

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ- REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

AMANDA VOORSLUYS

ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM UMA
PROPRIEDADE LEITEIRA DA REGIÃO CENTRO-ORIENTAL DO ESTADO DO
PARANÁ: ESTUDO DE CASO

PONTA GROSSA

2025

AMANDA VOORSLUYS

ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM UMA
PROPRIEDADE LEITEIRA DA REGIÃO CENTRO-ORIENTAL DO ESTADO DO
PARANÁ: ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentada para obtenção do título de
mestre na Universidade Estadual de Ponta Grossa,
Área de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cláudia Barana

PONTA GROSSA

2025

V951 Voorsluys, Amanda
Estimativa das emissões de gases de efeito estufa em uma propriedade leiteira da região centro-oriental do estado do Paraná: estudo de caso / Amanda Voorsluys. Ponta Grossa, 2025.
93 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental - Área de Concentração: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Claudia Barana.

1. Agronegócio. 2. Inventário de Emissões. 3. Sustentabilidade. I. Barana, Ana Claudia. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. III.T.

CDD: 628.4

AMANDA VOORSLUYS

“Estimativa das emissões de gases de efeito estufa em uma propriedade leiteira da região centro-oriental do Estado do Paraná: estudo de caso”.

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do grau de Mestre(a) no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Profa. Dra. Ana Cláudia Barana - UEPG-PR

Documento assinado digitalmente
 **ANA CLAUDIA BARANA**
Data: 18/05/2025 09:50:26-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Profa. Dra. Ana Cláudia Barana - UEPG-PR - Presidente

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO CAMILO**
Data: 18/05/2025 10:27:11-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Camilo – UEM - PR - Membro Titular Externo

Documento assinado digitalmente
 **JAIME ALBERTI GOMES**
Data: 18/05/2025 11:03:48-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. Jaime Alberti Gomes - UEPG-PR - Membro Titular Interno

Ponta Grossa, 24 de abril de 2025.

Aos meus pais, Ari e Leticia.

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação foi um desafio enriquecedor, possível graças ao apoio de muitas pessoas, às quais expresso minha profunda gratidão.

Inicialmente agradeço a Deus, pela sua presença permanente em minha vida.

Agradeço à Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental pela estrutura e oportunidade de aprendizado. Meu reconhecimento também ao Programa da CAPES pelo suporte financeiro.

Um agradecimento especial à minha orientadora, Profa. Dra. Ana Cláudia Barana, presente na minha trajetória desde a graduação, por sua orientação e incentivo ao longo desta jornada. Aos professores e colegas do PPGESA, pela troca de conhecimento e colaboração.

Ao Escritório de Relações Internacionais da UEPG, pela oportunidade e pelo suporte fundamental na viabilização dos meus estudos no Mestrado em Tecnologia do Ambiente no Instituto Politécnico de Bragança, em Portugal.

Ao Instituto Politécnico de Bragança pela receptividade, pelo ambiente acadêmico enriquecedor e pelo suporte oferecido ao longo da minha trajetória. Aos professores e amigos, pela acolhida, amizade e valiosa troca de conhecimentos, que foram essenciais para a realização deste estudo. À Angela, por sua amizade genuína, e à sua família, que me acolheu com tanto carinho.

Aos professores Jaime, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, e Rodrigo, da Universidade Estadual de Maringá, agradeço pela presença em minhas bancas, pela disponibilidade, pelas sugestões de melhoria e elogios, foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus amigos, por nossas conversas inspiradoras, que contribuíram para o surgimento de ideias que foram aplicadas, de alguma forma, nessa dissertação. À minha família, por sempre acreditarem em mim e me incentivarem a seguir em frente.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero obrigado.

*É importante que saibamos de onde viemos, porque se
você não sabe de onde vem, então não sabe onde está e
se você não sabe onde está, então não sabe para onde
está indo. E se você não sabe para onde está indo, você
provavelmente está indo errado.*

Terry Pratchett. *I Shall Wear Midnight*. 2010.

RESUMO

O Brasil é destaque no setor agropecuário global, setor este que contribui significativamente para as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), especialmente dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4). Diante das preocupações com o aquecimento global, cresce a necessidade de se desenvolver ferramentas e estratégias para reduzir essas emissões. Este estudo analisou as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) na pecuária leiteira de uma propriedade no Paraná, aplicando o *GHG Protocol* para quantificar e gerenciar essas emissões. O inventário anual revelou 935,8 toneladas de CO_2 -eq. emitidas, com remoções de 611,91 toneladas, resultando em um balanço de 322,19 toneladas de CO_2 -eq. A principal fonte de emissão foi a fermentação entérica (90,7%), seguida pelo manejo de esterco (5%), adubação orgânica (1,7%) e operações mecanizadas (1,3%). A pesquisa indicou estratégias de mitigação, como o uso de biodigestores para manejo de esterco, reduzindo as emissões em até 0,73%, também gerando biogás e biofertilizantes. Ajustes alimentares e aditivos também foram sugeridos para reduzir as emissões de metano. Na produção de milho, principal atividade agrícola da propriedade, resíduos e adubação somaram 103,11 toneladas de CO_2 -eq. em 42 hectares, abaixo da média nacional. Emissões indiretas do transporte totalizaram 3,21 toneladas de CO_2 -eq. por ano. Com o plantio de eucalipto e áreas de preservação, a propriedade sequestrou 611,91 toneladas de CO_2 -eq. anuais, contribuindo para um balanço negativo de carbono. A simulação de algumas realidades indicou que a adoção conjunta de biodigestor, tratores elétricos e sistema silvipastoril reduziria as emissões da propriedade em 83,28%, totalizando 54,13 toneladas de CO_2 -eq por ano. A pesquisa concluiu que o incentivo à agricultura familiar e práticas de baixo impacto é essencial para a sustentabilidade da produção leiteira no Brasil.

Palavras-chave: Agronegócio; Inventário de Emissões e Sustentabilidade.

ABSTRACT

Brazil stands out in the global agricultural sector, which significantly contributes to greenhouse gas (GHG) emissions, particularly carbon dioxide (CO₂), nitrous oxide (N₂O), and methane (CH₄). Given growing concerns about global warming, there is an increasing need to develop tools and strategies to reduce these emissions. This study analyzed GHG emissions in dairy farming on a property in Paraná, applying the GHG Protocol to quantify and manage these emissions. The annual inventory revealed total emissions of 935.8 tons of CO₂-eq, with removals of 611.91 tons, resulting in a net balance of 322.19 tons of CO₂-eq. The primary emission source was enteric fermentation (90.7%), followed by manure management (5%), organic fertilization (1.7%), and mechanized operations (1.3%). The research identified mitigation strategies such as using biodigesters for manure management, which could reduce emissions by up to 0.73%, while also generating biogas and biofertilizers. Dietary adjustments and feed additives were also suggested to reduce methane emissions. In corn production, the farm's main agricultural activity, residues and fertilization accounted for 103.11 tons of CO₂-eq over 42 hectares, below the national average. Indirect emissions from transportation totaled 3.21 tons of CO₂-eq per year. With eucalyptus planting and preservation areas, the farm sequestered 611.91 tons of CO₂-eq annually, contributing to a negative carbon balance. Simulations indicated that the combined adoption of a biodigester, electric tractors, and a silvopastoral system would reduce the farm's emissions by 83.28%, totaling 54.13 tons of CO₂-eq per year. The study concluded that promoting family farming and low-impact practices is essential for the sustainability of dairy production in Brazil.

