,08E-03	m³/l de leite	1,11E-03	m³/kg FPCM	Entrevista
Dejetos	Consumo de materiais	1,05E+01	kg/l de leite	1,07E+01	kg/kg FPCM	Entrevista
Diesel	Consumo de materiais	3,34E-03	l/l de leite	3,43E-03	l/kg FPCM	Entrevista
Fluxos de saída	Categoria	Dado bruto	Unidade bruta	Dado corrigido	Unidade corrigida	Origem
Dejetos compostados	Coproduto	5,34E+00	kg/l de leite	5,48E+00	kg/kg FPCM	Entrevista
Emissão de CH4 (biogênico)	Emissões ao ar	1,13E-02	kg/l de leite	1,16E-02	kg/kg FPCM	IPCC (2019)
Emissões de NO2 (direta)	Emissões ao ar	2,59E-02	kg/l de leite	2,66E-02	kg/kg FPCM	IPCC (2019)
Emissões de NO2 (indireta)	Emissões ao ar	2,35E-03	kg/l de leite	2,41E-03	kg/kg FPCM	IPCC (2019)
Emissões de CO2 (fóssil)	Emissões ao ar	1,04E-02	kg/l de leite	1,07E-02	kg/kg FPCM	GHG Protocol
Emissões de CH4 (fóssil)	Emissões ao ar	1,34E-06	kg/l de leite	1,37E-06	kg/kg FPCM	GHG Protocol
Emissões de N2O	Emissões ao ar	6,69E-08	kg/l de leite	6,86E-08	kg/kg FPCM	GHG Protocol

Fonte: elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

**6. ARTIGO - VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMA COMPOST BARN
PARA A PECUÁRIA LEITEIRA**

(Artigo escrito de acordo com as normas da **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**)

VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMA *COMPOST BARN* PARA A PECUÁRIA LEITEIRA

ECONOMIC VIABILITY OF COMPOST BARN SYSTEM FOR DAIRY CATTLE

RESUMO

A pecuária leiteira tem grande relevância socioeconômica no Brasil, e está em constante desenvolvimento, em busca de maior eficiência produtiva, qualidade e rentabilidade. Na intensificação dos sistemas produtivos, o *compost barn* é um modelo de instalação que oferece ganhos em bem-estar e produtividade, com menor custo de construção do que outros sistemas de confinamento. Entretanto, a viabilidade da migração para este sistema deve ser estudada de acordo com as características de cada propriedade e as condições do mercado. O objetivo deste estudo foi analisar a viabilidade econômica da implantação do sistema *compost barn* em uma propriedade semi-intensiva dedicada a produção de leite, avaliando receita bruta, receita líquida, custos e despesas, fluxo de caixa descontado, depreciação e amortização, taxa mínima de atratividade (TMA), valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), *Payback* descontado, índice de lucratividade e ponto de nivelamento. O investimento se mostrou economicamente viável, com VPL de R\$541.487,17, TIR de 44,83% e *Payback* de 2,56 anos.

PALAVRAS-CHAVE: custos de produção; produtividade; lucratividade.

ABSTRACT

Dairy farming holds significant socioeconomic relevance in Brazil and is continually evolving to enhance production efficiency, quality, and profitability. In the intensification of production systems, the compost barn emerges as an installation model that offers gains in both animal welfare and productivity, with lower construction costs compared to other confinement systems. However, the feasibility of transitioning to this system should be studied in accordance with the characteristics of each farm and market conditions. The aim of this study was to analyze the economic viability of implementing the compost barn system on a semi-intensive dairy farm, evaluating gross revenue, net revenue, costs and

expenses, discounted cash flow, depreciation and amortization, minimum attractive rate (MAR), net present value (NPV), internal rate of return (IRR), discounted payback period, profitability index, and breakeven point. The investment proved to be economically viable, with an NPV of R\$541,487.17, an IRR of 44.83%, and a payback period of 2.56 years.

KEYWORDS: production costs; productivity; profitability.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil é o quarto maior produtor mundial de leite, atrás apenas de Índia, Estados Unidos e Paquistão (*Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAO, 2023). Essa produção expressiva é resultado da constante busca por atualização tecnológica, evolução das práticas de gestão e padronização de qualidade da matéria prima observadas na cadeia produtiva do leite, a fim de melhorar a eficiência produtiva e se adequar à competitividade do mercado (Rezende; Domingues, 2020).

