

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ECONOMIA

MARIA SOUZA LIMA ARANTES

**SUSTENTABILIDADE NAS FAZENDAS PRODUTORAS DE LEITE NO BRASIL:
UMA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE INDICADORES ECONÔMICOS E
AMBIENTAIS**

JUIZ DE FORA – MG
2024

MARIA SOUZA LIMA ARANTES

**SUSTENTABILIDADE NAS FAZENDAS PRODUTORAS DE LEITE NO BRASIL:
UMA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE INDICADORES ECONÔMICOS E
AMBIENTAIS**

Monografia apresentada ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Weslem Rodrigues Faria
Coorientador: Prof. Dr. Glauco Rodrigues Carvalho

JUIZ DE FORA - MG
2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Lima Arantes, Maria Souza.

Sustentabilidade nas fazendas produtoras de leite no Brasil: uma análise da relação entre indicadores econômicos e ambientais / Maria Souza Lima Arantes. -- 2024.

41 f.

Orientador: Weslem Rodrigues Faria

Coorientador: Glauco Rodrigues Carvalho

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia, 2024.

1. Fazendas Leiteiras. 2. Produção de Leite. 3. Produtividade. 4. Pegada de Carbono. 5. Receita. I. Rodrigues Faria, Weslem, orient. II. Rodrigues Carvalho, Glauco, coorient. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
REITORIA - FACECON - Depto. de Economia

FACULDADE DE ECONOMIA / UFJF

ATA DE APROVAÇÃO DE MONOGRAFIA II (MONO B)

Na data de 08/07/2024, a Banca Examinadora, composta pelos professores

1 – Weslem Rodrigues Faria - orientador;

2 – Rosa Livia Gonçalves Montenegro; e

3 - Glauco Rodrigues Carvalho (EMBRAPA) - coorientador.

reuniu-se para avaliar a monografia do acadêmico Maria Souza Lima Arantes, intitulada: **Sustentabilidade nas fazendas produtoras de leite no Brasil: uma análise da relação entre indicadores econômicos e ambientais.**

Após primeira avaliação, resolveu a Banca sugerir alterações ao texto apresentado, conforme relatório sintetizado pelo orientador. A Banca, delegando ao orientador a observância das alterações propostas, resolveu APROVAR a referida monografia

ASSINATURA ELETRÔNICA DOS PROFESSORES AVALIADORES



Documento assinado eletronicamente por **Weslem Rodrigues Faria, Professor(a)**, em 10/07/2024, às 09:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Glauco Rodrigues Carvalho, Usuário Externo**, em 10/07/2024, às 09:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rosa Livia Gonçalves Montenegro, Professor(a)**, em 10/07/2024, às 12:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1854464** e o código CRC **2158637B**.

AGRADECIMENTOS

Como já dizia Santo Agostinho, “na verdade, nada existe que seja tão árduo e difícil que não se torne, com a ajuda divina, bem simples e fácil”, por isso meu primeiro e principal agradecimento é a Deus que me sustentou e meu deus a perseverança que tanto pedi até aqui. Assim como agradeço aos meus Intercessores: São Sebastião, Nossa Senhora Aparecida e minha Santinha Nhá Chica, que me ampararam por todo caminho na graduação.

Minha eterna gratidão ao meu pai Raimundo e minha mãe Vitória, por nunca medirem esforços para que eu pudesse lutar pelos meus sonhos da maneira menos árdua possível; à minha irmã Mariana e ao meu cunhado Arthur que sempre estiveram presentes e torceram e torcem por mim; ao meu namorado Yann, que esteve ao meu lado em todos os momentos, e nunca me deixou esquecer e desacreditar do meu próprio potencial; e à minha amiga de infância Lívia, que, desde os primeiros anos de vida, dividiu comigo as alegrias e as dificuldades para chegar até aqui.

Durante minha formação na UFJF pude participar de muitos projetos, fazer parte de diferentes equipes e construir amizades que me moldaram enquanto pessoa e profissional e que levarei por toda minha vida. Por isso, meus sinceros agradecimentos a todos que me acolheram de alguma forma nesse período, às pessoas que cruzaram meu caminho e que me ensinaram um pouco sobre a vida.

Agradeço também à Embrapa Gado de Leite que me proporcionou um estágio excepcional em minha área, e que hoje colho os frutos neste trabalho de conclusão de curso que tanto significa para mim. Muito obrigada aos colegas e pesquisadores que me receberam tão bem e contribuíram para a minha formação, em especial ao Thierry Ribeiro e à Vanessa Romário que me apoiaram com seus conhecimentos na execução desta pesquisa.

Serei eternamente grata a todos os professores da Faculdade de Economia por terem sido essenciais na minha formação como economista, compartilhando da melhor forma seus conhecimentos e nos dando suporte para nosso aprendizado. Sobretudo, agradeço aos meus orientadores, Dr. Weslem e Dr. Glauco, que tornaram viável a construção deste trabalho me auxiliando com todo apoio e instruções necessárias.

Por fim, meu agradecimento sincero à Universidade Federal de Juiz de Fora, não há outro lugar onde eu pudesse ter uma experiência semelhante, e a qual me orgulha tanto ter feito parte!

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo analisar fazendas brasileiras produtoras de leite com base em indicadores econômicos e sustentáveis da atividade. Foram consideradas 307 fazendas de quatro estados brasileiros: Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná, e uma base de dados com 21 variáveis para o ano de 2020 e 2021. O estudo das fazendas foi realizado a partir da implementação de dois métodos multivariados: a análise fatorial e a análise de agrupamentos. Os resultados da análise fatorial indicaram uma adequação de cinco fatores para o estudo, resumindo as relações sobre Rebanho e produção, Emissões de carbono e seus condicionantes, Pegada total de carbono, Sólidos do leite e Outras fontes de emissão. A análise de agrupamentos identificou quatro grupos distintos. Um dos grupos estaria mais relacionado a um perfil associado ao maior nível de produção e receita, juntamente com os maiores valores de produtividade do rebanho e menor pegada de carbono e emissão de metano entérico. De forma contrária, foi identificado outro grupo de fazendas caracterizadas por alta pegada de carbono e emissão de metano, com nível inferior de produção e receita, associadas aos menores valores de produtividade. Esses resultados estão de acordo com a hipótese central deste trabalho e com a literatura estudada. Ao final deste trabalho também é analisada a pegada de carbono das fazendas com base em seus arquétipos, sendo eles: a pasto, semi-confinado, orgânico, compost barn e free-stall. As fazendas que adotam o compost barn e o free-stall apresentaram a menor pegada de carbono comparado aos outros sistemas de produção.

Palavras-chave: Fazendas Leiteiras. Produção de Leite. Produtividade. Pegada de Carbono. Emissões. Receita. Custo.

ABSTRACT

This study aimed to analyze Brazilian dairy farms based on economic and sustainable indicators of the activity. A total of 307 farms from four Brazilian states—Goiás, Minas Gerais, São Paulo, and Paraná—were considered, using a dataset with 21 variables for the years 2020 and 2021. The farm analysis was conducted using two multivariate methods: factor analysis and cluster analysis. Factor analysis results indicated the adequacy of five factors for the study, summarizing relationships regarding Herd and production, Carbon emissions and their determinants, Total carbon footprint, Milk solids, and Other emission sources. Cluster analysis identified four distinct groups. One group was associated with a profile characterized by higher production levels and revenue, along with greater herd productivity and lower carbon footprint and enteric methane emissions. Conversely, another group of farms exhibited high carbon footprint and methane emissions, lower production and revenue levels, and the lowest productivity values. These findings align with the central hypothesis of this study and existing literature. Additionally, the carbon footprint of farms was analyzed based on their archetypes: pasture-based, semi-confined, organic, compost barn, and free-stall systems. Farms employing compost barns and free-stall systems showed the lowest carbon footprint compared to other production systems.

Keywords: Dairy Farms. Milk Production. Productivity. Carbon Footprint. Emissions. Revenue. Cost.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das variáveis e estatísticas descritivas.....	20
Tabela 2 - Matriz de correlação das variáveis originais.....	24
Tabela 3 - Resultado da Análise Fatorial.....	27
Tabela 4 - Média das variáveis nos grupos de fazendas produtoras de leite.....	30
Tabela 5 – Análise das Emissões de Carbono por tipo de sistema de produção.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GEE - Gases de Efeito Estufa

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agrícola

FAO - Food and Agriculture Organization

Plano ABC - Plano Setorial de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária

FPCM - Fat and Protein Corrected Milk

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - Esalq/USP

Deral - Departamento de Economia Rural

EFA - Análise Fatorial Exploratória

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
3 METODOLOGIA E BASE DE DADOS	16
3.1) Método	16
3.1.1) Análise fatorial.....	16
3.1.2) Análise de cluster multivariado	17
3.2) Base de dados.....	19
3.2.1) Dados de resultados das fazendas	21
4 RESULTADOS.....	23
4.1) Análise fatorial.....	25
4.2) Análise de agrupamento	28
4.3) Análise da emissão de carbono por sistema de produção das fazendas.....	31
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

O setor agropecuário é um grande responsável por suprir a demanda alimentar global, a qual vem crescendo ano após ano exigindo cada vez mais esforços em prol do aumento da oferta de produtos alimentícios no mundo. Porém, o aumento das produções agrícolas e pecuárias traz consigo questões ambientais relevantes e que necessitam estar cada vez mais em pauta e sendo temas de estudos que contribuam para práticas mais sustentáveis (FAO, 2019).