Keywords: Agribusiness; Emission Inventory; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico explicativo do ESG.....	23
Figura 2 - Ilustração dos objetivos das ODS.	24
Figura 3 - Localização da cidade de Carambeí no Estado do Paraná.....	34
Figura 4 - Localização da propriedade rural.....	34
Figura 5 - Comparação entre emissão de CO _{2eq} pela pecuária e a recuperação de CO _{2eq} , equivalentes a um período de 1 ano.....	40
Figura 6 - Comparação entre emissão de CO _{2eq} pela pecuária e a recuperação de CO _{2eq} , com a aplicação de práticas de sustentáveis, equivalentes a um período de 1 ano.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Valores do GWP dos gases de efeito estufa (IPCC).....	21
Tabela 2 - Descrição da propriedade em estudo.	35
Tabela 3 - Emissões por escopo pelo setor de pastagem e pecuária.....	41
Tabela 4 - Distribuição de GEE produzidos pelo setor de pastagem e pecuária.	42
Tabela 5 - Emissões por escopo durante o processo de produção de milho.....	43
Tabela 6 - Distribuição de GEE produzidos por setor durante o processo de produção de milho.	44
Tabela 7 - Emissões por escopo pelo setor de pastagem e pecuária no cenário sugerido.	47
Tabela 8 - Distribuição de GEE produzidos pelo setor de pastagem e pecuária no cenário sugerido.	48
Tabela 9 - Emissões por escopo durante o processo de produção de milho no cenário sugerido.	49
Tabela 10 - Distribuição de GEE produzidos por setor durante o processo de produção de milho no cenário sugerido.....	50
Tabela 11 - Densidade nutricional, em relação ao impacto climático.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
AR4	<i>Fourth Assessment Report</i>
AR5	<i>Fifth Assessment Report</i>
AR6	<i>Sixth Assessment Report</i>
CFT	<i>Cool Farm Tool</i>
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ -eq.	Dióxido de carbono equivalente
CO ₂ -eq.ha/ano	Dióxido de carbono equivalente por hectare por ano
CO ₂ -eq./ha	Dióxido de carbono equivalente por hectare
CO ₂ -eq./Kg	Dióxido de carbono equivalente por quilograma
DAB	Diretrizes Agrícolas Brasileiras
EIB	<i>European Investment Bank</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FDN	Fibra em Detergente Neutro
GEE	Gases do Efeito Estufa
GHG	<i>Greenhouse Gas</i>
GWP	<i>Global Warming Potencial</i>
GWpm	<i>Global Warming Potencial médio</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
N ₂ O	Óxido nitroso
RL	Reserva Legal
SEEG	Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
WRI	<i>World Resources Institute</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 1 - ENQUADRAMENTO DA PESQUISA.....	15
1.2 OBJETIVO GERAL.....	15
1.2.1 Objetivos específicos.....	15
CAPÍTULO 2 - PRODUÇÃO LEITEIRA E GEE: CONTEXTO NACIONAL, ESTADUAL E FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO.....	16
2.1 A PRODUÇÃO DE LEITE BOVINO NO BRASIL E NO PARANÁ.....	16
2.2 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....	18
2.2.1 Criação das ODS e ESG	22
2.2.2 Políticas climáticas no Paraná	26
2.2.3 A utilização do <i>GHG Protocol</i> na produção de inventários.....	27
2.2.4 Estimativa do balanço de GEE na produção leiteira	30
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	34
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	34
3.2 ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO DE GASES DO EFEITO ESTUFA.....	36
3.2.1 Coleta de dados.....	36
3.2.2 Abordagem de cálculo	37
3.2.3 <i>GHG Protocol</i> Agricultura e Florestas	37
3.3 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE CENÁRIO ATUAL	38
3.4 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE CENÁRIO SUGERIDO.....	38
CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA NOS CENÁRIOS ATUAL E SUGERIDO	40
4.1 RESUMO GERAL DAS EMISSÕES NO CENÁRIO ATUAL.....	40
4.1.1 Emissões na pastagem e pecuária.....	40
4.1.2 Emissões na produção de milho	43
4.1.3 Emissões florestais segundo o protocolo GHG	45
4.2 ESTIMATIVAS DAS EMISSÕES NO CENÁRIO SUGERIDO	46
4.2.1 Estimativas na pastagem e pecuária	47
4.2.2 Estimativas na produção de milho.....	49
4.2.3 Estimativas para o sistema silvipastoril.....	50
CAPÍTULO 5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	52
5.1 CENÁRIO ATUAL	52
5.3 DIFICULDADES ENCONTRADAS NA ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO	63
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
REFERÊNCIAS.....	66

ANEXO A - QUESTIONÁRIO INVENTÁRIO DE EMISSÕES – PECUÁRIA E PRODUÇÃO DE MILHO	75
ANEXO B - QUESTIONÁRIO INVENTÁRIO DE EMISSÕES – EUCALIPTO, APP E RESERVA LEGAL	82
ANEXO C - QUESTIONÁRIO INVENTÁRIO DE EMISSÕES – SILVIPASTORIL...	85
ANEXO D - INVENTARIO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA CENÁRIO ATUAL – <i>GHG PROTOCOL</i>	90
ANEXO E - INVENTARIO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA CENÁRIO SUGERIDO – <i>GHG PROTOCOL</i>	92

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com as mudanças climáticas e seus efeitos sobre o meio ambiente tem impulsionado debates e estudos sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e o impacto de atividades econômicas neste processo, como a agropecuária (Barros *et al.* 2022). A pecuária de leite, em particular, desempenha um papel significativo na emissão de GEE, especialmente metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), devido à fermentação entérica e ao manejo inadequado de dejetos animais (EPA, 2022; SEEG, 2023). A região Sul do Brasil, e especificamente o estado do Paraná, destaca-se como um dos principais polos de produção leiteira do país, o que ressalta a importância de estudar formas de mitigar as emissões nesse setor (Justus, 2018).

A pecuária, embora essencial para o sustento de muitas famílias e para o agronegócio brasileiro, tem sido alvo de críticas pela sua contribuição para o aquecimento global (Silva, 2023). Neste contexto surgem iniciativas voltadas para a sustentabilidade, com o objetivo de quantificar e reduzir essas emissões, promovendo práticas de manejo mais responsáveis e menos impactantes ao meio ambiente. Instrumentos como o *GHG Protocol* têm sido utilizados para a elaboração de inventários de emissões, permitindo uma melhor gestão dos impactos ambientais e incentivando a adoção de soluções que minimizem o efeito negativo da agropecuária sobre o clima (GHG Protocol, 2004; FGV, 2008).

A relevância desta pesquisa está diretamente ligada ao cenário de mudanças climáticas e à necessidade urgente de implementar práticas agropecuárias mais sustentáveis (Barbosa, 2024). Estudar as emissões de GEE na pecuária de leite do Paraná é fundamental não apenas para compreender o impacto dessas atividades, mas também para fornecer ferramentas e dados que possam orientar produtores e gestores em direção a práticas mais eficazes de mitigação. A proposta de inventariar as emissões em uma propriedade leiteira, utilizando uma metodologia reconhecida, contribui para o avanço do conhecimento técnico-científico e para a criação de soluções aplicáveis em diferentes contextos produtivos (Almeida, 2023).

O objetivo deste trabalho foi elaborar um inventário de emissões de GEE em uma propriedade leiteira do estado do Paraná, utilizando o *GHG Protocol* como ferramenta de quantificação, e propor estratégias viáveis de manejo que visem a redução destas emissões, contribuindo assim para a sustentabilidade ambiental do setor leiteiro.

CAPÍTULO 1 - ENQUADRAMENTO DA PESQUISA

A dissertação de mestrado em questão abordará a coleta de dados relacionados às atividades agropecuárias e seus impactos ambientais, a aplicação de metodologias reconhecidas para a quantificação das emissões de GEE e a proposição de medidas eficazes de mitigação.

Esse trabalho se insere no contexto atual de busca por práticas sustentáveis na agropecuária, visando contribuir para a redução dos impactos ambientais associados à produção de leite e para o desenvolvimento de estratégias de manejo ambientalmente responsáveis.

1.2 OBJETIVO GERAL

Elaborar um inventário de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em uma propriedade de pecuária de leite da região centro-oriental do estado do Paraná utilizando a ferramenta *GHG Protocol*.

1.2.1 Objetivos específicos

- Elaborar o Inventário de GEE para as produções agrícola, pecuária e florestal de uma propriedade de bovinocultura de leite do estado do Paraná;
- Utilizar a ferramenta *GHG Protocol* para mensurar gases do efeito estufa gerados na propriedade;
- Propor formas de gerenciar e neutralizar as emissões de GEE na propriedade estudada;
- Contribuir com o desenvolvimento e padronização de metodologias para medição de GEE, de modo que estes resultados corroborem com futuros estudos e aplicações técnicas.

CAPÍTULO 2 - PRODUÇÃO LEITEIRA E GEE: CONTEXTO NACIONAL, ESTADUAL E FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO

2.1 A PRODUÇÃO DE LEITE BOVINO NO BRASIL E NO PARANÁ

O leite é destaque no agronegócio brasileiro, na geração de emprego, na renda e na importância social devido à produção familiar (Bacchi, 2019). A produção de leite no cenário global é predominantemente realizada em propriedades familiares, onde a mão de obra é geralmente fornecida pelos próprios membros da família. Essas propriedades costumam estar localizadas em áreas pequenas próximas a grandes centros urbanos, onde o valor das terras é elevado. No Brasil, esta situação não é diferente, mesmo havendo diferenças marcantes entre as regiões, inúmeras famílias produtoras de leite possuem sua renda exclusivamente da atividade leiteira (Justus, 2018).

O Brasil conta com mais de 1 milhão de propriedades produzindo leite. Essas propriedades contribuíram para que a produção nacional de leite passasse de 30,71 em 2010, para o 35,44 milhões de toneladas em 2022, colocando o Brasil como o quinto maior produtor do mundo (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023). Dentre os maiores produtores, destacamos a região Sudeste, sendo o estado de Minas Gerais o maior produtor do país, seguido pela região Sul (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) e a região Centro-Oeste (Brasil, 2023).

A produção leiteira possui alguns modelos de produção. Isto é explicado por Assis *et al.* (2005), ao dividir o sistema de produção de leite em quatro categorias, as variações ocorrem de acordo com o nível de intensificação, a produtividade e o modo de fornecimento da alimentação volumosa. No sistema extensivo, os animais produzem menos de 1.200 litros por ano, e são alimentados exclusivamente com pasto. No sistema semi-intensivo, a produção por animal varia entre 1.200 e 2.000 litros por ano, combinando pasto e suplementação de volumoso em períodos de escassez. O sistema intensivo a pasto, permite uma produção anual de 2.000 a 4.500 litros por animal, com forragem de alta qualidade e suplementação volumosa durante todo o ano. Já o sistema intensivo em confinamento garante uma produção superior a 4.500 litros por ano, com os animais sendo alimentados em cocho e mantidos em confinamento permanente.

A região Sudeste tem o maior número de propriedades, no topo da produção nacional, seguida pela região Sul que no caso tem a maior produtividade do país, isso significa que no

Sul são necessárias menos vacas para produzir a mesma quantidade de leite, a produção por animal é de, em média, 37,8 litros de leite/vaca/dia (Milkpoint, 2023). Um levantamento realizado em 2015 por Braga *et al.* quantifica que em 58,6% das propriedades leiteiras paranaenses usa o sistema extensivo, enquanto 40,4% operam de forma semi-intensiva e apenas 1% utiliza sistemas intensivos. O manejo nutricional adequado é crucial para aumentar a produtividade e rentabilidade no setor leiteiro.