Dentre as mudanças observadas na pecuária leiteira nacional pode-se observar a migração de modelos de produção extensivos para intensivos, onde a criação de animais a pasto dá lugar aos sistemas de confinamento. Dentre estes sistemas, o *compost barn* destaca-se por apresentar menor custo de implantação em relação a outros tipos de confinamento e proporcionar ganhos em ambiência, bem-estar e produtividade (Caldato, 2019b; Krüger *et al.*, 2019).

De acordo com dados da Pesquisa Pecuária Municipal de 2022, a pecuária leiteira está presente em 99% dos municípios brasileiros e a produção nacional de leite foi estimada em 34,6 bilhões de litros, com valor de produção de 80 bilhões de reais, evidenciando a grande importância socioeconômica dessa cadeia produtiva (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2023).

Considerando a importância da pecuária leiteira na geração de empregos e renda, é fundamental que os estabelecimentos rurais sejam considerados como empresas e adotem a gestão financeira como ferramenta gerencial, permitindo que as propriedades acompanhem a evolução da cadeia produtiva e sejam eficientes, produtiva e economicamente. Apesar disso, a contabilidade rural ainda é

subutilizada nos sistemas de produção nacionais (Santos et al., 2023; Neves et al., 2017).

Dentre as diferentes metodologias para a avaliação da viabilidade econômica de empreendimentos agropecuários, destacam-se a definição de receita bruta, receita líquida, custos de produção, fluxo de caixa, depreciação e amortização, custo de oportunidade, taxa mínima de atratividade (TMA), valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), *Payback* descontado, índice de lucratividade (IL) e relação benefício- custo (Basaia, 2020; Krüger et al., 2019). A partir dessa metodologia, o presente estudo objetivou avaliar a viabilidade econômica da implantação de um galpão *compost barn* em uma propriedade dedicada à pecuária leiteira em sistema semi-intensivo no Norte de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

Sistema de produção avaliado

O estudo foi realizado em uma propriedade localizada no município de Bocaiúva-MG, na mesorregião Norte de Minas Gerais. As informações foram obtidas a partir de visitas à propriedade, realizadas entre agosto de 2022 e agosto de 2023, que visavam obter dados com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica da implantação do sistema de confinamento *compost barn* para vacas leiteiras. A implantação do sistema ocorreu em abril de 2021.

A atividade principal da fazenda é a produção leiteira em sistema semi-intensivo, contando com a mão de obra contratada de cinco funcionários regulares, e um folguista. Durante o período de interesse do estudo, o rebanho foi formado por 180 animais da raça Holandês preto e branco, sendo 55 vacas em lactação em média (Tabela 1). O restante do rebanho dividiu-se entre as categorias de vacas pré-parto, novilhas e bezerros em aleitamento e desmamados.

Tabela 1. Produção e produtividade por animal no período avaliado

	2020	2021	2022
Litros/ano	287.710	345.701	316.360
Litros/dia	788,25	947,13	866,74
Litros/vaca/dia	14,87	16,91	15,75
Nº de animais	53	56	55
Litros/vaca/dia	15,16	16,62	15,76

Fonte: dados da pesquisa

As vacas em lactação foram alojadas em sistema *compost barn*, ordenhadas duas vezes ao dia em ordenhadeira mecânica. A alimentação volumosa variou entre silagens de milho e sorgo, ou cana-de-açúcar e capiaçu, e foi fornecida duas vezes ao dia, após as ordenhas. O concentrado, com 22% de proteína, foi fornecido três vezes ao dia, tendo como fonte rações comerciais e formulações da propriedade.

Os bezerros em aleitamento são alojados em bezerreiro do tipo tropical ou argentino, e receberam dois tratos diários, de leite e concentrado. Os bezerros permanecem nessa instalação por cerca de 90 dias, ou até que estejam aptos a serem transferidos para os piquetes dos bezerros desmamados, onde são divididos em cinco lotes de acordo com a idade e o peso, e recebem dois tratos diários de volumoso e um trato de concentrado.

As novilhas passam seis meses em áreas de pastagem e seis meses recebendo alimentação volumosa em dois tratos no cocho, que variou entre silagens, cana-de-açúcar e capineiras, e um trato diário com concentrado. Os demais animais da propriedade receberam dois tratos diários de volumoso e um trato diário de concentrado. Durante a estação chuvosa da região, compreendida entre setembro e março, estes animais foram rotacionados entre os 30 hectares de pastagem da propriedade.