A atividade pecuária ao redor do mundo além de ser uma importante fonte de alimentação da população mundial, também é uma grande geradora de problemas ambientais, seja pela emissão de gás carbono na atmosfera ou pela degradação do solo pelos animais (GURGEL; LAURENZANA, 2016). Entre as produções pecuárias, o leite é um dos grandes responsáveis por gerar efeitos negativos ao meio ambiente. Cerca de 40% das emissões totais de Gases de Efeito Estufa (GEE) da pecuária no mundo são provenientes dos rebanhos de animais leiteiros (FAO, 2016). No Brasil, a agropecuária é responsável por aproximadamente 33% das emissões de GEE, e deste total 18,7% é proveniente dos rebanhos bovinos do país (BERNDT, 2023).

O setor lácteo no mundo possui significativa relevância tanto em termos econômicos, gerando renda a muitos agricultores e laticínios, quanto alimentícios, por se tratar de um insumo rico em propriedades nutricionais (FAO, 2016). Todavia, é imprescindível a busca pela mitigação dos efeitos nocivos ao meio ambiente que essa produção gera. É necessário, portanto, compreender de que forma as fazendas são capazes de manter e aumentar sua produção ao mesmo tempo em que não gere prejuízos ao ecossistema.

Freitas e Araldi (2011) destacam que o aumento da eficiência na utilização dos recursos na produção é um dos principais caminhos para alcançar a sustentabilidade da pecuária, as tecnologias que aumentem a produtividade do rebanho são importantes meios para alcançar um custo ambiental mínimo na atividade. A produção leiteira também apresenta tendência de se tornar mais eficiente, com isso as emissões de GEE por unidade do insumo também tendem a diminuir (FAO, 2019).

Muitos estudos, como os de Balaine (2020), Franks (2014) e Gurgel e Laurenzana (2016) destacaram a necessidade da adoção de tecnologias sustentáveis na pecuária leiteira, e a relação positiva que essas possuem com o uso consciente do solo e do ar atmosférico. Contudo, existem deficiências em estudos voltados para o Brasil e que analisem indicadores econômicos em relação aos de sustentabilidade na produção de leite. E, sabe-se, que o pilar

da rentabilidade das fazendas é muito importante para garantir a viabilidade em longo prazo do negócio e o funcionamento geral do processo de produção (BÁNKUT et al, 2020).

Dado o exposto, acredita-se que fazendas de maior produção, com um nível maior de produtividade, apresentem níveis mais baixos de emissão de gás carbono e metano por litro de leite produzido. Isso decorre do fato de que fazendas com essas características são dotadas de maiores planejamentos organizacionais e um sistema de gestão mais eficiente que investe em produtos e tecnologias as quais retornam poucos efeitos negativos ao meio ambiente. Além disso, o fato de a fazenda possuir um rebanho mais produtivo tem por consequência menores quantidades de gases sendo emitidos por unidade do leite que está sendo produzido.

Para testar a hipótese considerada, este trabalho se baseia nos dados econômicos e ambientais de fazendas produtoras de leite no Brasil. O principal objetivo é a caracterização da relação entre os indicadores ambientais das unidades e seus resultados de rentabilidade e produtividade, para isso serão utilizados dois métodos de Estatística Multivariada: a Análise Fatorial Exploratória e Análise de Cluster Multivariado. A definição dos métodos se baseou no fato de as análises apresentadas serem capazes de construir tipologias de determinadas variáveis, o que possibilitará a caracterização da relação entre indicadores econômicos e ambientais das fazendas. Ao final, é também realizada uma análise descritiva dos dados sobre os arquétipos das fazendas no que tange aos seus níveis de emissão de carbono na atividade leiteira, de forma a complementar e contribuir para as conclusões do estudo.

A base de dados utilizada é inerente a um trabalho realizado pela Embrapa Gado de Leite contendo dados da produção de leite de 307 fazendas brasileiras nos anos de 2020 e 2021. Essa pesquisa conta com informações acerca da quantidade de gás carbono emitida por essas fazendas nesses períodos, as fontes dessa emissão dentro do processo de produção, a quantidade de leite produzida por elas, os níveis de produtividade do rebanho entre outros dados também relevantes para o trabalho.

Este estudo lança luz sobre a necessidade de tornar a pecuária leiteira mais sustentável e menos prejudicial ao meio ambiente, contribuindo para que políticas e ações públicas sejam repensadas e formuladas, de forma a construir um setor mais consciente sobre seus impactos ambientais e que direcione esforços para tornar a atividade mais eficiente e sustentável. Portanto, a importância das premissas aqui estudadas decorre dos impactos diretos ao bem-estar animal e social e ao comprometimento da qualidade de vida de gerações futuras que estão sendo provocados pelos problemas ambientais ocorridos atualmente (BALAINE, 2020). Além disso, contribui positivamente para a continuação da produção do setor leiteiro de forma sustentável, sabendo de tamanha importância do mesmo a níveis globais, pois, como

destaca o relatório da FAO (2019), os produtos derivados do leite são importantes na busca pelo fim da fome no mundo, pela segurança alimentar da população e no melhoramento nutricional das dietas da população.

O presente documento conta com 5 seções sobre o estudo acerca dos indicadores de produção, sustentabilidade e econômicos das fazendas leiteiras. Na próxima seção é realizada uma revisão de literatura, de forma a entender as lacunas que precisam ser preenchidas na compreensão do tema proposto. Posteriormente, na terceira seção são explicadas as metodologias e a base de dados utilizada na pesquisa. A seção seguinte por sua vez, expõe os resultados das análises estatísticas e suas conclusões, enquanto a quinta seção apresenta a análise dos sistemas de produção das fazendas. O trabalho finaliza na seção de considerações finais com as principais conclusões da pesquisa em questão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Há tempos muitos avanços ocorreram na vida em sociedade e trouxeram consigo necessidades e desafios diferentes a serem superados, como é o caso do setor alimentício. Para 2050, prevê-se que a procura por alimentos a nível global se duplique com o aumento da população mundial, com isso os sistemas de produção agrícola precisarão se adaptar para fornecer alimento suficiente para essa demanda em crescimento (FAO, 2019). Para além do aumento da produção de alimentos, outra prioridade importante ao setor é a conservação dos recursos naturais, como a água e a terra, e dos recursos energéticos, por meio da redução de gases de efeito estufa.

Entende-se que os produtos lácteos representam um grande passo para o abastecimento de toda a população global em constante crescimento e para alcançar o fim da fome no mundo, sendo capaz de garantir segurança alimentar em todas as partes do globo (FAO, 2019). No ano de 2022, o leite foi considerado a *commodity* mais produzida mundialmente, pouco menos de 40 países o tem como principal produto agrícola (MILKPOINT, 2022). Ademais, o leite e seus derivados são responsáveis por 14% do mercado agrícola global, além de serem importantes alimentos por possuírem altas concentrações de nutrientes e vitaminas, que se revertem em energia, proteínas e micronutrientes para o ser humano (FAO, 2016).

No que tange ao cenário brasileiro, a agricultura é um âmbito muito importante para a economia do país, sendo responsável por aproximadamente 22% do seu produto interno bruto (BÁNKUT *et al*, 2020). E ainda, mais especificamente sobre a pecuária leiteira, o Brasil é o quarto maior produtor de leite do mundo e a produção desse produto gera muitos empregos ao redor de todo território nacional e estimula o crescimento das zonas rurais brasileiras, como cita Bánkut *et al* (2020).

Apesar do cenário se mostrar muito promissor, o setor pecuário, responsável pela produção dos lácteos, também gera muitos efeitos nocivos ao meio ambiente, tal como as emissões de gases de efeitos estufa, também conhecidos como GEEs. No que diz respeito à emissão desses gases em território brasileiro, em 2016 o setor agropecuário foi responsável por 18,4% das emissões totais. Sendo, portanto, considerado o maior setor emissor de GEE, juntamente ao setor de energia, o qual tem um peso ainda maior nas emissões, responsável por 73,2% deste total (BERNDT, 2023). O aumento da presença desses gases na atmosfera é uma das principais causas das mudanças climáticas no planeta, visto o potencial de aumento do aquecimento global e do efeito estufa como o próprio nome sugere (OLIVEIRA, *et al*, 2011).

O efeito estufa é um fenômeno natural que regula a temperatura da superfície terrestre e mantém as condições ideais para a existência de vida no planeta. No entanto, o progresso da civilização humana é identificado como a principal causa do aumento da temperatura global e das perturbações nos ciclos naturais que resultam na deterioração da capacidade do efeito estufa de reter calor na atmosfera (OLIVEIRA, 2022). Dessa forma, o rebanho leiteiro é um grande contribuinte ao aumento desse efeito por meio dos seus muitos processos biológicos complexos. Esses animais produzem cerca de 40% das emissões globais de toda a pecuária (FAO, 2016).

Essa problemática também se debruça sobre teorias econômicas fortemente propagadas entre os formuladores de políticas, Stiglitz (2003) aponta a contaminação do ar como um exemplo clássico de externalidade negativa, a qual uma pessoa, empresa ou setor impõe custos sociais a outros agentes que não participam de determinado mercado. Isso gera ineficiência e perda de bem-estar social, e com a maior parte dos custos não recaindo sobre os agentes responsáveis pela atividade, eles acabam por realizá-la em excesso.