O Paraná é o único estado cuja atividade leiteira está presente em praticamente todos os municípios. Um levantamento realizado por Justus (2018) mostra que as regiões Sudeste, Oeste e Centro-Oriental do Paraná, produzem juntas 2.768.200 litros de leite, representando 53% da produção estadual. A região Oeste tem o maior volume de produção, enquanto a Centro-Oriental, apesar de estar em terceiro lugar em volume, se destaca em produtividade. Essas três áreas combinam características variadas, desde pequenas propriedades familiares até propriedades com elevado grau técnico e caráter empresarial.

A Mesorregião Centro-Oriental é formada por 14 municípios divididos em 3 microrregiões: Jaguariaíva, Telêmaco Borba e Ponta Grossa. A microrregião de Ponta Grossa abrange os municípios de Castro, Palmeira, Carambeí e Ponta Grossa. Castro é reconhecida como a Capital Nacional do Leite, e lidera a produção com 239 milhões de litros anuais (IBGE, 2022). A cidade de Carambeí também é significativa, ocupando o quinto lugar com 130 milhões de litros (IBGE, 2022). Em Palmeira, a produção média supera a média estadual, com predominância de agricultores familiares.

Desde 2021 a produção de leite no Brasil tem passado por mudanças significativas, com muitos produtores abandonando a atividade e uma redução do rebanho em várias regiões. Em 2022, o cenário foi marcado por preços elevados, especialmente durante a entressafra, o que afetou o consumo da população devido à crise econômica, caracterizada por desemprego e queda nos salários (Silva, 2023).

Em 2023, o setor de produção de leite no Brasil sofreu uma queda significativa na rentabilidade, devido ao aumento recorde das importações de lácteos, que representaram 10% do consumo doméstico. Com pequenos produtores recebendo menos de R\$ 1,80 por litro, valor insuficiente para cobrir os custos de produção, que aumentaram 50% desde 2020 (Milkpoint, 2024).

Ao mesmo tempo, o abandono da atividade leiteira e a concentração da produção, antes realizada principalmente por agricultores familiares, têm aumentado. Segundo dados da

Embrapa (2023), atualmente 2% dos estabelecimentos são responsáveis por 30% da produção de leite nacional. Esse fenômeno reflete uma tendência global de busca por maior eficiência e economia de escala. Contudo, há sinais de recuperação para 2024, com a expectativa de limitação das importações, recuperação dos preços internacionais e melhora nas condições econômicas no Brasil.

Segundo Silva (2023) questões ambientais estão aumentando as restrições à expansão dos rebanhos e áreas de pasto, o que está dificultando o crescimento da produção pecuária. Ao mesmo tempo, há um movimento crescente em favor do consumo de bebidas vegetais, que vêm ganhando mercado como alternativas ao leite de origem animal. Essa tendência é impulsionada tanto por questões de saúde quanto por preocupações ambientais, pressionando ainda mais o setor de laticínios a buscar soluções inovadoras e sustentáveis.

2.2 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

O efeito estufa é um fenômeno natural essencial para a manutenção das condições habitáveis na Terra, sendo primariamente influenciado pelos gases atmosféricos dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4). Esses gases têm a função de reter parte do calor solar que chega à atmosfera terrestre. Uma fração dos raios solares é absorvida pela atmosfera, enquanto aproximadamente 30% é refletida de volta ao espaço. A absorção da radiação solar pelos gases atmosféricos provoca um aquecimento da superfície terrestre, que emite energia na forma de calor. Este processo contribui para o aquecimento global, essencial para sustentar a vida, conforme descrito por Helene (2007). Na ausência destes gases a Terra apresentaria condições de congelamento extremo, impossibilitando a vida tal como a conhecemos (Senra, 2023).

As mudanças climáticas são provocadas por alterações nas concentrações naturais de gases de efeito estufa (GEE) originados, predominantemente, por atividades humanas. Essas emissões decorrem principalmente da queima de combustíveis fósseis para geração de eletricidade, transporte e aquecimento residencial, além de processos industriais. Outras fontes significativas incluem a atividade agropecuária, o uso de fertilizantes, o desmatamento, e a produção de madeira, bem como a gestão de resíduos, que envolve aterros e incineração (Raihan, 2022). Rosenzweig *et al.* (2020) destacam que o sistema alimentar é responsável por aproximadamente 20% a 40% das emissões antropogênicas, refletindo a importância das atividades econômicas relacionadas à produção de alimentos. Além disso, o IPCC (2019)

identifica as emissões do solo, originadas pela produção de ração animal, como a segunda maior fonte de emissões de GEE associadas aos sistemas de laticínios e bovinos de corte.

O setor agropecuário e as mudanças no uso da terra desempenham um papel significativo nas emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), contribuindo com cerca de um quinto das emissões totais provenientes das atividades humanas, conforme destacado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2017). No contexto brasileiro, as emissões brutas de GEE em 2022 revelaram a predominância de algumas fontes específicas: a agropecuária foi responsável por 27% das emissões, o setor de energia por 18%, processos industriais por 3%, e resíduos por 4%. A mudança no uso da terra, no entanto, destacou-se como a principal fonte, representando 48% das emissões totais brutas (SEEG, 2023). As emissões do setor agropecuário são majoritariamente compostas por dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Cada um desses gases possui diferentes impactos sobre as mudanças climáticas, influenciados pela sua concentração na atmosfera, e o potencial de aquecimento (EPA, 2022).

As emissões de óxido nitroso (N_2O) na agropecuária ocorrem principalmente devido aos processos de nitrificação e desnitrificação no solo, que são impulsionados pela atividade microbiana. Além disso, a combustão de combustíveis fósseis e biomassa também contribui para essas emissões (Embrapa, 2017). No Brasil, as maiores fontes de N_2O no setor agropecuário estão relacionadas ao uso de fertilizantes químicos e dejetos animais, tanto em áreas de pastagem quanto na produção de grãos (SEEG, 2021).

Para reduzir a dependência de fertilizantes químicos e mitigar as emissões de óxido nitroso (N_2O) na agropecuária, diversas práticas podem ser adotadas. O uso racional de adubos nitrogenados é fundamental, especialmente no caso da ureia, que emite quantidades significativas de N_2O quando aplicada em pastagens e lavouras. Técnicas como o fracionamento da aplicação de adubos e a escolha de fontes de nitrogênio que geram menos emissões, aliadas ao uso em momentos de maior demanda das culturas, são estratégias eficientes para minimizar as emissões (Barros *et al.*, 2022).

Além disso, alternativas sustentáveis, como a utilização de esterco animal, adubação verde e compostagem, são formas eficazes de reduzir a necessidade de fertilizantes químicos (Costa *et al.*, 2022). Outra solução viável é a substituição de fertilizantes sintéticos por biológicos, como compostos de nitrogênio obtidos pela fixação biológica em leguminosas, além da reciclagem de fósforo proveniente de resíduos agrícolas e agroindustriais (Carvalho *et al.*,

2022). Essas práticas contribuem para uma produção mais sustentável e menos dependente de insumos químicos.

O dióxido de carbono (CO_2) na agropecuária é emitido principalmente devido a mudanças no uso da terra e à queima de combustíveis, conforme aponta a FAO (2021). A conversão de florestas ou pastagens em áreas agrícolas pode transformar essas áreas, que antes atuavam como sumidouros de carbono, em fontes de emissão. Fatores como deficiência de nutrientes, secas e práticas inadequadas de manejo da terra podem acelerar a conversão do carbono orgânico do solo em CO_2 , seja por lixiviação ou respiração, resultando na redução da concentração de carbono no solo (Harrison *et al.*, 2021).

Por outro lado, enquanto pastagens degradadas são grandes emissoras de CO_2 , pastagens bem manejadas possuem um potencial significativo de sequestro de carbono. A recuperação e o manejo adequado dessas áreas podem capturar e armazenar grandes quantidades de carbono no solo, contribuindo significativamente para a mitigação das emissões de CO_2 . No Brasil, grande parte da soja e do milho usados na alimentação animal vem de áreas de expansão agrícola, onde o desmatamento contribui para aumentar a pegada de carbono¹ do leite produzido. Produzir alimentos para animais na própria propriedade ou adquiri-los de áreas consolidadas, sem desmatamento, pode reduzir as emissões da pecuária. Subprodutos agroindustriais, como resíduos de cervejaria e polpa cítrica, também são alternativas de baixo impacto ambiental para a alimentação animal, ajudando a diminuir as emissões (Barros *et al.*, 2022).

O conceito de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_2\text{-eq.}$) é amplamente utilizado como uma métrica para padronizar as emissões de gases de efeito estufa, permitindo comparações com base no impacto relativo de cada gás em relação ao dióxido de carbono (CO_2). O cálculo do $\text{CO}_2\text{-eq.}$ é realizado por meio da conversão do Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential*, GWP) (UNFCCC, 2012), que quantifica o quanto cada gás contribui para o aquecimento global ao longo de 100 anos, conforme proposto pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.