A Imagem 1, a seguir, apresenta a visão de satélite da propriedade avaliada. Em amarelo, destacam-se os piquetes em que as vacas em lactação eram alojadas antes da construção do *compost barn*. Em azul o caminho de 225 m que os animais percorriam até a sala de ordenha, que está delimitada em vermelho, juntamente da sala de espera. À direita da sala de ordenha, encontra-se o galpão, em laranja, em

que as vacas estão alojadas atualmente.

Imagem 1. Visão de satélite da propriedade avaliada.



Fonte: *Google Earth*.

O galpão foi construído a 12 m de distância da sala de espera e 25 m da sala de ordenha, na orientação leste-oeste, com 60 metros de comprimento e 10 de largura, totalizando uma área de 600 m² com capacidade de alojar até 70 animais, considerando área mínima de 8,5 m² por animal. A cama é constituída por serragem de diferentes granulometrias e é revolvida duas vezes ao dia, durante a ordenha dos animais. Não há sistema de aspersão ou ventilação mecânica na instalação. O cocho está localizado na parte externa do galpão, disposto na face sul do mesmo (imagens 2A e 2B) e na face norte tem-se o corredor de acesso com os bebedouros, por onde os animais se dirigem à sala de ordenha (imagem 2C).

Imagem 2. *Compost barn* da propriedade.



Fonte: dos autores, 2023.

Análise de viabilidade econômica

Com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica da implantação do sistema de confinamento *compost barn* para as vacas leiteiras, que ocorreu em abril de 2021, foram levantadas informações retroativas referentes ao número de animais, a média de produção de leite diária e por animal e o volume total de produção, além do custo de construção das instalações.

O volume de leite comercializado pela propriedade nos anos de 2020 a 2022 foi informado pela empresa responsável pela captação do leite. Considerou-se a série histórica CEPEA/ESALQ para o valor pago ao produtor por litro de leite em cada ano. Para os custos de produção por litro, considerou-se a série histórica da CONAB do município de Porteirinha, também localizado na mesorregião Norte de Minas Gerais, acrescentando o custo do leite destinado ao aleitamento dos bezerros. Para os anos de 2021 e 2022, a depreciação do *compost barn* e o custo de oportunidade foram acrescentados aos custos fixos da atividade.

A vida útil considerada para o *compost barn* foi estimada em 25 anos, com valor residual de 10% e taxa anual de depreciação de 3,6%, de acordo com a tabela de valores disponibilizada no site da Receita Federal (Brasil, 2017). O investimento na

construção do *compost barn* foi de R\$245.000,00, portanto, a depreciação anual foi de R\$8.820,00.

Como as demais edificações, instalações, maquinários e implementos necessários para a produção já existiam na propriedade, e o objetivo do estudo foi avaliar a viabilidade econômica da implantação do *compost barn*, considerou-se os valores de depreciação disponibilizado na série histórica da CONAB para os demais bens, equipamentos e estruturas. Além da depreciação, o custo de oportunidade também foi levado em consideração no cálculo do custo fixo. Para tanto, considerou-se quanto o valor investido na construção da instalação renderia sob a taxa de juros do crédito rural, de 8% ao ano, estimando-se rendimento anual de R\$19.600,00.

As informações coletadas foram compiladas, agrupadas e analisadas com o uso do Microsoft Excel[®], avaliando-se receita bruta, receita líquida, custos e despesas, fluxo de caixa, depreciação e amortização, custo de oportunidade, taxa mínima de atratividade (TMA), valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), *Payback* descontado e índice de lucratividade (IL) e ponto de nivelamento (PN), de acordo com os seguintes critérios e equações apresentadas (Santos et al., 2023; Costa, 2021; Krüger et al., 2019; Bassoto; Machado, 2020).

I. Receita Bruta

$$RB = \text{Prod} \times \text{Pu} \text{ (Eq. 1)}$$

Onde: Prod = Produção (litros de leite); Pu = preço unitário (valor recebido por litro).

II. Receita Líquida

A Receita Líquida é calculada por meio da diferença entre a Receita Bruta e as despesas implicadas no processo produtivo.

$$RL = RB - D \text{ (Eq. 2)}$$

Onde: RB = receita bruta; D = despesas.

III. Custos e Despesas

Os custos e despesas foram calculados a partir da compilação do valor monetário dos insumos e recursos consumidos com a pecuária leiteira, desde o valor gasto com mão de obra ao custo da alimentação dos animais, somados à depreciação anual e ao custo de oportunidade.

IV. Fluxo de caixa

O fluxo de caixa foi determinado a partir da compilação de despesas e receitas relacionadas à pecuária leiteira. Foi utilizada a metodologia do fluxo de caixa descontado, considerando a taxa de juros do crédito rural, de 8% ao ano.