Do mesmo modo como a pecuária produz efeitos negativos ao aquecimento global, as mudanças climáticas também se revertem em problemas para a própria produção leiteira de muitas maneiras, como no desempenho e no bem-estar dos animais, nos impactos na quantidade e na qualidade da produção de forragens e rações, entre outros (FAO, 2019). Pesquisas enfatizam que a intensificação da produção, por meio do aumento da produtividade do rebanho, é um dos meios mais promissores para reduzir a emissão de poluentes na atmosfera (OLIVEIRA, 2022). Para mais, de acordo com Balaine (2020) “A intensificação sustentável é vista como um meio importante para enfrentar os principais desafios encontrados pelo sistema alimentar global, como segurança alimentar, degradação ambiental e questões de saúde e bem-estar animal.”.

Um estudo realizado por Bánkut *et al.* (2020) para o estado do Paraná, identificou uma relação positiva entre a escala de produção e os pilares da sustentabilidade – econômico, ambiental e social. O estudo foi realizado por meio de questionários aplicados em fazendas produtoras de leite na região mencionada, e as informações foram analisadas por meio da Análise Fatorial Exploratória, “EFA”. Um dos principais resultados encontrados é de que fazendas de maior porte apresentaram maiores índices de sustentabilidade ambiental, e, segundo os autores, esse fator pode ser proveniente de seus maiores desempenhos econômico, visto que com mais recursos disponíveis as demandas ambientais podem ser mais bem atendidas.

Ademais, segundo Broom (2017) é crescente a demanda dos consumidores pelo uso eficiente dos recursos disponíveis mundialmente e a diminuição dos efeitos adversos que afetam o bem-estar humano, animal e ambiental pelo setor de produção animal. Mas, em contrapartida, práticas sustentáveis na produção leiteira que não apresentam benefícios facilmente percebidos pelos consumidores são dificilmente aceitas e valorizadas (NASPETTI,2021).

Assim, é um potencial da pecuária mitigar as suas emissões de GEE na atmosfera por meio de estratégias eficientes na alimentação, no manejo de dejetos, na utilização da pastagem, no melhoramento genético, no confinamento, na utilização de tecnologias na produção; bem como através de maiores planejamentos e gestão mais eficiente dos sistemas de produção. Com isso, seria passível de melhorar também a viabilidade financeira do empreendimento partindo do pressuposto que com o melhor uso dos recursos disponíveis se produz mais em menor período de tempo (OLIVEIRA, 2022; BALAINE, 2020; FRANKS, 2014). O relatório da FAO (2019) aponta que o setor lácteo é uma das respostas para o enfrentamento dos impactos gerados pela produção de alimentos no aquecimento global, sendo necessária a transição para um setor sustentável de baixo carbono.

Um estudo empírico sobre a agricultura de baixo carbono foi realizado por Gurgel e Laurenzana (2016), para o Brasil. Os autores fizeram uma análise sobre o Plano ABC (Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) instituído no país para os anos de 2010 a 2020 e de 2020 a 2030. Através de um modelo de Equilíbrio geral computável os pesquisadores puderam comprovar que o incentivo à adoção de tecnologias de baixa emissão de gases de efeito estufa por parte das autoridades pode reduzir a poluição ambiental e amenizar os custos deste processo para o produtor. Além disso, os resultados da pesquisa mostraram que até 2050, com a adoção de políticas de tecnologias sustentáveis, a pecuária seria um dos âmbitos do agronegócio capaz de diminuir significativamente suas emissões de gás carbono ao meio ambiente. Todos esses resultados reforçam a importância de estudos para compreender o papel dos agentes econômicos diante do cenário de degradação dos recursos naturais disponíveis.

Assim sendo, a pesquisa em questão complementa a literatura já existente por meio da análise das fazendas produtoras de leite no Brasil, de modo a caracterizar a relação entre os indicadores de rentabilidade e produtividade com as emissões totais de carbono por essas unidades de produção. Os resultados obtidos poderão contribuir positivamente para as tomadas de decisão acerca de investimentos mais sustentáveis na pecuária de leite, a fim de

apoiar a busca por uma produção com menos impactos nocivos ao meio ambiente e mais positiva para o próprio produtor e para o setor como um todo.

3 METODOLOGIA E BASE DE DADOS

Neste capítulo será apresentado o método principal de pesquisa do estudo em questão. O primeiro tópico trata da metodologia empregada para alcançar os resultados que serão apresentados na seção quatro deste trabalho, e posteriormente é apresentada a base de dados utilizada.

3.1) Método

Para alcançar o principal objetivo, que consiste em gerar uma tipologia das fazendas produtoras de leite com base em indicadores de emissão de gás carbono e de rentabilidade das unidades, serão utilizados dois métodos multivariados: a análise fatorial e posteriormente uma análise de *cluster* multivariado.

3.1.1) Análise Fatorial

Segundo Hair *et. al* (2009), “a análise fatorial é uma técnica de interdependência cujo propósito principal é definir a estrutura inerente entre as variáveis na análise”. Esse método reduz o número original de variáveis de forma que esses fatores independentes extraídos possam explicar, de modo simples e reduzido, as variáveis originais. Por meio desse método, as variáveis presentes na base de dados serão definidas como uma combinação linear dos fatores comuns entre elas, os quais poderão explicar a variância de cada variável, mais um desvio que resume a variância total não representada por tais fatores (HAIR *et al*, 2009).

A análise fatorial por meio de uma matriz de correlação relaciona linearmente as variáveis padronizadas Z e os m fatores comuns desconhecidos:

$$Z_1 = l_{11}F_1 + l_{12}F_2 + \dots + l_{1m}F_m + \epsilon_1 \quad (1)$$

$$Z_p = l_{p1}F_1 + l_{p2}F_2 + \dots + l_{pm}F_m + \epsilon_p \quad (2)$$

em formato de notação matricial tem-se:

$$D(X - \mu) = LF + \epsilon \quad (3)$$

sendo D uma matriz diagonal $p \times p$ dos inversos da variância de cada variável, onde X representa as variáveis explicativas e μ as médias dessas variáveis, $eF_{m \times l}$ um vetor aleatório que contém m fatores não observáveis ($l \leq m \leq p$). Este modelo irá assumir que as variáveis Z_i estão linearmente relacionadas com outras novas variáveis aleatórias F_j (fatores). O coeficiente da i -ésima variável padronizada Z_i será l_{ij} (*loading*) no j -ésimo fator F_j , esse valor representa o grau da relação linear entre essa variável Z_i e o fator F_j . Informações das p variáveis originais padronizadas em Z serão representadas por $(p+m)$ variáveis não observadas no modelo (ε e F).

A forma de interpretação dos fatores F_1, F_2, \dots, F_m do modelo pode não ser tão trivial por conta de resultados muito próximos dos valores dos coeficientes l_{ij} em fatores distintos - é o caso da violação da ortogonalidade dos fatores. Realiza-se então uma transformação ortogonal dos fatores originais para obter estruturas mais simples. A rotação ortogonal irá preservar a orientação original entre os fatores F_1, F_2, \dots, F_m , de forma a mantê-los perpendiculares.

Neste estudo, aplicaremos o método de rotação VARIMAX. O coeficiente ' l_{ij} ' da matriz L será estimado através do método dos componentes principais. Desta forma, o primeiro fator é responsável pela maior parte da variância comum, e assim por diante. Podemos explicar as etapas gerais envolvidas na análise fatorial da seguinte maneira.

1. Efetuar o cálculo da matriz de correlação entre todas as variáveis.
2. Determinar o número de fatores e extraí-los.
3. Rotacionar os fatores para tornar mais fácil as suas interpretações.
4. Selecionar um número adequado de fatores com base no critério de autovalor (fatores com raiz característica maior que um) ou levando em consideração a proporção adequada da variância comum.
5. Cálculo dos escores fatoriais.

Os escores fatoriais resultantes serão posteriormente aplicados em um segundo método de análise, a análise de cluster, para identificar a presença de grupos heterogêneos de fazendas produtoras de leite.

3.1.2) Análise de Cluster Multivariado

A segunda etapa utilizada envolve técnicas de análise de cluster. Esta é, pela sua natureza, uma análise exploratória que visa identificar grupos distintos dentro de um grande conjunto de dados. Nessa perspectiva, esta análise oferece a oportunidade de resumir a

quantidade de informações, identificar valores extremos (outliers) e fazer suposições sobre a relação entre as variáveis. O algoritmo a ser utilizado para agrupar os elementos, neste caso fazendas, em categorias semelhantes é baseado num conjunto de k variáveis associadas. Os critérios de agrupamento dos elementos baseiam-se na sua proximidade. Isso é medido usando uma métrica de similaridade. Neste contexto, utilizaremos a medida de distância euclidiana mais utilizada, que é expressa na seguinte fórmula:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (4)$$

Aqui $X_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, x_{i,3}, \dots, x_{i,k})$ e $X_j = (x_{j,1}, x_{j,2}, x_{j,3}, \dots, x_{j,k})$ são vetores de atributos. A análise de cluster pode ser dividida em duas abordagens: abordagem hierárquica e abordagem de partição. Nesta pesquisa será adotado apenas o método hierárquico, o que significa que os itens são agrupados sequencialmente com base em suas semelhanças, e subgrupos e grupos são formados com base na influência das semelhanças encontradas em cada etapa. Dentre as técnicas hierárquicas disponíveis, foi selecionado o método de Ward, que se baseia no critério de mínima variância. Neste método, cada elemento é considerado como um cluster separado, e cada etapa do algoritmo de cluster calculam a soma dos quadrados dentro de cada cluster, e a distância euclidiana é o quadrado de cada elemento do cluster em relação ao vetor médio. Corresponde ao cluster:

$$SS_i = \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \underline{X}_i)'(X_{ij} - \underline{X}_i) \quad (5)$$

onde n_i é o número de elementos do cluster C_i na etapa k do processo de agrupamento, X_{ij} é o vetor de observação do j -ésimo elemento do i -ésimo cluster, a média \underline{X}_i é o centroide do cluster C_i e SS_i é a soma dos quadrados no cluster C_i . No passo k , a soma dos quadrados nos grupos é dada por:

$$SSR = \sum_{j=1}^{g_k} SS_i \quad (6)$$

Onde g_k é o número de grupos no passo k .