O GWP é uma medida crucial nos inventários de emissões, pois permite a agregação das emissões de diferentes gases em uma única métrica, facilitando a análise e comparação dos impactos ambientais. Os valores de GWP foram inicialmente estabelecidos no *Fourth*

¹ Pegada de carbono é uma medida quantitativa que avalia o impacto ambiental das atividades humanas, produtos, serviços ou processos em termos de emissões de gases de efeito estufa, principalmente o $\text{CO}_{2\text{eq}}$. (Embrapa, 2023).

Assessment Report (AR4), posteriormente revisados no *Fifth Assessment Report* (AR5) e depois atualizados em 2024 no *Sixth Assessment Report* (AR6) apresentados na tabela 1, refletindo atualizações científicas sobre a capacidade de aquecimento dos gases (IPCC, 2007; IPCC, 2013; IPCC, 2024). A aplicação desses valores de GWP na conversão das emissões em CO₂-eq. resulta na determinação da pegada de carbono, uma métrica essencial para avaliar e mitigar os impactos das atividades humanas no clima global.

Tabela 1-Valores do GWP dos gases de efeito estufa (IPCC)

Gás	GWP-100		
	AR4	AR5	AR6
Dióxido de carbono (CO₂)	1	1	1
Metano (CH₄)	25	28	29,8
Óxido nitroso (N₂O)	298	265	273

Fonte: Adaptado de IPCC (2007, 2013, 2024)

O metano gerado pela fermentação entérica é a principal fonte de emissões de GEE na produção de leite, representando entre 40% e 58% do total, seguido pela produção de alimentos para animais e o manejo de dejetos (Barros *et al.*, 2022). Embora o metano tenha um impacto climático maior que o CO₂ a curto prazo devido à sua alta capacidade de reter calor, sua influência diminui com o tempo, pois ele tem uma vida útil mais curta na atmosfera (Pinto, 2022). Em um horizonte de 20 anos, o Potencial de Aquecimento Global (GWP) do metano é 84 a 87 vezes maior que o do CO₂, enquanto em 100 anos, esse valor cai para cerca de 28 a 36 vezes (Energy, 2022). Isso destaca o impacto imediato e relevante do metano no aumento da temperatura global. Segundo o MCT (2010), a emissão média de metano por bovinos de leite é de 61 kg de CH₄ por cabeça ao ano. Esses animais representam cerca de 70% das emissões de CO₂ equivalente no setor pecuário, sendo os bovinos os maiores responsáveis (IPCC, 2022).

Práticas de manejo relacionadas à alimentação, genética e tratamento de dejetos são fundamentais para reduzir as emissões de metano na pecuária. A fermentação entérica, que responde por cerca de metade das emissões de GEE, é influenciada principalmente pela qualidade da dieta dos animais. Dietas balanceadas e de alta digestão reduzem significativamente a produção de metano. O uso de aditivos alimentares, como plantas com

taninos, óleos e gorduras, também pode contribuir para essa redução (MCT, 2010; Stewart *et al.*, 2019).

O manejo adequado do rebanho, com melhorias zootécnicas e seleção genética, pode aumentar a eficiência produtiva, reduzindo a proporção de animais não produtivos e, consequentemente, as emissões de GEE. A seleção genética focada no consumo alimentar residual também se mostra promissora na mitigação do metano (Rasar *et al.*, 2013). No manejo de dejetos, práticas que evitam lagoas abertas e promovem a digestão anaeróbia, além do retorno frequente dos resíduos às áreas de pastagem e produção, ajudam a reduzir as emissões de metano e óxido nitroso no sistema de produção (Barros *et al.*, 2022).

A crescente demanda por práticas éticas e transparentes, impulsionada por movimentos em prol do bem-estar animal e dos consumidores, tem levado as indústrias a adotar maior visibilidade em suas cadeias produtivas. Essa mudança reflete a convergência entre responsabilidade corporativa e sustentabilidade, onde a transparência se torna um diferencial competitivo no mercado.

2.2.1 Criação das ODS e ESG

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e o conceito de ESG (Environmental, Social and Governance) estão diretamente ligados à promoção da sustentabilidade e à responsabilidade social corporativa. Os ODS foram estabelecidos como uma agenda global voltada ao desenvolvimento sustentável em suas dimensões econômica, social e ambiental. Essa iniciativa foi resultado das negociações entre os países membros da ONU durante a aprovação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (ODS, 2018).

Por sua vez, o ESG refere-se a um conjunto de critérios ambientais, sociais e de governança que devem ser considerados pelas empresas em suas estratégias e operações. A adoção desses critérios contribui significativamente para o alcance dos ODS e, consequentemente, para um modelo de desenvolvimento mais sustentável.

O termo ESG surgiu nos anos 2000 como resposta às crescentes preocupações com sustentabilidade e responsabilidade social. Desde então, passou a ser utilizado por investidores e analistas financeiros como uma métrica para avaliar o desempenho de empresas nesses três pilares (Pacto Global, 2021). Essa abordagem permite comparar organizações de diferentes setores e regiões quanto ao seu compromisso com práticas sustentáveis.

Por se tratar de uma estratégia voltada à sustentabilidade corporativa, empresas e instituições são consideradas alinhadas aos princípios ESG quando adotam práticas que atendem a esses critérios (Figura 1) (Pacto Global, 2021).

- 01 – Respeitam e apoiam os direitos humanos reconhecidos internacionalmente na sua área de influência;
- 02 – Asseguram a não participação da empresa em violações dos direitos humanos;
- 03 – Apoiam a liberdade de associação e reconhecem o direito a negociação coletiva;
- 04 – Elimina todas as formas de trabalho forçado ou compulsório;
- 05 – Erradica todas as formas de trabalho infantil da sua cadeia produtiva;
- 06 – Estimula práticas que eliminem qualquer tipo de discriminação no emprego;
- 07 – Assume práticas que adotem uma abordagem preventiva, responsável e proativa para os desafios ambientais;
- 08 – Desenvolve iniciativas e práticas para promover e disseminar a responsabilidade socioambiental.
- 09 – Incentiva o desenvolvimento e a difusão de tecnologias ambientalmente responsáveis;
- 10 – Combate a corrupção em todas as suas formas.

Figura 1 - Gráfico explicativo do ESG.



Fonte: (Krost, 2023).

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) constituem uma agenda global lançada durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, realizada

em setembro de 2015. Essa agenda é composta por 17 objetivos principais (Figura 2) e 169 metas, com o propósito de serem alcançados até 2030. Os objetivos estabelecidos foram (Nações Unidas, 2015):

Figura 2 - Ilustração dos objetivos das ODS.



Fonte: (Estratégias ODS, 2024).

- 01 – Erradicação da pobreza: erradicar a pobreza em todas as suas formas e em todos os lugares.
- 02 – Fome zero e agricultura sustentável: acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável.
- 03 – Saúde e bem-estar: assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos.
- 04 – Educação de qualidade: assegurar a educação inclusiva, e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.
- 05 – Igualdade de gênero: alcançar a igualdade de gênero em todos os espaços (corporativos e educacionais).
- 06 – Água limpa e saneamento: garantir acesso à água potável e saneamento para todos em todos os lugares.
- 07 – Energia limpa e acessível: garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos.
- 08 – Trabalho decente e crescimento econômico: promover o crescimento econômico inclusivo e sustentável garantindo trabalho decente e direitos trabalhistas para todos.
- 09 – Inovação de infraestrutura: construir infraestrutura resiliente, promover a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação.

- 10 – Redução das desigualdades: reduzir as desigualdades dentro dos países e entre eles.
- 11 – Cidades e comunidades sustentáveis: tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.
- 12 – Consumo e produção responsáveis: assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.
- 13 – Ação contra a mudança global do clima: tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos.
- 14 – Vida na água: conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares, e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.
- 15 – Vida terrestre: proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da Terra e deter a perda da biodiversidade.
- 16 – Paz, justiça e instituições eficazes: promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.
- 17 – Parcerias e meios de implementação: fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) podem ser agrupados em quatro dimensões centrais: a dimensão social, que abrange necessidades humanas fundamentais, como saúde, educação, justiça e melhoria da qualidade de vida; a dimensão ambiental, voltada à preservação e conservação dos ecossistemas terrestres e marinhos; a dimensão econômica, que trata da gestão eficiente de recursos naturais, da promoção da reciclagem e da racionalização do consumo de energia e matéria-prima; e, por fim, a dimensão institucional, que considera as condições políticas, administrativas e estruturais de cada região para a efetivação das metas propostas (Nações Unidas, 2018).

A formulação dessa agenda global decorre da urgência em mobilizar líderes políticos, agentes públicos e atores relevantes do setor privado em torno de esforços concretos para enfrentar os desafios que comprometem o desenvolvimento econômico-sustentável e a equidade social. Nesse contexto, a incorporação de práticas sustentáveis e o alinhamento a critérios ESG (Environmental, Social and Governance) por parte de empresas e instituições tornam-se estratégias essenciais. Ao adotarem tais práticas em suas operações, esses agentes

contribuem significativamente para o avanço dos ODS e, consequentemente, para a construção de um futuro mais justo, sustentável e inclusivo (Pacto Global, 2021).

A elaboração de um inventário de gases de efeito estufa (GEE) para uma propriedade produtora de leite alinha-se diretamente aos princípios estabelecidos pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e aos critérios ESG (Environmental, Social and Governance). Essa iniciativa contribui especialmente para o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) e ODS 15 (Vida Terrestre), ao promover práticas de monitoramento ambiental, mitigação de impactos climáticos e manejo sustentável dos recursos naturais.