V. Depreciação e amortização

A depreciação foi calculada a partir da estimativa de perda de valor dos ativos ao longo do tempo. O valor investido na construção do *compost barn* foi informado pelo gestor da propriedade. A amortização foi calculada considerando a diferença entre o fluxo de caixa descontado da atividade e o valor investido na instalação do sistema *compost barn*.

VI. Custo de oportunidade

O custo de oportunidade foi estimado considerando o quanto o capital investido na instalação do *compost barn* renderia se fosse aplicado em outro empreendimento. Considerou-se a taxa de juros do crédito rural, de 8% ao ano.

VII. Taxa Mínima de Atratividade

Taxa de retorno esperado do investimento. Os fluxos de caixa projetados são reinvestidos a uma taxa de retorno considerada viável, determinada pelas oportunidades de mercado de retorno de aplicações de risco similar. A TMA definida foi de 8%, baseada na taxa de juros do crédito rural.

VIII. Valor presente líquido

$$VPL = \frac{\sum FC_n}{(1+i)^n} \text{ (Eq. 3)}$$

Onde: FC = Fluxo de caixa; i = TMA; n= Número de anos para pagar o investimento ou equipamento.

IX. Taxa Interna de Retorno

$$TIR = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \text{ (Eq. 4)}$$

Onde: FC₀ = Fluxo de caixa do momento inicial; FC_j = Fluxos de caixa previstos para cada período; i = Taxa de desconto; n = período de tempo.

X. Payback Descontado

$$\text{Payback descontado} = \sum_{k=1}^j \frac{FC_k}{(1+TMA)^k} \geq FC_0 \text{ (Eq. 5)}$$

Onde: FC_k = Fluxo de caixa no intervalo de tempo k; FC₀ = Fluxo de caixa no instante zero.

XI. Índice de Lucratividade

$$IL = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j}}{I_{in}} \text{ (Eq. 6)}$$

Onde: FC_j = fluxo de caixa projetado; i = TMA; j = ano; I_{in} = investimento inicial.

XII. Ponto de nivelamento

$$PN = \frac{CFT}{(P - CVMe)} \text{ (Eq. 7)}$$

Onde: PN = ponto de nivelamento (L/ano); P = preço unitário (R\$/L); CFT = custo fixo total (R\$/ano); CVMe = custo variável médio (R\$/L).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O volume total produzido, valor pago por litro e receita bruta do leite nos anos de 2020 a 2022 são apresentados na tabela 2, assim como os custos de produção por litro e o custo total de produção para cada ano. Por fim, é apresentada a receita líquida, calculada a partir da diferença entre a receita bruta e os custos de produção.

Tabela 2. Produção, receita bruta, custos de produção e receita líquida da propriedade de 2020 a 2022.

	2020	2021	2022
Litros/ano	287.710	345.701	316.360
Litros/vaca/dia	14,87	16,91	15,75
Valor pago por litro (R\$)	1,86	2,18	2,64
Receita bruta (R\$)	535.111,83	752.729,36	835.664,94
Custo de produção por litro (R\$)			
Custos variáveis	1,32	1,55	1,76
Depreciação compost barn	0,000	0,026	0,028
Outras depreciações	0,14	0,17	0,31
Custo de oportunidade	0,00	0,06	0,06
Uso da terra	0,10	0,10	0,10
Total custos fixos	0,240	0,352	0,500
Total	1,56	1,90	2,26
Custo anual de produção (R\$)			
Custos variáveis	379.777,2	535.836,55	556.793,6
Depreciação compost barn	0	8.820	8.820
Outras depreciações	40.279,40	58.769,17	98.071,60
Custo de oportunidade	0,00	19.600,00	19.600,00
Uso da terra	28.771	34.570,10	31.636
Total custos fixos	77.870,4	121.759,27	158.127,6
Total	457.647,60	657.595,82	714.921,20
Receita líquida (R\$)	77.464,23	95.133,54	120.743,74

Fonte: dados da pesquisa.

A produção total (litros/ano) aumentou em aproximadamente 20,16% entre os anos de 2020 e 2021, enquanto a média de produção por animal aumentou em

13,72%. O aumento da produção e do preço pago por litro resultou em 40,67% de aumento na receita bruta da atividade no mesmo período. O custo de produção por litro aumentou em 21,8%, e o custo total de produção em 43,7%. A receita líquida teve aumento de 22,81%.