A distância entre os clusters C_l e C_i é a soma dos quadrados entre os clusters C_l e C_i , determinada da seguinte forma:

$$d(C_1, C_2) = \left[\frac{n_l n_i}{n_l + n_i} \right] (\underline{X}_l - \underline{X}_i)' (\bar{X}_l - \bar{X}_i) \quad (7)$$

Esta medida de distância corresponde à diferença entre o valor de SSR após a combinação dos clusters C_l e C_i em um único cluster e o valor de SSR antes da combinação. Em cada etapa, este método combina os dois clusters que produzem o menor valor de SSR.

No entanto, as distâncias utilizadas no método de Ward levam em consideração as diferenças nos tamanhos dos clusters comparados. Quanto maior o valor de n_l e n_i e maior a diferença entre eles, maior será o valor do coeficiente de ponderação, aumentando a distância entre os centroides dos clusters comparados.

É importante ressaltar que o método de Ward não se baseia na suposição de que os dados provêm de uma população normalmente distribuída, basta que as p-variáveis sejam quantitativas e capazes de calcular as médias.

3.2) Base de Dados

A base de dados utilizada na pesquisa é oriunda da Embrapa, formulada através de pesquisa realizada junto a produtores de leite de 307 fazendas nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Paraná. Essas unidades estão localizadas em regiões representativas para a produção de leite nacional, de acordo com dados da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2022 os quatros estados citados acima representaram juntos 53% da produção nacional, enfatizando a importância dessas localidades para a atividade no país. Os dados estão disponíveis para o ano de 2020 e 2021, sendo 17 fazendas em 2020, 6% do total, e 290 em 2021, 94% das informações. O conjunto também conta com informações gerais das fazendas produtoras tais como: latitude, longitude, clima, arquetipo e o tipo de manejo de dejetos utilizado.

As variáveis que são utilizadas neste trabalho estão subdivididas em cinco grupos, que foram formados de acordo com os tipos de informações disponíveis na base de dados, sendo eles: Produção, Rebanho, Alimentação, Emissões de GEE e Resultados, sendo este último grupo apresentado no próximo tópico desta seção.

Dentre as variáveis de produção, estão: a quantidade de gordura e proteína no leite, o total da produção anual de leite em quilos e em FPCM, e a produtividade das vacas por dia. No que diz respeito ao rebanho, estão contabilizadas a porcentagem de vacas em lactação em valores percentuais e absolutos no rebanho, a quantidade de bezerras, novilhas e o rebanho total em números absolutos. As variáveis de alimentação apontam a porcentagem de

digestibilidade das vacas em lactação, e as quantidades em quilos de volumoso e de concentrado consumidos por ano. No âmbito das emissões de GEE das fazendas, as variáveis disponíveis são inerentes à pegada de carbono, à emissão de metano entérico, bem como a quantidade de gás carbono emitido por diferentes fontes: emissão de dejetos, emissão na alimentação com origem interna e externa à fazenda, e outras emissões que consideram o uso de energia e transporte. A Tabela 1 apresenta todas as variáveis e suas respectivas descrições, bem como as estatísticas descritivas de Média, Desvio-Padrão e os valores de Mínimo e Máximo para cada variável da base de dados apresentada anteriormente.

Tabela 1 - Descrição das variáveis e estatísticas descritivas dos indicadores selecionados das fazendas produtoras de leite – 2020/2021

Variável	Descrição	Média	Desvio-Padrão	Mínimo	Máximo
Gord	Quantidade de gordura presente no leite produzido (%)	3,81	0,27	2,95	4,80
Prot	Quantidade de proteína presente no leite produzido (%)	3,26	0,14	2,95	3,97
Prod_KG	Total anual da produção de leite (Kg)	473.499,00	449.503,70	34.778,98	2.898.211,00
Prod_FPCM	Total anual da produção de leite (FPCM)	455.621,60	428.598,90	31.353,95	3.129.233,00
Prodtv	Produtividade diária do rebanho: Total de litros de leite/vaca/dia	19,52	7,08	5,60	39,95
Vac_Lact	Quantidade de vacas em lactação no total do rebanho (%)	45,13	8,04	14,29	82,10
Bezer	Quantidade absoluta de bezerras no rebanho	30,02	26,26	1,00	210,00
Nov	Quantidade absoluta de novilhas no rebanho	33,19	31,51	-	228,00
Vac_Lac	Quantidade absoluta de vacas em lactação no rebanho	62,57	49,96	9,00	523,00
Reb	Quantidade absoluta de animais no rebanho	141,56	104,17	17,00	676,00
Digtb_VacaLac	Valor da digestibilidade das vacas em lactação (%)	64,52	2,56	60,27	78,31
Volum	Quantidade de volumoso consumido na alimentação por quilo de leite no ano (Kg)	390.173,40	310.031,70	21.900,00	1.827.190,00
Concent	Quantidade de concentrado consumido na alimentação por quilo de leite produzido no ano (Kg)	191.822,00	200.561,80	6.935,00	1.337.433,00
Peg_Carb	Total das emissões de carbono no ano pela fazenda (Kg)	1,68	0,78	0,61	8,89
Met_Ent	Total das emissões de metano por quilo de leite no ano pela fazenda (Kg)	0,80	0,37	0,33	3,75
Em_Dej	Total de carbono emitido pelos dejetos do rebanho por quilo de leite no ano (Kg)	0,15	0,08	0,03	0,86
Em_Alím_on	Total de carbono emitido pela alimentação com origem interna à fazenda por quilo de leite no ano (Kg)	0,19	0,60	-	7,98
Em_Alím_off	Total de carbono emitido pela alimentação com origem externa à fazenda por quilo de leite no ano (Kg)	0,51	0,27	0,06	1,27

Em_Out	Total de carbono emitido por outras fontes (energia, transporte) por quilo de leite no ano (Kg)	0,03	0,06	-	0,39
Cust_Alím	Custo calculado para a alimentação do rebanho considerando os cálculos para concentrado (R\$)	346.842,60	361.417,80	12.755,65	2.459.961,00
Rec_Leite	Receita anual obtida com a produção de leite (R\$)	1.018.242,00	965.367,20	76.083,95	6.340.247,00

Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.1) Dados de Resultados das Fazendas

As variáveis relativas ao quinto grupo de Resultados, que dizem respeito a indicadores financeiros das fazendas, são cruciais para a caracterização das fazendas com base nos indicadores ambientais, visto que os dados de custo e receita das fazendas serão caracterizados juntamente aos níveis de emissão da produção. Esses dados foram calculados a partir de métricas ou procedimentos adotados por outras fontes de dados e estudos para balizar a estimativa de custo com alimentação e de receita do leite.

O cálculo do indicador de custo das fazendas utilizado no trabalho se baseou na alimentação do rebanho, mais especificamente em uma *proxy* de custos totais com o consumo de concentrado (milho e soja) utilizado como um dos principais alimentos para as vacas. Essa decisão considerou resultados de estudos empíricos como os de Reis, Medeiros e Monteiro (2001) e Sabbag e Costa (2015), que apresentaram estimativas sobre o significativo peso da alimentação do rebanho no custo total da produção do leite.

Moraes e Filho (2016) realizaram um estudo sobre o impacto de políticas de estímulo à produção e analisaram os efeitos de aumentos de subsídios para a atividade leiteira. Nesse trabalho, os autores enfatizam que dentre os custos envolvidos na produção de leite, os custos relativos à alimentação do rebanho representam cerca de 40% a 60% do total. E destacando ainda mais o peso dos insumos, esse estudo indicou que políticas de estímulo à produção de leite afetariam também outras atividades agrícolas, como a da soja e do milho, exatamente por serem insumos tão importantes na atividade para a alimentação do rebanho.

Ademais, segundo a Embrapa (2023) o peso dos custos apenas com concentrado na alimentação (milho e soja) é o maior dentre todos os outros custos envolvidos na produção do leite, representando aproximadamente 39,7% do custo total.

A base de dados inclui o consumo de concentrado em quilos por ano para a alimentação dos rebanhos das fazendas. Para a análise deste trabalho foram consideradas informações sobre os preços do milho e da soja para os anos de 2020 e 2021. O preço do milho utilizado foi extraído da base de dados do Centro de Estudos Avançados em Economia

Aplicada (CEPEA, 2023), e os dados de referência do preço da soja foram coletados da plataforma do Departamento de Economia Rural do Estado do Paraná (DERAL, 2023). Dessa forma, foi calculado o custo total com concentrado na alimentação do rebanho das fazendas, multiplicando o preço do quilo do concentrado pelo total consumido pelas fazendas no ano, também em quilos.