Sob a ótica do ESG, o estudo se insere no pilar ambiental (Environmental), à medida que fornece dados essenciais para a avaliação e redução das emissões de GEE, contribuindo para a adoção de tecnologias e estratégias que visam à sustentabilidade ambiental das operações agropecuárias. A análise sistemática das emissões torna-se fundamental não apenas para o atendimento de exigências regulatórias e de mercado, mas também para fomentar uma produção mais consciente, transparente e comprometida com as metas globais de sustentabilidade.

2.2.2 Políticas climáticas no Paraná

Como parte das políticas públicas estaduais voltadas ao enfrentamento das mudanças climáticas, o Estado do Paraná instituiu, por meio da Lei nº 17.133/2012, a Política Estadual sobre Mudanças do Clima. Esta legislação tem como objetivo central a formulação de estratégias e ações voltadas à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e à promoção de medidas de adaptação aos impactos climáticos (Paraná, 2012). O Plano de Ação Climática do Paraná (PAC-PR), como principal instrumento dessa política, está estruturado em quatro eixos: mitigação, adaptação, pesquisa e desenvolvimento, e educação ambiental. A elaboração e implementação do plano se dão de forma participativa, envolvendo consultas públicas e a atuação de órgãos como o Fórum Paranaense de Mudanças Climáticas Globais (Paraná, 2023a).

Além do marco legal, o estado tem investido em iniciativas técnicas e diagnósticas que subsidiam a formulação de políticas climáticas mais eficazes. Entre essas iniciativas, destaca-se o Diagnóstico Climático, fruto da colaboração entre Sedest, IAT e Simepar, que apresenta um panorama das ações em curso e fornece subsídios científicos à tomada de decisão.

Complementarmente, o Mapeamento de Vulnerabilidades identifica os municípios mais suscetíveis a eventos climáticos extremos, enquanto o 2º Inventário de Emissões de GEE (2005–2019) oferece estimativas atualizadas, inclusive em nível municipal, permitindo o monitoramento mais preciso das emissões por setor e região (Paraná, 2023b; Paraná, 2025).

No que tange à ação prática, o estado vem implementando estratégias voltadas à adaptação e mitigação, como o Plano de Adaptação Baseada em Ecossistemas (AbE) e o Plano ABC+ PR, (Paraná, 2023c; Paraná, 2020) este último com foco na sustentabilidade da agropecuária. Ambos os planos priorizam práticas baseadas na conservação de recursos naturais e na promoção de soluções sustentáveis, como a recuperação de áreas degradadas e o uso de tecnologias de baixa emissão de carbono. As metas e ações previstas no PAC-PR são discutidas publicamente, e o processo de consulta pública permite que a sociedade participe ativamente da construção de uma política climática robusta e transparente, fortalecendo a governança ambiental no estado (Paraná, 2025).

2.2.3 A utilização do *GHG Protocol* na produção de inventários

Os Inventários são documentos através dos quais os países e empresas relatam, para cada setor e categorias, as emissões e remoções dos principais gases de efeito estufa de origem antrópica no território nacional (UNFCCC, 1992). Os inventários de gases de efeito estufa (GEE) são fundamentais para que as empresas compreendam e gerenciem suas emissões de carbono.

Por meio da quantificação e monitoramento sistemático, essas ferramentas oferecem dados quantitativos e qualitativos indispensáveis para a gestão das emissões, facilitando a compreensão das suas origens e padrões (Barbosa, 2024). Elaborar e manter esses inventários é um passo inicial crucial para qualquer organização comprometida com o combate às mudanças climáticas. Para que as estratégias de mitigação sejam efetivas e cumpram as metas de redução, é vital que os resultados sejam constantemente atualizados e reportados nos inventários nacionais de emissões (Amon *et al.*, 2021).

Os cálculos das emissões de gases de efeito estufa (GEE) são feitos ao multiplicar os dados das atividades realizadas por fatores de emissão específicos, que indicam as taxas de emissão para cada prática (Amon *et al.*, 2011). Esses inventários podem se basear em dados de

produção ou consumo, com os inventários de produção sendo frequentemente aplicados dentro de áreas geográficas definidas (Castro *et al.*, 2020).

Além de fornecer uma visão detalhada sobre as emissões, os inventários de GEE oferecem às empresas oportunidades para engajamento no mercado de carbono, acesso a financiamentos verdes e desenvolvimento de projetos voltados para a eficiência e sustentabilidade. Essas iniciativas não apenas ajudam as empresas a reduzir seus impactos ambientais, mas também melhoram a sua competitividade ao demonstrar compromisso com a responsabilidade social e ambiental (FGV, 2008).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), avalia a ciência das mudanças climáticas para fornecer diretrizes políticas baseadas em evidências. O IPCC estima os impactos futuros e desenvolve estratégias de adaptação e mitigação, orientando decisões governamentais e reportando à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) (IPCC, 2018).

Grupos de Trabalho e a Força-Tarefa do IPCC são responsáveis por criar e aprimorar a metodologia para o cálculo e relato das emissões e sequestros de carbono em inventários nacionais de GEE. O IPCC estabeleceu princípios e diretrizes para a elaboração dos Inventários Nacionais de Gases do Efeito Estufa para garantir a qualidade e comparabilidade desses inventários (IPCC, 2006).

O IPCC define três níveis ("Tiers") para a metodologia de cálculo e relatório de emissões. O *Tier 1* é usado quando não há dados específicos de emissão ou de atividade, oferecendo parâmetros gerais para os cálculos. O *Tier 2* é aplicado quando há fatores de emissão e parâmetros específicos do país ou região. Já o *Tier 3* é a abordagem mais detalhada, permitindo o uso de métodos desenvolvidos especificamente pelo país, incluindo modelagem avançada e maior detalhamento dos inventários (IPCC, 2006).

Desenvolvido em 2001 pelo *World Resources Institute* (WRI) e pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), o *Greenhouse Gas* (GHG) *Protocol* é um padrão internacionalmente reconhecido que fornece orientações, ferramentas e treinamentos para medir e gerenciar emissões de gases que contribuem para o aquecimento, compatível com a ISO 14064 e os métodos do IPCC. Em 2008, foi criado o Programa Brasileiro *GHG Protocol* para fornecer ferramentas e treinamentos adaptados ao Brasil, incentivando empresas a elaborar inventários voluntários. Os dados são publicados na plataforma Registro Público de Emissões

e o programa é gerido pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (GHG Protocol, 2004, FGV, 2008). O *GHG Protocol* é o método mais amplamente utilizado para contabilização de emissões de GEE, sendo estruturado e consolidado em vários países, incluindo Brasil, China, Índia, México, Filipinas e Canadá.

Almeida (2023), em sua pesquisa comparativa, avaliou a eficácia de duas ferramentas para a realização de inventários de gases de efeito estufa (GEE) em propriedades de pecuária de leite: o *Greenhouse Gas (GHG) Protocol* e a *Cool Farm Tool (CFT)*. A análise revelou que o *GHG Protocol* demonstrou maior eficiência em comparação com a CFT. Especificamente, a CFT tende a subestimar as emissões de gases, particularmente nas atividades relacionadas ao cultivo de milho e à pecuária, além de potencialmente superestimar o sequestro de carbono no solo, devido à falta de ajuste para as condições brasileiras. O estudo destacou que o *GHG Protocol*, por outro lado, oferece uma avaliação mais precisa e adaptada às realidades locais, reforçando sua superioridade como ferramenta de inventário de GEE.

A escolha pelo uso do Protocolo de Gases de Efeito Estufa (GHG Protocol) nesta pesquisa fundamenta-se na sua ampla aceitação e reconhecimento internacional como ferramenta metodológica para quantificação, reporte e gestão das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Trata-se de um referencial consolidado e padronização dos critérios de contabilização das emissões.

No contexto brasileiro, destaca-se a adoção do *GHG Protocol* pelo Instituto Água e Terra (IAT), órgão ambiental do estado do Paraná, como base para suas ações relacionadas ao licenciamento ambiental e à formulação de planos básicos de controle ambiental (PBCA). A aplicação deste protocolo pelo IAT reforça sua relevância prática e institucional, demonstrando sua viabilidade e aderência às demandas dos processos de gestão ambiental no âmbito estadual (Paraná, 2022).

Dessa forma, a utilização do *GHG Protocol* neste estudo não apenas assegura a comparabilidade dos resultados com outras iniciativas nacionais e internacionais, como também alinha a pesquisa às diretrizes metodológicas já empregadas por órgãos oficiais de controle ambiental, conferindo maior legitimidade e aplicabilidade aos resultados obtidos.

2.2.4 Estimativa do balanço de GEE na produção leiteira

O setor agropecuário deve equilibrar a redução do aquecimento global com a manutenção da produção de alimentos. Para isso, há um aumento no interesse por tecnologias e investimentos que ajudam a mitigar as emissões de gases de efeito estufa (EIB, 2012). Avaliar as emissões em áreas como a produção de leite e monoculturas é fundamental para identificar formas de reduzir essas emissões (GHG Protocol, 2022).

O balanço exato das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na pecuária varia conforme uma série de fatores, incluindo práticas de gestão, sistema de produção, tipo de cultivo e localização geográfica (Pradhan *et al.*, 2019). Essas diferenças decorrem da diversidade de fazendas e são influenciadas por variáveis como espécie animal, alimentação, clima e manejo. A agricultura também altera o balanço das emissões, uma vez que a captura de carbono depende de fatores como o tipo de vegetação e permanência da cultura (Bai *et al.*, 2022). Essas características tornam a mensuração das emissões de GEE complexa e diversificada em diferentes cenários produtivos.