Em 2022 a produção total teve decréscimo de 8,49% em relação a 2021, e a média de produção por animal diminuiu 6,86%. Essa redução foi associada a mudanças no manejo nutricional dos animais, que foi prejudicado devido à falhas na produção de volumoso para este período. Devido à quantidade reduzida de silagem disponível, foi necessário utilizar volumosos de menor valor nutricional, como cana-de-açúcar e capiaçu, para complementar a alimentação dos animais, o que ocasionou redução da produtividade. Apesar disto, o aumento do valor pago por litro de leite em 2022 possibilitou que a receita bruta e líquida aumentassem em 11,2 e 26,92%, respectivamente, em relação a 2021.

Embora a instalação do *compost barn* tenha participado do aumento dos custos variáveis, a partir do desembolso para compra de material para a cama e dos custos fixos, de depreciação e custo de oportunidade, esse aumento dos custos também pode ser associado a condições mercadológicas do período avaliado. Os custos de produção de leite passaram por uma trajetória de crescimento desde o início de 2020, especialmente a partir do segundo semestre daquele ano. Essa alta foi influenciada por diversos fatores, como por exemplo redução da produção de fertilizantes, aumento do preço dos combustíveis e elevada taxa de câmbio que estimulou a exportação dos grãos, desabastecendo o mercado interno. Esse cenário inverteu-se somente em meados de abril de 2022, com a redução da volatilidade do mercado e estabilização dos custos de produção e preço pago aos produtores (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2023).

Krüger *et al* (2021) observaram aumento de 47,86% na produção total e 13,76% na produtividade por animal após a implantação do sistema *compost barn*, com 39,1% de aumento do custo de produção. Michels *et al* (2019) registraram aumento de 31,39% na produção, 13,93% na produtividade média e 53,12% de aumento dos custos produtivos após a migração do sistema tradicional para o *compost barn*.

Embora o incremento no volume total de produção reportado pelos autores

supracitados supere o valor constatado neste estudo, que foi de 20,16%, a variação na média de produção por animal foi semelhante para os três estudos. Portanto, é plausível associar essa disparidade ao aumento no contingente de vacas em lactação após a implementação do sistema *compost barn*, ao passo que a variação no número de animais na propriedade rural examinada neste estudo foi relativamente inferior.

A tabela 3 apresenta a projeção do fluxo de caixa (FC) em um horizonte temporal de dez anos, considerando as receitas líquidas demonstradas na tabela anterior. Considerou-se uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 8%, equivalente à taxa anual de juros do crédito rural. Utilizou-se a metodologia do fluxo de caixa descontado, levando em consideração a desvalorização do dinheiro ao longo dos anos. Para tanto, foi utilizado o mesmo valor definido para a TMA, de 8% ao ano.

Tabela 3 - Fluxo de caixa e amortização projetados em horizonte temporal de dez anos.

Ano	Fluxo de Caixa	FC descontado	Saldo
0	-R\$ 245.000,00	-R\$ 245.000,00	-R\$ 245.000,00
1	R\$ 95.133,54	R\$ 88.086,61	-R\$ 156.913,39
2	R\$ 120.743,74	R\$ 103.518,30	-R\$ 53.395,10
3	R\$ 120.743,74	R\$ 95.850,27	R\$ 42.455,18
4	R\$ 120.743,74	R\$ 88.750,25	R\$ 131.205,43
5	R\$ 120.743,74	R\$ 82.176,16	R\$ 213.381,59
6	R\$ 120.743,74	R\$ 76.089,04	R\$ 289.470,63
7	R\$ 120.743,74	R\$ 70.452,81	R\$ 359.923,44
8	R\$ 120.743,74	R\$ 65.234,09	R\$ 425.157,53
9	R\$ 120.743,74	R\$ 60.401,93	R\$ 485.559,46
10	R\$ 120.743,74	R\$ 55.927,71	R\$ 541.487,17