Do mesmo modo, a última variável de Receita contou com dados do preço do leite ao produtor, coletados também a partir da base de dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2023) para os anos de 2020 e 2021, o qual foi relacionado com a produção total de leite, que consta na base de dados da Embrapa e já foi citada acima dentro do primeiro grupo de dados relativo à “Produção”. Dessa forma, foi possível encontrar a receita oriunda da produção leiteira de cada unidade.

Com base nesses dados de custo e receita, foi possível analisar o comportamento rentável da atividade a partir da análise da emissão de GEE, bem como a dinâmica entre esses indicadores para cada uma das unidades produtoras de leite estudadas.

4 RESULTADOS

O principal objetivo desta pesquisa é desenvolver uma tipologia das propriedades leiteiras analisadas a partir de indicadores econômicos, de produção e ambientais. Inicialmente, a partir da tabela 1, observou-se que as fazendas produzem em média 470 mil quilos de leite por ano e 1,68 quilogramas de carbono por quilo de leite produzido.

A finalidade da técnica de análise fatorial multivariada é descrever as relações das variáveis originais, extraindo suas características comuns ou associações dos coeficientes da matriz de correlação. A eficácia deste método refere-se ao tamanho e à significância estatística das correlações positivas ou negativas entre as variáveis originais. Altas correlações entre certas variáveis devem levar a altas cargas fatoriais e comunalidades em certos fatores latentes.

É importante ressaltar que, se a matriz de correlação mostrar que a maioria dos coeficientes não é significativamente diferente de zero, isso indica a formação de fatores comuns entre variáveis com alta variância específica. Nestas situações, as variáveis não seriam bem explicadas pelos respectivos fatores. Portanto, Hair et al. (2009) recomendam uma análise preliminar da matriz de correlação. A Tabela 2 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis utilizadas para caracterizar as propriedades leiteiras. Aproximadamente 52% dos 231 coeficientes da matriz de correlação foram estatisticamente significativos pelo menos ao nível de 1%, o que sugere que a estrutura de dados deste estudo é adequada para a análise fatorial.

Tabela 2 – Matriz de correlação das variáveis originais

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1 Gord	1,00																				
2 Prot	0,609*	1,00																			
3 Prod_kg	-0,250*	-0,019	1,00																		
4 Prod_fpcm	-0,203*	0,019	0,997*	1,00																	
5 Prodtv	-0,26*	-0,134*	0,563*	0,546*	1,00																
6 Vac_lact	0,056	0,114*	0,138*	0,149*	0,110	1,00															
7 Bezer	-0,156*	-0,049	0,647*	0,637*	0,246*	-0,322*	1,00														
8 Nov	-0,135*	-0,071	0,589*	0,584*	0,165*	-0,416*	0,628*	1,00													
9 Vaca_lac	-0,104	0,070	0,889*	0,907*	0,215*	0,159*	0,591*	0,595*	1,00												
10 Reb	-0,141*	0,002	0,850*	0,856*	0,207*	-0,157*	0,792*	0,821*	0,915*	1,00											
11 Digtb	-0,084	0,020	0,339*	0,335*	0,385*	0,072	0,247*	0,251*	0,233*	0,254*	1,00										
12 Volume	-0,177*	-0,014	0,823*	0,821*	0,274*	-0,100	0,702*	0,756*	0,836*	0,909*	0,148*	1,00									
13 Concent	-0,110	0,026	0,816*	0,828*	0,350*	0,083	0,614*	0,582*	0,833*	0,808*	0,461*	0,655*	1,00								
14 Peg_carb	0,018	0,037	-0,197*	-0,191*	-0,433*	-0,212*	-0,026	0,020	-0,058	-0,007	-0,189*	-0,051	-0,112*	1,00							
15 Met_ent	0,153*	0,080	-0,425*	-0,414*	-0,735*	-0,435*	-0,122*	0,008	-0,199*	-0,095	-0,439*	-0,172*	-0,29*	0,552*	1,00						
16 Em_dej	-0,023	0,014	-0,212*	-0,211*	-0,473*	-0,358*	-0,038	0,084	-0,088	0,009	-0,208*	-0,072	-0,131*	0,488*	0,806*	1,00					
17 Em_alim_on	-0,071	0,012	0,012	0,013	-0,059	0,052	-0,012	-0,002	0,034	0,013	-0,011	0,018	-0,005	0,758*	-0,002	-0,005	1,00				
18 Em_alim_off	0,004	-0,030	0,064	0,065	0,040	-0,020	0,143*	0,024	0,063	0,086	0,161*	0,072	0,113*	0,311*	-0,033	-0,007	-0,002	1,00			
19 Em_out	0,008	-0,022	-0,042	-0,041	-0,002	0,020	-0,043	0,007	-0,010	-0,022	-0,055	0,000	-0,023	0,009	0,019	0,035	-0,022	-0,182*	1,00		
20 Custo	-0,093	0,031	0,807*	0,820*	0,339*	0,075	0,609*	0,586*	0,831*	0,808*	0,461*	0,646*	0,994*	-0,115*	-0,281*	-0,123*	-0,006	0,111	-0,018	1,00	
21 Receita	-0,241*	-0,016	0,997*	0,996*	0,550*	0,133*	0,645*	0,597*	0,893*	0,855*	0,337*	0,824*	0,815*	-0,192*	-0,417*	-0,203*	0,013	0,062	-0,038	0,813*	1,00

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota:* Indica que os coeficientes são significativos a pelos menos 1%.

4.1) Análise Fatorial

Os resultados da análise fatorial pelo método de componentes principais são apresentados na Tabela 3. O teste de esfericidade de Bartlett foi significativo, o que mostrou que a matriz de correlação entre as variáveis é estatisticamente diferente da matriz identidade da mesma categoria. O índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) foi de 0,57, indicando adequação regular dos dados para análise fatorial. No entanto, em geral, a comunalidade das variáveis foi elevada. Das 21 variáveis estudadas, apenas sete tiveram comunalidade abaixo de 0,70.

O número de autovalores selecionados atende a dois critérios tradicionais. O primeiro é o critério de Kaiser, onde os fatores selecionados possuem um autovalor igualmente grande, o que garante que cada fator preserve pelo menos uma informação da variável original. Outro critério é selecionar fatores que cumulativamente respondam por pelo menos 70% da variação no conjunto de dados. Com base nesses critérios foram selecionados cinco fatores que, juntos, explicam 77% da variância das variáveis. A Tabela 3 também mostra as cargas fatoriais rotacionadas pelo método Kaiser Varimax.

O primeiro fator da Tabela 3 resume aspectos da produção pecuária nas fazendas, incluindo produção total de leite em quilogramas e FPCM, número de bezerras, novilhas, vacas em lactação em quantidade absoluta, número total de animais no rebanho, consumo de volumoso e concentrado, bem como os custos e a receita do leite, que estão intimamente relacionados com o consumo de alimentos e com o nível de produção, respectivamente. Além disso, as variáveis que compõem este fator são as mais importantes na caracterização das fazendas, explicando 39,15% da variância dos dados. Portanto, esse fator agrupa variáveis relacionadas ao rebanho e à produção desses animais, denominado, portanto, “rebanho e produção”.

Os coeficientes do primeiro fator indicam que a produção está positivamente relacionada com a quantidade de animais no rebanho e com o consumo de volumoso e concentrado desses animais. Ou seja, quanto maior o rebanho e o consumo de alimentos, maior será a produção total de leite da fazenda. Além disso, o custo com alimentação tem relação positiva com o consumo de concentrado, pois este primeiro é resultado do consumo em questão, assim como a receita do leite também depende positivamente da produção total, visto que maiores quantidades de leite produzido vão gerar, conseqüentemente, maior receita para o produtor.

O segundo fator é, por sua vez, um dos mais importantes para a análise da emissão de GEE das fazendas. Explicando 14,66% da variância dos dados, este fator engloba variáveis de produtividade total do rebanho, porcentagem de vacas em lactação no total do rebanho, as emissões de metano por quilo de leite e emissões de carbono por dejetos, também por quilo de leite produzido. As cargas fatoriais indicam que quanto menor a produtividade do rebanho, maiores serão as emissões tanto de gás metano quanto de carbono gerado pelos dejetos dos animais. Essa mesma interpretação vale para o percentual de vacas em lactação do rebanho, que se apresentou negativamente relacionada com o nível de emissões de metano e carbono por dejetos.

Dessa forma, este fator é caracterizado como “Emissões e condicionantes”, e seus resultados aprovam a hipótese de que aumentos na produtividade contribuem para a redução da emissão de GEE nomeio ambiente pela atividade leiteira. Para mais, a análise também está de acordo com estudos como o de Oliveira (2022), o qual enfatiza que a intensificação da produção, por meio do aumento da produtividade do rebanho, é um dos meios mais promissores para reduzir a emissão de poluentes na atmosfera.

A seguir, o terceiro fator explica 8,76% da variância dos dados e é composto pelas variáveis de pegada de carbono total e emissão de carbono pela alimentação do rebanho com origem interna à fazenda. A relação positiva entre as cargas indica que maiores quantidades de carbono emitido pela alimentação dos animais surtirão efeitos positivos e significativos no carbono total emitido pelas unidades. Este fator é denominado, portanto, como “Pegada total de carbono”.

O quarto fator tem peso de 8,41% na explicação da variância dos dados e engloba as variáveis referentes à quantidade de sólidos presentes no leite, gordura e proteína, produzido pelas fazendas, por isso o fator foi chamado de “Sólidos do leite”. Ambas as variáveis estão positivamente correlacionadas uma à outra.