Na pecuária leiteira, os estudos focam principalmente no impacto de GEE, alimentando modelos matemáticos que simulam processos como fermentação entérica, decomposição de esterco e produção de alimentos. A determinação da pegada de carbono de uma fazenda envolve calcular todas as emissões em termos de CO₂ –eq. (Embrapa, 2023). Contudo, ainda existem divergências entre os estudos quanto à padronização das unidades de medida para a quantificação precisa dos GEE (Rotz, 2018).

Existem duas principais métricas usadas para calcular a pegada de carbono do leite. A primeira, chamada de energia corrigida para o leite (ECM), estima a pegada de carbono ao relacionar as emissões de gases de efeito estufa (CO₂-eq.) com a composição nutricional do leite, ajustando os níveis de gordura, proteína e lactose, conforme sua contribuição calórica (Bell *et al.*, 2011). Essa métrica permite uma análise mais precisa ao considerar a qualidade nutricional do leite produzido.

De acordo com a Unidade Funcional (UF) a segunda métrica utilizada é a produção de 1kg de leite cru corrigido para gordura e proteína (FPCM) na sigla do inglês “*fat and protein corrected milk*”, o FPMC ajusta a produção de leite com base em proporções uniformes de gordura e proteína. Isso permite comparações justas entre vacas, raças ou rebanhos distintos (Rotz, 2018). Enquanto o FPCM se concentra apenas nas proporções de gordura e proteína, o

ECM inclui o valor energético total, fornecendo uma visão mais abrangente. De acordo com o IPCC (2007, 2013) para à medida do cálculo de CO₂-eq., recomenda-se de 25 a 28 kg de CO₂-eq. por kg de CH₄ e 298 kg de CO₂-eq. por kg de N₂O tendo como base os últimos 100 anos (IPCC, 2007; IPCC, 2013). No entanto, variações podem ser encontradas entre diferentes autores e fontes de informação. As emissões de GEE em fazendas leiteiras bem gerenciadas encontram-se geralmente entre 0,8 e 1,2 kg de CO₂-eq. por kg de leite (Rotz, 2018).

Hörtenhuber *et al.* (2010) criou modelos para oito sistemas de produção diferentes na Áustria, usando o Microsoft Excel para realizar os cálculos. Esses sistemas estavam localizados em diversas regiões, incluindo áreas alpinas, terras altas e baixas, e englobavam métodos de produção convencionais² e orgânicos³, abrangendo tanto sistemas tradicionais quanto emergentes de laticínios baseados em pastagens. As emissões de gases de efeito estufa (GEE) por quilograma de leite variaram entre 0,90 e 1,17 kg de CO₂ -eq./kg para os sistemas convencionais, enquanto os sistemas orgânicos apresentaram uma redução média de 11%, com emissões variando de 0,81 a 1,02 kg de CO₂-eq/kg de leite. Em geral, uma maior produção de leite resultou em menores emissões de GEE por quilograma de leite, enquanto sistemas com menor produção de leite tiveram melhor desempenho em termos de emissões de GEE por hectare de terra utilizado. Para os sistemas convencionais, as emissões variaram de 5,2 a 7,6 kg de CO₂ -eq. ha/ano, enquanto para os sistemas orgânicos, a variação foi de 4,2 a 6,2 kg de CO₂ -eq. ha/ano. A diferença nas emissões entre sistemas convencionais e orgânicos foi mais significativa nos sistemas baseados em pastagens, em parte devido à não utilização de fertilizantes sintéticos na produção orgânica (Hörtenhuber *et al.*, 2010).

No estudo de Haas *et al.* (2001) realizou foi realizado um levantamento em seis fazendas de cada tipo de sistema (intensivo, extensivo e orgânico) na Baviera, Alemanha, através de entrevistas com os agricultores. Os resultados revelaram que o potencial de aquecimento global (GWP) por área foi de 9,4 t CO₂/ha para fazendas intensivas, 7,0 t CO₂/ha para fazendas extensivas e 6,3 t CO₂/ha para fazendas orgânicas, indicando que as fazendas orgânicas possuem a menor pegada de carbono por área. Já no uso de energia por produto, as fazendas extensivas apresentaram o menor GWP, com 1,0 t CO₂/ha, enquanto as fazendas intensivas e orgânicas tiveram emissões similares de 1,3 t CO₂/ha. Vale destacar que, embora as fazendas

² Sistema convencional envolve práticas intensivas, como confinamento em instalações fechadas ou pastagens de manejo intensivo. É aceitável o uso de insumos químicos visando aumentar a produtividade do pasto.

³ Sistemas orgânicos referem-se a métodos de produção agrícola que buscam minimizar o uso de insumos sintéticos, como pesticidas, herbicidas e fertilizantes químicos (Embrapa *et al.*, 2018).

orgânicas tenham emissões menores de CO₂ e N₂O, elas compensam isso com uma maior emissão de CH₄ por unidade de leite, devido ao menor rendimento de leite nessas propriedades.

O estudo realizado por Bell *et al.* (2011) analisou o impacto ambiental de diversos sistemas de produção de laticínios no Reino Unido, focando nas emissões de CO₂ –eq. e no uso da terra. Os resultados indicaram uma redução média de aproximadamente 6,5% nas emissões de CO₂-eq. e na utilização de terra associada ao rebanho. Aproximadamente 4% dessa redução pode ser atribuída a melhorias na seleção genética dos animais. Além disso, diferentes abordagens de produção mostraram que avanços na eficiência alimentar também contribuíram para a diminuição das emissões de CO₂-eq. /kg de leite equivalente (ECM) e por hectare, o que resultou em menor área de terra necessária para sustentar o rebanho.

A eficiência alimentar desempenha um papel crucial na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na produção de leite, destacando-se o impacto direto da dieta no teor de fibra em detergente neutro (FDN) e suas implicações nas emissões provenientes do esterco (Uddin *et al.*, 2020). A análise foi realizada por meio do método da câmara estática, que captura os gases emitidos pelo solo, avaliando o esterco de vacas Holandesas e Jersey alimentadas com dietas variáveis em teor de FDN. A pesquisa monitorou o armazenamento do esterco por 50 dias, seguido de 50 dias após sua aplicação no solo, revelando que o teor de FDN influenciou a composição do esterco, mas não a raça dos animais. As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O não apresentaram grandes variações, exceto no caso do CO₂, que aumentou com dietas ricas em FDN.

Almeida (2023) conduziu seu estudo em uma fazenda leiteira integrada à produção vegetal em Guaranésia, Minas Gerais, Brasil, utilizando a ferramenta *Greenhouse Gas Protocol* (GHG). A fazenda, com 171 hectares, tem áreas de milho, pastagem, sistema silvipastoril, eucalipto, além de Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal. O rebanho tem 125 animais e produção média de 800 litros de leite por dia. Foram quantificadas as seguintes emissões líquidas de GEE: na área de pastagem e pecuária, foram estimadas 767,86 toneladas de CO₂-eq. com o *GHG Protocol*. A área de milho apresentou 173,62 toneladas de CO₂-eq. Já a área de eucalipto mostrou um sequestro de – 18,53 t.CO₂-eq., e as áreas de APP e Reserva Legal sequestraram -841,32 t. CO₂-eq. No balanço final, a fazenda resultou em -52,23 toneladas de CO₂-eq. Neste estudo o sistema silvipastoril contribui para mitigação de emissões na produção leiteira.

A intensificação dos sistemas de produção agropecuária pode resultar em reduções expressivas nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), especialmente quando associada a sistemas integrados, que também mitigam os impactos das mudanças no uso da terra (Hörtenhuber *et al.*, 2010). Esses sistemas são particularmente importantes em países em desenvolvimento, onde os desafios ambientais relacionados ao uso da terra são mais acentuados e o potencial para mitigação é maior (Gerssen-Gondelach *et al.*, 2017). No entanto, a maior parte dos estudos se concentra em países desenvolvidos, o que ressalta a necessidade de mais pesquisas focadas nas regiões em desenvolvimento para uma visão global mais equilibrada (Ivanovich *et al.*, 2023).

As emissões médias de GEE variam conforme as especificidades dos sistemas de produção, como o manejo do gado, a alimentação, as raças bovinas e a localização geográfica (Gerssen-Gondelach *et al.*, 2017). Conforme os estudos avançam na modelagem das emissões de gases de efeito estufa (GEE) nas fazendas, há uma crescente demanda por mais dados e por modelos mais robustos e precisos. Isso é fundamental para calcular corretamente as emissões de carbono e, assim, apoiar o desenvolvimento de políticas e práticas sustentáveis que possam ser aplicadas de forma eficaz em diversas regiões do mundo.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

A metodologia usada seguiu protocolo descrito em Almeida (2023), com modificações para se adequar ao cenário da propriedade rural em estudo.

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A coleta de dados, análises e demais avaliações foram realizadas entre os meses de agosto a setembro de 2024, localizada no município de Carambeí (Figura 3), localizada na mesorregião centro-oriental, na microrregião de Ponta Grossa do estado do Paraná (24°55'45"S, 50°08'18"O), ilustrada na Figura 4.