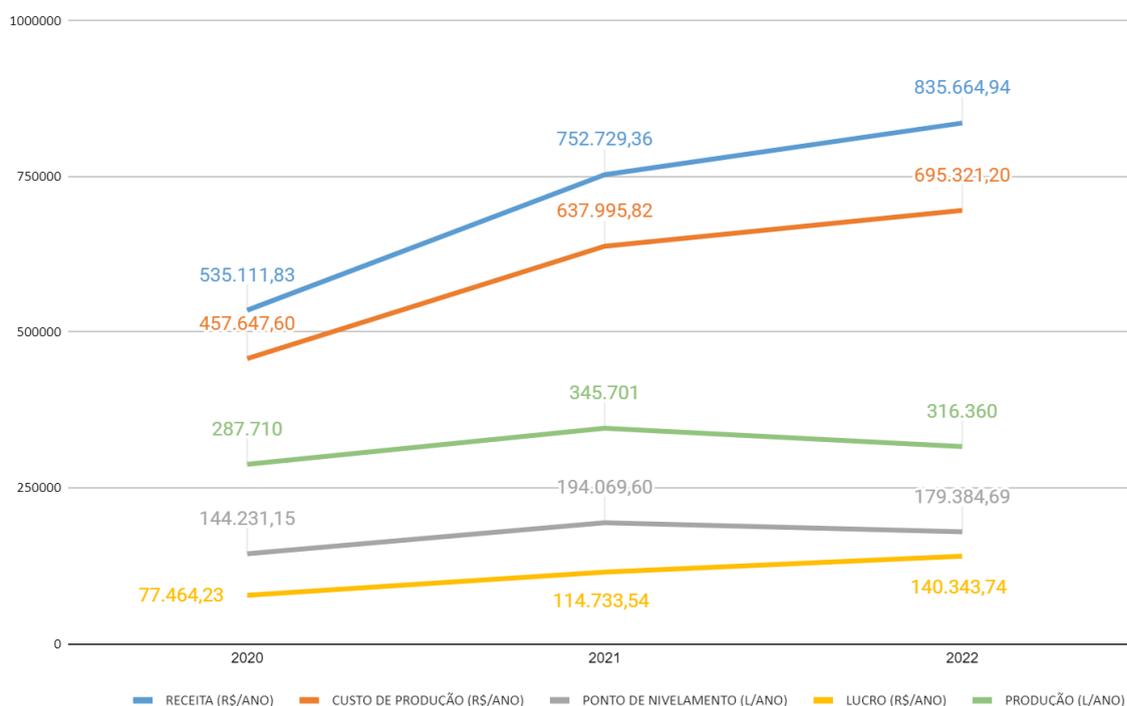
Fonte: dados da pesquisa.

O *Payback* descontado, que representa o tempo necessário para que o investimento se pague, considerando a desvalorização do dinheiro ao longo do

tempo, foi de 2,56 anos, ou dois anos, seis meses e 25 dias. O valor da Taxa Interna de Retorno foi de 44,83%, com Valor Presente Líquido de R\$ 541.487,17 e Índice de Lucratividade estimado em 3,2. Dessa forma, o investimento foi considerado economicamente viável.

O ponto de nivelamento representa o volume de produção que a propriedade deve apresentar para que sua receita total se iguale aos custos de produção, ou seja, o nível de produção além do qual a atividade daria retorno e aquém do qual, daria prejuízo. Ao longo de todo o período avaliado, antes e depois da instalação do *compost barn*, a produção observada foi superior ao ponto de nivelamento, indicando que a atividade foi capaz de cobrir os custos de produção e gerar lucros, conforme demonstrado no gráfico 1.

Gráfico 1. Produção, custos de produção, receita, lucro e ponto de nivelamento ao longo do período avaliado.



Além do incremento da produtividade por animal, o proprietário e o gestor da fazenda consideram que o confinamento dos animais no *compost barn* também foi vantajoso em relação ao controle de ectoparasitas, redução da incidência de

mastite e na melhoria da qualidade do leite, especialmente durante a estação chuvosa. Essas vantagens foram relatadas em outros estudos sobre a implantação do *compost barn*, assim como maior conforto térmico, maior eficiência da detecção de cio e inseminação, redução de incidência de lesões do sistema locomotor, maior estabilidade da produção entre os períodos seco e chuvoso, dentre outras (Silva; Rosa, 2022; Krüger *et al.*, 2021; Caldato, 2019a).

Embora as análises realizadas demonstrem a viabilidade econômica da adoção do sistema *compost barn* na propriedade avaliada, é possível que estes resultados sejam ainda melhores, com pouca variação dos custos, visto que não há uso de sistema de ventilação mecânica na instalação. Ao avaliar o sistema *compost barn* em duas propriedades, antes e depois da implementação de ventilação forçada, especificamente do sistema de túnel de vento, Caldato (2019a) observou que a temperatura controlada proporcionou aumento médio de 25% na produtividade das fazendas avaliadas, possivelmente devido a manutenção do conforto térmico dos animais. Sua pesquisa demonstrou que o sistema túnel de vento permitiu que a temperatura interna dos galpões fosse cerca de 10 °C abaixo da externa nos dias de maior calor.