Por fim, o quinto fator compreende outras fontes emissoras de carbono, como é o caso das emissões pela alimentação do rebanho com origem externa à fazenda e as emissões por fontes alternativas como a utilização de energia e transporte. A carga negativa das emissões por outras fontes indica que quanto maior a emissão pela alimentação com origem externa à fazenda, menor será a emissão por fontes alternativas como energia e transporte. Este fator representa apenas 6,40% da variância dos dados e foi denominado como “Outras fontes de emissão”. É importante destacar, ao final, que a variável de digestibilidade das vacas em lactação não se encaixou em nenhum fator formado no modelo, devido à baixa relação no que tange a sua variância com as outras variáveis da análise.

Tabela 3 – Resultado da Análise Fatorial

Variável	Descrição	Fatores					Comunalidades
		1	2	3	4	5	
Prod_kg	Total anual da produção de leite (Kg)	0,93					0,9481
Prod_fpcm	Total anual da produção de leite (FPCM)	0,9366					0,9513
Bezer	Quantidade absoluta de bezerras no rebanho	0,7531					0,6851
Nov	Quantidade absoluta de novilhas no rebanho	0,7582					0,7358
Vaca_lac	Quantidade absoluta de vacas em lactação no rebanho	0,939					0,9117
Reb	Quantidade absoluta de animais no rebanho	0,9709					0,9695
Volum	Quantidade de volumoso consumido na alimentação por quilo de leite no ano (Kg)	0,8964					0,8186
Concent	Quantidade de concentrado consumido na alimentação por quilo de leite produzido no ano (Kg)	0,8815					0,8211
Custo	Custo calculado para a alimentação do rebanho considerando os cálculos para concentrado (R\$)	0,8789					0,815
Receita	Receita anual obtida com a produção de leite (R\$)	0,9334					0,9474
Prodtv	Produtividade diária do rebanho: Total de leite/vaca/dia		-0,6335				0,6819
Vac_lact	Quantidade de vacas em lactação no total do rebanho (%)		-0,699				0,6896
Met_ent	Total das emissões de metano por quilo de leite no ano pela fazenda (Kg)		0,8937				0,9004
Em_dej	Total de carbono emitido pelos dejetos do rebanho por quilo de leite no ano (Kg)		0,7833				0,6497
Peg_carb	Total das emissões de carbono no ano pela fazenda (Kg)			0,8719			0,9814
Em_alim_on	Total de carbono emitido pela alimentação com origem interna à fazenda por quilo de leite no ano (Kg)			0,9066			0,8354
Gord	Quantidade de gordura presente no leite produzido (%)				0,8555		0,7696
Prot	Quantidade de proteína presente no leite produzido (%)				0,8628		0,747
Em_alim_off	Total de carbono emitido pela alimentação com origem externa à fazenda por quilo de leite no ano (Kg)					0,7385	0,6021
Em_out	Total de carbono emitido por outras fontes (energia, transporte) por quilo de leite no ano (Kg)					-0,566	0,3254
Digtb_vacalac	Valor da digestibilidade das vacas em lactação (%)						0,4657
Autovalores		8,22	3,08	1,84	1,77	1,34	
Proporção da variância acumulada		39,15	53,81	62,57	70,99	77,39	

Teste de esferecidade de Bartlett: 14765,60 (p-value = 0,000)

4.2) Análise de Agrupamento

Uma técnica de agrupamento hierárquico aglomerativo foi utilizada para identificar uma tipologia de características das fazendas leiteiras. A análise de grupos permitiu combinar fazendas com base na similaridade entre elas, levando em consideração as 21 variáveis analisadas. Este método tende a agrupar itens semelhantes nos mesmos grupos, enquanto os diferentes grupos formados tendem a ser diferentes entre si. Os resultados obtidos pelo método de aglomeração hierárquica de Ward mostraram a formação de quatro grupos. Esses resultados são apresentados na Tabela 4, que apresenta o valor médio de cada variável em cada grupo.

O grupo 1 compreende 54 fazendas das 307 analisadas, 18% das unidades totais. A média de produção dessas fazendas é de aproximadamente 980 mil quilos de leite por ano, com produtividade de 26,2 litros de leite por vaca, por dia. Em média, 45% das vacas do rebanho dessas fazendas estão em lactação, ou seja, produzindo leite. A pegada de carbono entérico desse grupo é a segundo maior entre os quatro estudados, enquanto a emissão de metano é a segunda menor. Quanto aos custos com alimentação, essas fazendas gastam em média 737 mil reais por ano com concentrado para o rebanho, e os retornos com o leite são de 2,1 milhões de reais ao ano, a segunda maior receita entre os grupos.

O segundo grupo da tabela compreende apenas 10 fazendas da base de dados utilizadas, o que é referente a 3% do total. Essas são as unidades com maiores médias de produção, produtividade e receita do leite. 51% das vacas estão em lactação, e seu custo com concentrado é o maior entre os grupos. Contudo, o resultado mais relevante é quanto às emissões, essas poucas fazendas com expressiva produção e receita, apresentaram os menores níveis de pegada de carbono e de emissão de metano entérico entre todos os outros estudados. A quantidade de carbono por litro de leite emitido por esse grupo é 22% menor que a do grupo 3 o qual apresentou a maior pegada, e a sua receita é quase dez vezes maior que a do mesmo grupo, que possui menor receita com a produção de leite.

O terceiro grupo de fazendas representa 184 unidades, 60% do total, e é possível perceber que este é o que possui menor produção e também menor custo com alimentação e receita do leite. Sua produtividade segue a mesma tendência, é a menor entre elas visto que cada vaca produz apenas 16,6 litros de leite por dia. A quantidade de vacas em lactação no

total do rebanho é de 45%, contudo a sua emissão de carbono e de metano entérico são as maiores se comparadas a dos outros três grupos.

Os resultados deste terceiro grupo atestam novamente a hipótese da relação negativa que existe entre a produtividade do rebanho leiteiro e os níveis de emissão de GEE do mesmo. Quanto menor a produtividade, maiores serão as emissões. A análise fatorial anterior também apresentou essa conclusão, bem como a literatura já existente sobre o tema.

Adiante, o quarto grupo tem a segunda menor produção e rentabilidade com o leite, e seu custo com concentrado na alimentação do rebanho segue a mesma tendência. Representadas por 59 unidades, 19% do total, essas fazendas possuem na média, 44% das vacas lactantes, a menor entre todas as porcentagens. A produtividade é de 21,3 litros de leite por vaca ao dia, também caracterizando o grupo em terceiro lugar nessa categoria. Quanto às emissões, a pegada de carbono desse grupo é a segunda menor, já a emissão de metano é a segunda maior entre elas, atrás apenas do grupo três.

Com os resultados obtidos conclui-se que fazendas mais produtivas e rentáveis consequentemente também tendem a ser mais sustentáveis. Este resultado será complementado pela análise dos sistemas de produção no próximo tópico. Contudo, é possível inferir que as fazendas mais eficientes e que estão amparadas por mais gestão e tecnologia também são as com melhores rentabilidades e com menor impacto ambiental.

Tabela 4 – Média das variáveis nos grupos de fazendas produtoras de leite

Variável	Descrição	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Gord	Quantidade de gordura presente no leite produzido (%)	3,68	3,69	3,85	3,83
Prot	Quantidade de proteína presente no leite produzido (%)	3,24	3,29	3,26	3,28
Prod_kg	Total anual da produção de leite (Kg)	984.079,50	2.186.288,00	220.517,50	504.844,00
Prod_fpcm	Total anual da produção de leite (FPCM)	931.505,80	2.100.410,00	215.208,00	491.053,30
Prodtv	Produtividade diária do rebanho: Total de litros de leite/vaca/dia	26,22	26,68	16,60	21,29
Vac_lact	Quantidade de vacas em lactação no total do rebanho (%)	45	51	45	44
Bezer	Quantidade absoluta de bezerras no rebanho	54	91	19	33
Nov	Quantidade absoluta de novilhas no rebanho	63	94	19	39
Vaca_lac	Quantidade absoluta de vacas em lactação no rebanho	108	244	38	68
Reb	Quantidade absoluta de animais no rebanho	249	482	87	156
Digtb	Valor da digestibilidade das vacas em lactação (%)	66,33	66,44	63,75	64,95
Volum	Quantidade de volumoso consumido na alimentação por quilo de leite no ano (Kg)	687.610,20	1.348.315,00	220.778,30	483.829,10
Concent	Quantidade de concentrado consumido na alimentação por quilo de leite produzido no ano (Kg)	406.648,00	835.176,60	89.534,26	205.157,60
Peg_carb	Total das emissões de carbono no ano pela fazenda (Kg)	1,49	1,41	1,82	1,48
Met_ent	Total das emissões de metano por quilo de leite no ano pela fazenda (Kg)	0,57	0,51	0,92	0,70
Em_dej	Total de carbono emitido pelos dejetos do rebanho por quilo de leite no ano (Kg)	0,13	0,14	0,16	0,12
Em_alim_on	Total de carbono emitido pela alimentação com origem interna à fazenda por quilo de leite no ano (Kg)	0,22	0,15	0,21	0,11
Em_alim_off	Total de carbono emitido pela alimentação com origem externa à fazenda por quilo de leite no ano (Kg)	0,54	0,60	0,49	0,51
Em_out	Total de carbono emitido por outras fontes (energia, transporte) por quilo de leite no ano (Kg)	0,03	0,02	0,03	0,04
Custo	Custo calculado para a alimentação do rebanho considerando os cálculos para concentrado (R\$)	737.267,80	1.475.837,00	162.033,90	374.501,80
Receita	Receita anual obtida com a produção de leite (R\$)	2.112.674,00	4.698.770,00	474.349,10	1.088.949,00

Fonte: Elaborada pela autora.