A vegetação nativa pertence ao bioma Mata Atlântica⁴ e o solo da região foi identificado como argiloso⁵, segundo a classificação da região do estado do Paraná, disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2015). Estas informações foram adicionadas na base de dados do *GHG Protocol*, pois afeta diretamente nos cálculos das emissões de GEE.

Figura 3 - Localização da cidade de Carambeí no Estado do Paraná.



Fonte: (Google Imagens, 2024).

Figura 4 - Localização da propriedade rural.

⁴Predominam os campos limpos, caracterizados por extensas áreas de gramíneas, do tipo savana gramíneo-lenhosa, com matas e capões. Pertence ao ecossistema da Floresta Ombrófila Mista (fitofisionomia de campo natural estepe gramíneo-lenhosa) com a dominância de *Araucaria angustifolia*, região de clima temperado quente ou subtropical de altitude (Embrapa, 2015).

⁵ Refere-se ao solo que possui conteúdo de argila maior que 35% e menor que 60% (Embrapa, 2006).



Fonte: Adaptado de Google Earth (2024).

A propriedade atua no setor de produção leiteira há 11 anos, possui uma área total de 78,5 hectares. O sistema usado é o semi-intensivo, no qual a criação de vacas leiteiras consiste no fornecimento de concentrado (ração) e silagem (milho), juntamente com a alimentação fornecida pelas pastagens. Na tabela 2 é mostrada a divisão da área total de acordo com o uso da terra na propriedade em estudo (Tabela 2).

Tabela 2- Descrição da propriedade em estudo.

Descrição	Quantidade
Área Construída (ha)	1
Eucalipto (ha)	2,5
Lavoura (ha)	48
Área de APP e Reserva Legal (ha)	27
Área total (ha)	78,5

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Durante o verão, 42 hectares da área de lavoura foram destinados ao cultivo de milho, utilizado inteiramente para produção de silagem destinada à alimentação animal. A safra de 2024 teve início em setembro e a colheita ocorreu em janeiro. No período de entressafra, 22 hectares dessa área foram ocupados com azevém, que serve como pastagem para os animais, enquanto os 26 hectares restantes foram plantados com aveia.

Na área destinada ao Eucalipto, são encontradas um híbrido de espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. O produtor iniciou o plantio em 2011 e a área permanece até hoje intocada. A propriedade possui 27 hectares de mata, sendo divididos em Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal.

O plantel da propriedade é da raça Jersey e Holandês, com o total 138 animais, sendo divididos em 48 vacas lactantes, 9 vacas vazias, 30 novilhas, 25 bezerras e 10 bois para a engorda. A produção média de leite por dia é de 1.337 litros. Em média, a produção diária de leite por animal é de 27 litros.

A alimentação dos animais, dividida em 2 tratos ao dia, era composta por silagem de milho e fornecimento de concentrado (ração).

O manejo dos dejetos animais é realizado por meio do armazenamento em uma esterqueira, um tanque escavado e impermeabilizado destinado à fermentação dos resíduos. Esse processo reduz o potencial poluente dos dejetos, permitindo seu aproveitamento como fertilizante em lavouras e pastagens. Após um período de 60 dias, o material de dentro da esterqueira se transforma em biofertilizante, sendo removido gradualmente e aplicado nas áreas agrícolas e de pastagem.

3.2 ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO DE GASES DO EFEITO ESTUFA

Elaborado conforme descrito em Almeida (2023), este processo de inventário envolve os seguintes procedimentos:

3.2.1 Coleta de dados

O levantamento de dados foi realizado por meio dos formulários: *GHG Protocol* módulo *Agricultura* (ANEXO A) e módulo *Florestas* (ANEXO B), sendo coletadas todas as informações necessárias para elaboração do inventário dos gases de efeito estufa (GEE) no período de setembro de 2023 a setembro de 2024. Essa delimitação temporal foi adotada para abranger o intervalo entre as safras de milho.

3.2.2 Abordagem de cálculo

Para a realização do cálculo das emissões de gases de efeito estufa (GEE) da agricultura, pecuária e pastagem, foi utilizada a ferramenta de cálculo *GHG Protocol Agricultura*, na qual abrange características do solo, diagnóstico de degradação da pastagem, adubação utilizada, operações mecanizadas utilizadas, informações sobre o rebanho, manejo de dejetos, consumo de energia e consumo de combustíveis fósseis.

A inclusão da área de Eucalipto, Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal, foi utilizada a ferramenta *GHG Protocol Florestas*, na qual inclui a descrição das espécies implantadas, informações sobre características do solo, quantidades de árvores por hectare, espaçamento das árvores, queima de biomassa por incêndio, adubação utilizada, condição ou correção de solo, corte ou desbaste e consumo de combustíveis fósseis.

Os cálculos são realizados a partir da multiplicação dos dados da atividade analisada com fatores de emissão correspondentes.

3.2.3 GHG Protocol Agricultura e Florestas

A metodologia utilizada no estudo visa auxiliar gestores na elaboração de inventários de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no setor agropecuário. Baseada na ferramenta de cálculo do Programa Brasileiro *GHG Protocol* para Agricultura e Florestas, a metodologia possibilita o cálculo de emissões provenientes de diversas fontes, adaptada para a realidade brasileira, e segue diretrizes internacionais, como o IPCC e os padrões ISO 14.064, que abrangem os três gases: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) (GHG Protocol, 2014; GHG Protocol, 2015).

A ferramenta é acessível através do site do *GHG Protocol Brasil* e consiste em planilhas de Excel (WRI Brasil, 2020), desenvolvidas em parceria entre o WRI, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). A versão "*GHG Protocol - Agricultura*" (V. 3.10) e "*GHG Protocol - Florestas*" (V. 1.9.2) foram aplicadas para calcular as emissões de uma propriedade estudada, abordando tanto fontes mecânicas quanto não mecânicas.

Essas ferramentas permitem que produtores e empresas de diversos setores, como agricultura, pecuária e silvicultura, mensurem suas emissões de GEE, planejem estratégias de mitigação e reportem ao mercado. A ferramenta busca utilizar sempre que possível o *Tier 2*, ou

seja, dados específicos dos estados brasileiros. Somente na ausência de informações específicas, adotaram-se os valores de *Tier 1* (GHG Protocol, 2015; WRI Brasil, 2020). Para a ferramenta GHG Florestas, o *Tier 3* foi usado na ferramenta apenas para determinar a biomassa carbono da vegetação nativa (WRI Brasil, 2020), conforme recomendado pelo IPCC e o inventário nacional de GEE.

As emissões são divididas em três escopos: o escopo 1 inclui emissões diretas controladas pela organização; o escopo 2 abrange as emissões indiretas de energia adquirida; e o escopo 3 aborda emissões indiretas externas à organização. Escopo 1 e 2 são de relato obrigatório, segundo as Diretrizes Agrícolas Brasileiras (DAB) (GHG Protocol, 2015).

Para cálculos no módulo Agricultura, foram utilizadas as abas "Milho" e "Pastagem e Pecuária", enquanto no módulo Florestas foram utilizadas as abas de "Eucalipto" e "Sistemas Agroflorestais", com foco em áreas de eucalipto, APPs e reservas legais. Entretanto, são importantes análises mais precisas das espécies presentes para não superestimar o sequestro pela área.

3.3 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE CENÁRIO ATUAL

Para a construção dos inventários, foi utilizado o modelo proposto pelo Programa Brasileiro de *GHG Protocol* (GHG Protocol, 2015) contemplando informações sobre as fontes de emissões, os gases, os resultados das emissões/sequestros.

3.4 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE CENÁRIO SUGERIDO

Para a elaboração do inventário de emissões para o cenário sugerido, adotou-se a metodologia proposta pelo Programa Brasileiro do *GHG Protocol* (GHG Protocol, 2015). O estudo considerou um cenário ideal ou projetado para o futuro, incorporando tecnologias e práticas sustentáveis, como a adoção de tratores elétricos para a redução do consumo de combustíveis fósseis, o uso de biodigestores para o manejo eficiente dos dejetos e a implementação de um sistema silvipastoril, que contribui tanto para o sequestro de gases de efeito estufa na propriedade quanto para o bem-estar animal.

A estimativa das emissões no cenário proposto, considerou-se a substituição total da frota de tratores convencionais por tratores elétricos na propriedade em estudo. Para os cálculos,

utilizou-se a ferramenta “GHG Protocol – *Agricultura*”, assumindo que não haveria consumo de combustíveis fósseis em nenhuma das operações realizadas na propriedade.

No que se refere ao manejo de dejetos, na aba “Pastagem e Pecuária” do “GHG Protocol, - *Agricultura*”, foi selecionada a opção “biodigestor” para a contabilização das emissões, considerando a adoção dessa tecnologia para tratamento dos resíduos orgânicos.