Além disso, ao comparar os custos e a produtividade em diferentes sistemas de produção de leite, Dalchiavon *et al* (2017) constataram que em sistemas de confinamento, como o *compost barn* e o *free stall*, o uso pleno da capacidade das instalações pode aumentar seu rendimento, visto que os custos fixos, que não são alterados pelo volume de produção, seriam os mesmos independente do número de animais estabulados.

Estudos observaram que o uso do composto proveniente da cama do *compost barn* contribuiu para o aumento da altura das plantas, diâmetro de colmo e número de folhas em lavouras de milho, além de melhorar os parâmetros químicos do solo quanto aos teores de fósforo, cálcio, matéria orgânica, soma de bases, capacidade de troca de cátions e percentual de saturação por bases, em relação a tratamentos controle, que receberam somente a adubação mineral (Tomazi; Gai, 2022; Mota; Andrade; Leite, 2020). Portanto, o *compost barn* pode proporcionar o aproveitamento dos dejetos estabilizados em substituição aos fertilizantes químicos, contribuindo para a melhoria da produção vegetal e qualidade do solo.

Os resultados obtidos corroboram com a pesquisa bibliométrica de Silva e Rosa (2022), que observaram que a implantação do sistema *compost barn* na pecuária leiteira brasileira é viável, desde que ocorra respeitando as características construtivas preconizadas para a manutenção do bem-estar dos animais e que as condições econômicas, como por exemplo o preço pago pelo leite, sejam favoráveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados observados, pode-se afirmar que a construção do *compost barn* na propriedade foi economicamente viável, apresentando fluxos de caixa positivos e uma alta taxa de retorno interno. A transferência das vacas em lactação para a instalação favoreceu seu conforto térmico e bem-estar, possibilitando aumento da produção de leite e, conseqüentemente, das receitas da atividade. Além destes benefícios e daqueles relacionados à melhorias na sanidade e manejo do rebanho, a adoção do sistema *compost barn* também permitiu uma destinação adequada aos dejetos dos animais, que é usado na fertilização das lavouras da propriedade, após o processo de compostagem.

REFERÊNCIAS

BASAIA, D. C. K. **Avaliação do ciclo de vida e análise da viabilidade econômica de uma fazenda leiteira no estado de Minas Gerais-Brasil**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourado, MS, 2020. Disponível em: <https://tinyurl.com/668tu2my>

BASSOTTO, L.C.; MACHADO, L.K.C. Gestão dos custos em uma propriedade leiteira familiar do sul de Minas Gerais. **ForScience**, Formiga, v. 8, n. 2, p. e00528-e00528, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.29069/forScience.2020v8n2.e528>

BRASIL. Receita Federal do Brasil. Instrução Normativa RFB nº 1700, de 14 de março de 2017. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mar. 2017. Seção 1, p. 23. Disponível em: <https://tinyurl.com/ykr6j6cw>

CALDATO, A. **Construção de Compost Barn: tradicional x túnel de vento e**

nutrição e manejo de vacas leiteiras no período de transição. 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019a. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/27541>

CALDATO, E. M. R. **Manual técnico de construção e manejo de Compost Barn para vacas leiteiras.** 2019. 41 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019. Disponível em: <https://tinyurl.com/mswuz7z8>

CENTRO DE ESTUDOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. Preços ao produtor. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/leite.aspx>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Custos de produção. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao>

COSTA, C. C. Viabilidade Econômica da implantação de um sistema de Compost Barn em uma propriedade rural em Santa Cruz do Rio Pardo – SP. **Revista de Gestão e Estratégia**, Assis, v. 3, n. 1, 2021. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/5054>

DALCHIAVON, A.; FANK, D. R. B.; HEBERLE, E. L.; ZANIN, A. Análise comparativa de custos e produtividade de leite em diferentes sistemas de produção. **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**, [S. l.], São Leopoldo, 2017. Disponível em: <https://anaiscbc.abcustos.org.br/anais/article/view/4286/4286>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Anuário Leite 2023: Leite Baixo Carbono. Brasília: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1154264/anuario-leite-2023-leite-baixo-carbono>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. 2023. Dairy Market Review – Emerging trends and outlook in 2023. Rome. Disponível em: <https://www.fao.org/markets-and-trade/publications/detail/en/c/1672947/>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa Pecuária Municipal. Rio de Janeiro, RJ, 2023. Disponível em: <https://tinyurl.com/2tm4nevp>