4.3) Análise da Emissão de Carbono por Sistema de Produção das fazendas

O Sistema de Produção utilizado em uma unidade produtora de leite é escolhido com base em diferentes fatores, como clima, vegetação, recursos econômicos, entre outros. É necessário que o produtor se adapte a um tipo de sistema que atenda todas as necessidades da sua produção e da área destinada à ela. Neste trabalho, os sistemas de produção das fazendas foram analisados de acordo com a pegada de carbono das fazendas analisadas. Como mostra a tabela 5, a base de dados utilizada conta com a definição de cinco tipos de arquétipos das fazendas, sendo eles: A pasto, Orgânico, Semi-confinado, CompostBarn e Free-Stall.

Para efeito de comparação dos níveis de pegada de carbono por cada sistema, as fazendas foram divididas em quatro níveis, sendo eles: pegada de carbono de 0,5 a 1,0; pegada de carbono de 1,0 a 1,5; pegada de carbono de 1,5 a 2,0; e pegada de carbono maior que 2,0. Dessa forma, foram calculadas quantas fazendas estão em cada nível de pegada de carbono com base no seu sistema de produção. A tabela 5 resume essas proporções.

Primeiramente, no sistema a pasto os animais são criados livres no campo e sua alimentação é baseada em pastagem. As instalações desse arquétipo são simples e com menor nível de tecnologia empregada quando comparado a outros sistemas (FUNDAÇÃO ROGE, 2024). Dessa forma, os dados mostram que 45% das fazendas que adotam o sistema a pasto apresentaram pegada de carbono entre 1,5 a 2,0, e 36% pegada maior que 2,0. Com apenas 19% das fazendas com pegada menor que 1,5, este é o sistema com maior nível de pegada de carbono.

Em seguida, tem-se o sistema semi-confinado. Neste sistema, o animal se alimenta tanto no pasto como no cocho, ou seja, ele não fica todo o tempo confinado em determinado local, além disso, é demandada menos tecnologia na sua implementação e menor desembolso financeiro que os sistemas de confinamento (CSR-UFMG, 2024). 22% e 36% das fazendas com esse arquétipo apresentaram pegada de carbono de mais que 2,0 e de 1,5 a 2,0, respectivamente. Apenas 5% têm pegada de carbono de 0,5 a 1,0, e 38% de 1,0 a 1,5. O sistema semi-confinado foi considerado, em média, o segundo com maior pegada de carbono entre os analisados.

Para mais, o sistema orgânico apresentou a terceira maior pegada de carbono, sendo que 55% das fazendas que o utilizam tiveram alta pegada de carbono no ano, de 1,5 a 2,0 e mais que 2,0. Apesar disso, a literatura enfatiza que “o sistema orgânico de produção bovina é aquele em que sejam adotadas tecnologias que façam uso sustentável dos recursos

produtivos, preservação e ampliação da biodiversidade do ecossistema, conservação do solo, água e ar” (RESENDE; SIGNORETTI, 2005).

O quarto arquétipo é o Free-Stall, um tipo de sistema confinado onde as vacas leiteiras ficam em uma área coberta podendo caminhar livremente, mas possuem baias individuais para descansar. Dessa forma, a estrutura demanda planejamento e manejo adequado dos animais, para que estes recebam um ambiente confortável e limpo (COWMED, 2022). Com base nos resultados, 56% das fazendas que utilizam esse sistema têm baixa pegada de carbono de 0,5 a 1,0, sendo, portanto, a classe com mais fazendas emitindo menos carbono ao meio ambiente. Para mais, apenas 11% das fazendas com este sistema tiveram alta pegada de carbono, ou seja, maior que 2,0.

Por fim, o quinto sistema de produção é o Compost Barn que também é um tipo de sistema de confinamento, no qual os animais ficam soltos dentro de um galpão onde o conforto e o bem estar são garantidos. Este sistema demanda mais cuidados, orientações técnicas, estrutura e manejos adequados (DSM-FIRMENICH, 2020). Vale destacar que o Compost Barn, por ser bem intensivo em tecnologia e alta produtividade das vacas, possui baixo nível médio de pegada de carbono. Pelos dados da pesquisa observa-se que 19% e 58% das fazendas que utilizam esse sistema apresentaram menor pegada de carbono nos níveis de 0,5 a 1,0 e 1,0 a 1,5, respectivamente, e apenas 22% das unidades tiveram pegada de carbono maior que 1,5. Sendo assim, este foi o arquétipo mais sustentável da análise, com a menor quantidade de fazendas com pegada de carbono maior que 2,0.

Tabela 5 – Análise das Emissões de Carbono por tipo de sistema de produção

Nível de Emissão	Arquétipo das Fazendas				
	A pasto	Semi-Confinado	Orgânico	Free-Stall	Compost Barn
Pegada de Carbono = 0,5 a 1,0	0%	5%	0%	56%	19%
Pegada de Carbono = 1,0 a 1,5	19%	38%	45%	22%	58%
Pegada de Carbono = 1,5 a 2,0	45%	36%	40%	11%	21%
Pegada de Carbono > 2,0	36%	22%	15%	11%	2%

Fonte: Elaborada pela autora.

O nível sustentável dos rebanhos de gados leiteiros pode estar muitas vezes ligado ao nível tecnológico empregado na atividade, o qual é refletido no sistema produtivo utilizado. Relativamente os sistemas mais tecnológicos apresentados acima são os baseados no confinamento dos animais, no caso o Compost Barn e o Free-Stall, e também são os que possuem a maior quantidade de fazendas com menor pegada de carbono. Por outro lado, o

sistema a pasto foi o que apresentou maior quantidade de fazendas com maior pegada de carbono, bem como o sistema semi-confinado, porém estes apresentaram boa participação das fazendas com pegadas de carbono entre 1,0 e 2,0, os quais são considerados aceitáveis a níveis sustentáveis da atividade.

Sendo assim, a análise dos arquétipos das fazendas complementa os resultados estatísticos apresentados anteriormente e contribui para confirmar ainda mais a hipótese central deste trabalho, visto que fazendas mais intensivas em tecnologia também apresentaram menores pegadas de carbono. Fazendas mais produtivas e lucrativas tendem a buscar por mais tecnologia e, conseqüentemente, sustentabilidade nos seus sistemas de produção. Dessa forma, os resultados das análises realizadas se encontram no fato de que as unidades mais eficientes terão uma capacidade reduzida de degradação do meio ambiente, sendo este um resultado importante para que as autoridades e os próprios produtores repensem um futuro mais sustentável para a pecuária leiteira.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho centrou-se na análise de indicadores de produção, econômicos e ambientais de fazendas leiteiras no Brasil, a fim de caracterizar a dinâmica entre a produção e a receita dos produtores frente à sua emissão de GEE no meio ambiente pela atividade. Uma das principais contribuições deste estudo se debruça, portanto, na identificação dos níveis de pegada de carbono das fazendas de acordo com seus níveis de produção, produtividade e receita. O trabalho foi motivado pelo fato de que, a pecuária de leite é uma atividade significativa para a alimentação mundial tanto em termos de segurança alimentar quanto em valores nutritivos para a saúde das pessoas. Porém, este é um setor que tem sofrido pressões ambientalistas referentes a emissões de GEE e degradação do meio ambiente. Neste sentido, tecnologias e estudos direcionados para o melhor entendimento do cenário de emissão contribuem para que mais ações e alterações tecnológicas sejam voltadas para a atividade com o intuito de torná-la mais eficiente e sustentável.

Para tal, foi utilizada uma base de dados de 307 fazendas dos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná, com 21 variáveis para os anos de 2020 e 2021. Dois métodos multivariados foram implementados para caracterizar as fazendas, sendo eles a análise fatorial e a análise de agrupamentos. Os resultados da primeira análise indicaram cinco fatores para o estudo. O primeiro fator, denominado “Rebanho e Produção”, associou variáveis produtivas como produção em quilos com variáveis relacionadas ao número de animais do rebanho e com os resultados de custo com alimentação e receita do leite. O segundo fator por sua vez, chamado de “Emissões e Condicionantes”, centrou a hipótese principal do estudo por ter relacionado às variáveis de produtividade e percentual de vacas em lactação com as emissões de metano entérico e as emissões de carbono pelos dejetos dos animais. A seguir, o terceiro fator “Pegada total de Carbono” relaciona a variável pegada com as emissões de carbono pela alimentação dos animais com origem interna à fazenda. O quarto fator foi denominado como “Sólidos do Leite”, pois engloba os dados percentuais de gordura e proteína presentes no leite produzido nas fazendas. Por fim, o quinto fator relacionou a emissão de carbono por outras fontes (transporte e energia) com a emissão do gás pela alimentação dos animais, porém com origem externa à fazenda, assim denominado “Outras Fontes de Emissão”.