KRÜGER, C.; RADDATZ, J. C.; SILVA, L. I.; GOLDSCHMIDT, D.; ZUMBA, N. Contabilidade rural: avaliação econômica de um sistema de produção leiteira em confinamento. **Revista Eletrônica de Ciências Contábeis**, Taquara, v. 10, n. 1, p. 57-79, 2021. Disponível em: <https://seer.faccat.br/index.php/contabeis/article/view/1957>

KRUGER, S. D.; BERGAMIN, W.; GOLLO, V. Viabilidade Econômica-Financeira da Atividade Leiteira no Sistema de Pastoreio e Compost Barn. **Anais do Congresso Brasileiro de Custos - ABC**, [S. l.], São Leopoldo, 2019. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4632>

MICHELS, A.; SOTT, V. R.; PIGOSSO, L. M.; LUNKES, S. F. Custo na produção

leiteira: um comparativo entre o sistema tradicional e o sistema compost barn em uma propriedade do oeste de Santa Catarina. **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**, [S. l.], São Leopoldo, 2019. Disponível em: <https://anaiscbc.abcustos.org.br/anais/article/view/4667/4685>

MOTA, V.C; ANDRADE, E.T.; LEITE, D.F.. Use of compost bedded pack barn in maize fertilization for silage. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 13, n. 4, p. 1571-1588, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/7107/6417>

NEVES, F. R.; LOPES, M. M.; SOARES, E. P.; SOUZA, D. R.; SANTOS AMARAL, R. Custos de produção da pecuária leiteira: estudo em uma instituição federal. **Revista de Auditoria, Governança e Contabilidade**, Monte Carmelo, v. 5, n. 19, 2017. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/ragc/article/view/978>

REZENDE, A. V. S.; DOMINGUES, C. R. Gestão de propriedades de produção leiteira: um estudo bibliométrico. **Desafio Online**, Campo Grande, v. 8, n. 3, 2020. Disponível em: <https://desafioonline.ufms.br/index.php/deson/article/view/10282>

SANTOS, F. G.; SANTOS, A. R. C.; CARDOSO, B. N.; COLEN, F.; PIRES NETO, O. de S.; SANTOS, F. R.; PEREIRA, S. Sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica do sistema Compost Barn na pecuária leiteira brasileira. **Caderno de Ciências Agrárias**, Montes Claros, [S. l.], v. 15, p. 1–9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2023.42783>

SILVA, F. S.; ROSA, Q. S. Sistema compost barn: atuação e viabilidade de implantação na bovinocultura leiteira. **Natural Resources**, Aquidabã, v.12, n.1, p.22-32, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2022.001.0003>

TOMAZI, C. V.; GAI, V. F. Produtividade de milho para silagem com utilização do Compost Barn. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 15, p. 9-19, 2022. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/1115>

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora não haja parâmetros pré-estabelecidos para comparação, a avaliação de ciclo de vida da produção de leite na propriedade avaliada permitiu que os possíveis impactos ambientais da atividade fossem estimados para os fatores de caracterização de mudanças climáticas, acidificação terrestre e eutrofização da água doce. A pegada de carbono da atividade, definida pelo potencial de aquecimento global, de 1,6698 kg CO₂-eq por kg de leite corrigido para gordura e proteína, está próxima das médias internacionais das regiões de menor emissão. O manejo alimentar dos animais e o manejo dos dejetos contribuem para a maior parte das emissões de gases de efeito estufa nas diferentes categorias de impacto, e investir em animais de maior potencial produtivo, nutrição eficiente e tratamento adequado dos dejetos pode contribuir para a sustentabilidade dos sistemas de produção.

O investimento na construção do *compost barn* se mostrou economicamente viável a partir das análises propostas, pois as condições que esta instalação forneceu aos animais proporcionou 13% de aumento em sua produtividade, resultando em aumento das receitas da propriedade. O confinamento das vacas em lactação neste sistema também permitiu o manejo adequado dos dejetos dos animais, que após o processo de compostagem na cama puderam ser utilizados na fertilização das áreas destinadas à produção do alimento volumoso.

São necessários mais estudos de ACV da produção leiteira no Brasil, abrangendo diferentes regiões e sistemas produtivos, para viabilizar comparações e definição de referências médias regionais e nacionais e a consolidação de uma metodologia de avaliação. A avaliação da viabilidade econômica, por sua vez, é importante para a manutenção dos sistemas produtivos a longo prazo. Espera-se que este estudo possa contribuir para a construção do conhecimento em ACV da produção de leite no estado de Minas Gerais.