Com base nesses resultados, a análise de agrupamentos foi implementada, e identificou quatro tipologias de fazendas com base na média de suas variáveis analisadas. O grupo 1 ficou em segundo lugar tanto em termos de produção quanto de receita, o seu custo

com alimentação também seguiu essa tendência. Sua produtividade se apresentou como a mais alta, sendo que cada vaca produz 26 litros de leite por dia, porém o percentual de vacas em lactação no rebanho é o segundo mais baixo entre os grupos, igual a 45%. Sua pegada de carbono, por sua vez, foi a segunda maior, enquanto a emissão de metano entérico foi maior apenas que a do Grupo 2. O grupo 2 foi o que apresentou os maiores valores para produção, receita, custo e produtividade, sendo que esta última esteve no mesmo patamar do grupo 1. Suas emissões, no entanto, foram as menores no que tange à pegada de carbono e à emissão de metano entérico. Adiante, o Grupo 3 se destoa dos resultados do último grupo, pois foi o que registrou a menor produção, conseqüentemente menores receita e custo, menor produtividade e por isso maiores níveis de emissão de GEE, tanto de pegada de carbono quanto de metano entérico. Por fim, o grupo 4 ficou em terceiro lugar no que tange à sua produção, sua receita, seu custo e sua produtividade. Porém, foi o grupo com menor quantidade de vacas em lactação e sua pegada de carbono e emissão de metano entérico estiveram atrás apenas do grupo 3.

Para complementar a análise dos dados, foi realizado um estudo sobre os arquétipos das fazendas da base de dados. Estas foram divididas de acordo com seus sistemas de produção, sendo eles: A pasto, Semi-confinado, Orgânico, Compost Barn e Free-Stall. Quatro níveis de pegadas de carbono foram criados para analisar as fazendas com base em seus arquétipos: pegada de carbono de 0,5 a 1,0, pegada de carbono de 1,0 a 1,5, pegada de carbono de 1,5 a 2,0, e pegada de carbono maior que 2,0. O Sistema A pasto foi o que apresentou maior quantidade de fazendas com pegada maior que 2,0, enquanto o Compost Barn foi o que teve o resultado contrário, de menos fazendas com pegada de carbono maior que 2,0. Contudo, o sistema As fazendas A pasto concentraram-se no nível de pegada de 1,5 a 2,0, o qual ainda é considerado um nível aceitável em termos sustentáveis.

A hipótese fundamental dessa pesquisa amparada pela literatura estudada é a de que fazendas mais produtivas, com maiores recursos financeiros e mais tecnologia empregada tendem a ser mais sustentáveis. Esta hipótese foi confirmada com as três análises realizadas, a análise fatorial mostrou no segundo fator de “Emissões e Condicionantes” que a produtividade está negativamente relacionada com a emissão de metano entérico e com a emissão de carbono pelos dejetos dos animais. Já a análise de agrupamento, por meio dos grupos 2 e 3 atestou que fazendas com maiores produtividade, produção e receita possuem menor pegada de carbono, enquanto as com menores valores para essas variáveis apresentaram a maior pegada de carbono da análise. Por fim, a análise dos arquétipos também confirma a hipótese quando os sistemas de confinamento, como Compost Barn e Free-Stall,

apresentaram as menores proporções de fazendas com pegada de carbono maior que 1,5. Essas conclusões estão em concordância com estudos como os de Gurgel e Laurenzana (2016) e Bánkut *et al* (2020), cujo autores também atestaram que a escala de produção, a eficiência e a implementação de tecnologias são caminhos importantes para mitigar os efeitos nocivos ao meio ambiente causados pela pecuária.

Com os resultados apresentados neste trabalho é iminente que sob condições de produções semelhantes às das fazendas mais produtivas e sustentáveis analisadas, é possível melhorar a eficiência e sustentabilidade nas fazendas de leite. São fatores importantes o investimento em tecnologias e inovações, a adoção de sistemas de produção mais tecnificados, a consolidação da gestão da fazenda de forma a torná-la mais organizada e também o direcionamento de ações que contribuam para que o setor se torne mais competitivo. Assistência técnica e extensão rural são fundamentais neste processo, já que a pecuária de leite no Brasil é bastante heterogênea e composta por um número elevado de produtores. Os resultados aqui apresentados contribuem para elaboração de políticas públicas tanto de extensão rural quanto de suporte na adoção de tecnologias que implicam em melhorias de produtividade das vacas e eficiência nas fazendas. Dessa forma, é possível aumentar e melhorar a produção de leite das fazendas brasileiras, incrementar a produtividade dos animais, tornando a atividade mais lucrativa para os produtores, bem como diminuindo sua capacidade de emissão de GEE no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

BALAINÉ, Lorraine et al. Can technology help achieve sustainable intensification? Evidence from milk recording on Irish dairy farms. **Land use policy**, v. 92, p. 104437, 2020.

BÁNKUTI, F.; PRIZON, R.; DAMASCENO, J.; DE BRITO, M.; POZZA, M.; & LIMA, P. Farmers' actions toward sustainability: A typology of dairy farms according to sustainability indicators. **Animal**, *14* (S2), S417-S423, 2020.

BERNDT, A. Pegada de Carbono na pecuária de leite: estágio do conhecimento e oportunidades. In: Dairy Vision, 2023, Campinas.

BROOM, Donald Maurice. Components of sustainable animal production and the use of silvopastoral systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, p. 683-688, 2017.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Indicadores**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/leite.aspx>>. Acesso em: 31 out. 2023.

CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-UFG. **Semiconfinamento e confinamento**. Disponível em: <<https://csr.ufmg.br/pecuaria/portfolio-item/semiconfinamento-e-confinamento/>>. Acesso em: 27 mai, 2024.

COWMED. **Confinamento Free Stall: tudo que você precisa saber**. Disponível em: <https://cowmed.com.br/pt_BR/confinamento-free-stall-tudo-que-voce-precisa-saber>. Acesso em: 18 jun, 2024.

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL. **Relatório de Preços**. Disponível em <<https://www.agricultura.pr.gov.br/deral/precos>>. Acesso em: 31 out. 2023.

DSM-FIRMENICH. **Tipos de instalações de confinamento de vacas leiteiras e suas vantagens e desafios**. Disponível em: <<https://blog.apecuariadeprecisao.com.br/instalacoes-para-gado-de-leite-quais-sao-como-fazer-e-vantagens/>>. Acesso em: 27 mai, 2024.

EMBRAPA. **CILeite – Metodologia do ICP Leite**. Disponível em: <<https://www.cileite.com.br/content/metodologia-0>>. Acesso em: 22 nov, 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The Global Dairy Sector: Facts**. Roma, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Climate change and the global and the global Dairy Cattle Sector**. Roma, 2019.

FRANKS, Jeremy R. Sustainable Intensification: A UK perspective. **Food Policy**, v. 47, p. 71-80, 2014.

FREITAS, Vanessa Oliveira de; ARALDI, Daniele Furian. Impacto Ambiental da Emissão de Gases pela Pecuária. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, nº 16, 2011, UNICRUZ.

FUNDAÇÃO ROGE. **Qual o melhor sistema para começar a criação de gado leiteiro?** Disponível em: <<https://www.fundacaoroge.org.br/blog/para-come%C3%A7ar-a-cria%C3%A7%C3%A3o-de-gado-leiteiro-%C3%A9-preciso-definir-antes-o-sistema-de-produ%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 27 mai, 2024.

GURGEL, A. C.; LAURENZANA, R. D. Desafios e oportunidades da agricultura brasileira de baixo carbono. In: __. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. 1. ed. Brasília: Ipea, 2016. cap 12, p. 346-366.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R.; BABIN, B. **Multivariate Data Analysis**. 7th. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa da Pecuária Municipal de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>>. Acesso em: 20 jul, 2024

MILKPOINT. **Leite de vaca lidera a lista dos produtos agrícolas globais mais produzidos**. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/giro-noticias/leite-de-vaca-lidera-a-lista-dos-produtos-agricolas-globais-mais-produzidos-232067/>>. Acesso em: 22 nov, 2023.

MILKPOINT. **Leite lidera lista de alimentos mais consumidos no mundo**. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/giro-noticias/leite-e-o-numero-1-dos-alimentos-mais-consumidos-do-mundo-229138/>>. Acesso em: 22 nov, 2023.

MORAES, B. M. M., FILHO, R.B. Mercado Brasileiro de Lácteos: análise do impacto de políticas de estímulo à produção de leite. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 4, p. 783-800, 2017.

NASPETTI, Simona et al. Consumer perception of sustainable practices in dairy production. **Agricultural and Food economics**, v. 9, p. 1-26, 2021.

OLIVEIRA, J. P. C. A. et al. Emissão e mitigação de gases do efeito estufa produzidos por bovinos. **Archivos de zootecnia**, v. 71, n. 274, p. 108-112, 2022.

OLIVEIRA, Patrícia Perondi Anção et al. Emissão de gases nas atividades pecuárias. Foz do Iguaçu. **II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais**, p. 5-7, 2011.

REIS, Ricardo Pereira; MEDEIROS, André Luiz; MONTEIRO, Lucas Andrade. Custos de produção da atividade leiteira na região sul de Minas Gerais. Lavras. **Organizações Rurais e Agroindustriais/Rural and Agro-Industrial Organizations**, v. 3, n. 1511-2016-131157, 2001.

RESENDE, F. D., SGNORETTI, R. D. Sistema orgânico de produção de carne bovina. **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 2, n.2, Jul-Dez 2005;

SABBAG, Omar Jorge; COSTA, Silvia Maria Almeida Lima. Análise de custos da produção de leite: aplicação do método de Monte Carlo. Santa Maria. **Rev. Extensão Rural**, v. 22, n. 1, p. 125-145, 2015.

STIGLITZ, J. E. **La Economía del Sector Público**. 1. ed. Barcelona: Antoni Bosch, Editor S.A, 2003.