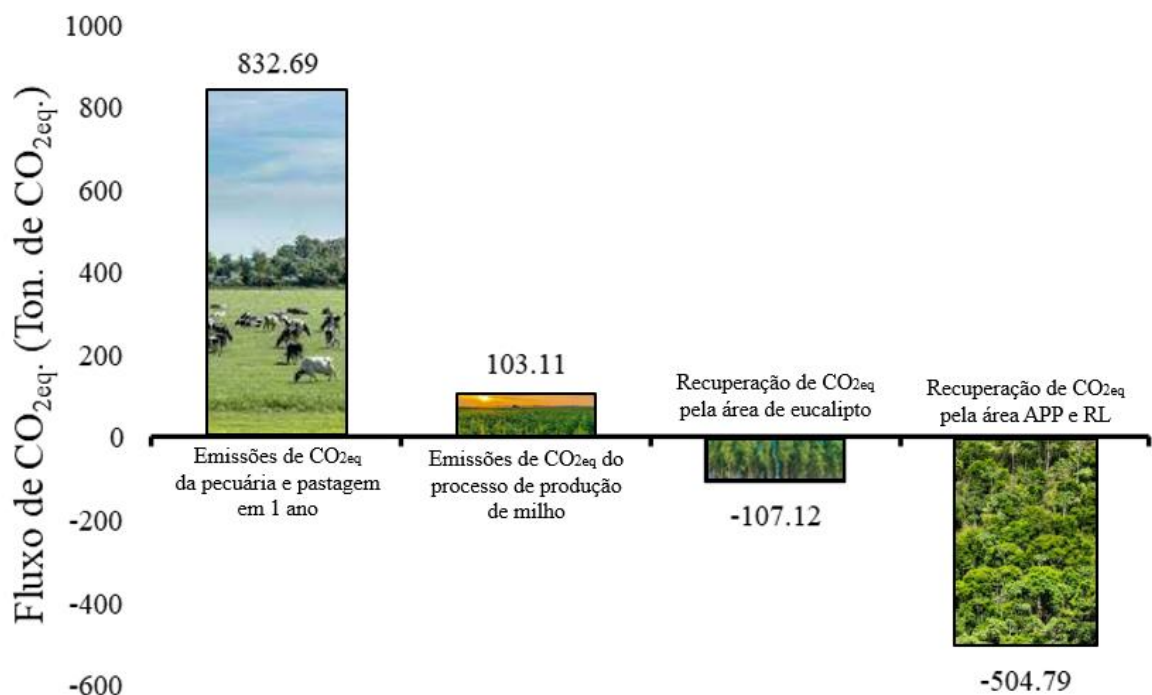
Para a implementação do sistema silvipastoril, os cálculos foram embasados nos dados apresentados por Almeida (2023). No estudo de referência (ANEXO C), realizado na Fazenda Gordura, a área de silvipastagem correspondia a 3 hectares. No entanto, para o cenário sugerido neste estudo, estipulou-se uma área de 22 hectares, correspondente à totalidade da área de pastagem disponível na propriedade.

CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA NOS CENÁRIOS ATUAL E SUGERIDO

4.1 RESUMO GERAL DAS EMISSÕES NO CENÁRIO ATUAL

De acordo com o *GHG Protocol*, a propriedade apresentou um balanço final de 322,19 toneladas de CO₂-eq., totalizando a emissão de 935,8 toneladas de CO₂-eq. e uma recuperação de -611,91 toneladas de CO₂-eq. de gases de efeito estufa da atmosfera na fazenda durante um ano (Figura 5).

Figura 5 - Comparação entre emissão de CO_{2eq} pela pecuária e a recuperação de CO_{2eq}, equivalentes a um período de 1 ano.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Legenda: APP: área de preservação permanente; RL: reserva legal

4.1.1 Emissões na pastagem e pecuária

Analisando os resultados obtidos pela ferramenta, a área de pastagem e pecuária apresentou o balanço de emissões líquidas (emissões menos sequestros) de 832,69 toneladas de CO₂-eq. em um ano.

O total de emissões de GEE no Escopo 1 foi de 828,35 toneladas de CO₂-eq. Em média, a cada hectare de área cultivada, são emitidas 37,65 toneladas de CO₂-eq./ha. E por cabeça, são emitidas 6,00 toneladas de CO₂-eq./animal de GEE. Não há emissões registradas para o Escopo 2. As emissões no Escopo 3 totalizam 3,21 toneladas de CO₂-eq. Em média, a cada hectare de área cultivada, são emitidas 0,15 toneladas de CO₂-eq. Por unidade (cabeça), são emitidas 0,02 toneladas de CO₂-eq./animal de GEE no Escopo 3. As emissões por processos biogênicos são de 0,12 toneladas de CO₂ e 0,05 toneladas de CO₂-eq. por hectare de área cultivada.

Os valores apresentados no balanço do GEE pelos cálculos realizados por meio da ferramenta *GHG Protocol* indicam que foram emitidas 832,69 toneladas de CO₂-eq. no total (Tabela 3). Este resultado consiste nos valores apresentados acima das emissões de escopo 1 e 3, processos biogênicos e mudança de uso e ocupação do solo. Em relação à área, a emissão foi de 37,85 toneladas de CO₂-eq./ha. Considerando o número de animais, a emissão foi de 6,03 toneladas de CO₂-eq./animal. Isso sugere que área de pastagem e pecuária está contribuindo com emissões de gases de efeito estufa, com uma média de emissão por hectare e por animal.

Tabela 3 - Emissões por escopo pelo setor de pastagem e pecuária.

	Total (tonelada de CO₂ eq.)	Por área cultivada (tonelada CO₂ eq./hectare)	Por cabeça (tonelada CO₂ eq./cabeça)
Escopo 1	828,35	37,65	6,00
Escopo 2	0,00	0,00	0,00
Escopo 3	3,21	0,15	0,02
Processos biogênicos	1,13	0,05	0,01

Fonte: Elaborado pela autora (2025).
Legenda: Valores expressos em toneladas.

Os valores detalhados por categoria apresentados pela ferramenta *GHG Protocol* foram apresentados a seguir (Tabela 4). Para calagem, obteve-se o valor de 0,25 toneladas de CO₂-eq., referente às emissões associadas à aplicação de calcário para ajuste do pH do solo, o que pode afetar as emissões de GEE, especialmente devido às emissões de CO₂ durante a produção ou transporte do calcário. As emissões associadas à aplicação de fertilizantes orgânicos, resultaram em 14,29 toneladas de CO₂-eq., nesta categoria foram registrados 0,05 toneladas de N₂O, gerado durante o processo de combustão da matéria orgânica.

A lixiviação e o escoamento superficial geraram 4,03 toneladas de CO₂-eq., sendo 0,01 provenientes de emissões de N₂O. Estes são provenientes da lixiviação de nutrientes e escoamento hídrico que podem carregar poluentes orgânicos para os corpos d'água e contribuir para emissões provenientes de ambientes aquáticos. A deposição atmosférica de N volatilizado resultou em um total de 3,57 toneladas de CO₂-eq. As emissões de óxido nitroso nesta categoria foram equivalentes a 0,01 toneladas.

O sistema de manejo de resíduos da fazenda resultou em 14,69 toneladas de CO₂ equivalentes, predominantemente devido ao tratamento e eliminação de resíduos animais, como esterco, com 0,05 toneladas referente as emissões de N₂O. Além disso, as emissões específicas relacionadas ao manejo de dejetos de animais somaram 26,26 toneladas de CO₂-eq. com 1,05 provenientes da liberação de CH₄, refletindo as práticas de coleta e tratamento desses resíduos. Quanto às operações mecanizadas, foram geradas 10,67 toneladas de CO₂-eq., associadas ao uso de maquinaria agrícola e operações mecânicas na fazenda

Na fermentação entérica não foram geradas emissões diretas de CO₂ ou N₂O, assim como durante o manejo de esterco, mas foi registrado um total de 30,22 toneladas de CH₄, resultando em um equivalente de 755,58 toneladas de CO₂-eq. Para manejo de esterco foram registradas 26,26 toneladas de CO₂-eq. Essas informações são valiosas para avaliar o impacto ambiental das atividades agrícolas e pecuárias e podem auxiliar na identificação de áreas de melhoria em termos de sustentabilidade e redução das emissões de gases de efeito estufa (Tabela 4).

Tabela 4 - Distribuição de GEE produzidos pelo setor de pastagem e pecuária.

Fonte	Detalhes	Emissões (tonelada)			Total (tonelada de CO _{2eq})
		CO ₂	N ₂ O	CH ₄	
Aplicação de ureia	-	0,02	0	0	0,05
Calagem	-	0,25	0	0	0,25
Fertilizante nitrogenado sintético	Exceto ureia	0	0	0	0
Adubação orgânica	-	0	0,05	0	14,29
Lixiviação/escoamento superficial	Emissões indiretas	0	0,01	0	4,03
Deposição atm. de N volatilizado	Emissões indiretas	0	0,01	0	3,57
Manejo de solos orgânicos	-	0	0	0	0

Sistema de manejo de dejetos	<i>Tier 2</i>	0	0,05	0	14,69
Manejo de dejetos de animais	-	0	0	1,05	26,26
Fermentação entérica	-	0	0	30,22	755,58
Operações mecanizadas	-	10,62	0	0	10,67
Estoque de carbono na veg. nativa	-	0	0	0	0
Transporte da produção	-	3,20	0	0	3,21

Fonte: Elaborado pela autora (2025).
 Legenda: Valores expressos em toneladas.

4.1.2 Emissões na produção de milho

O balanço de GEE emitidos pelo *GHG Protocol* para a produção de milho indicam que foram emitidas 103,11 toneladas de CO₂-eq. no total (Tabela 5). Este resultado consiste na soma dos valores das emissões de escopo 1 e 3, processos biogênicos e mudança de uso e ocupação do solo. O escopo 2 não apresentou valores significativos para este balanço.

O escopo 1 apresentou um total de emissões no escopo 1 de 102,54 toneladas de CO₂-eq. Isso equivale a uma média de 2,44 toneladas de CO₂-eq. por hectare de área cultivada e 0,08 toneladas de CO₂-eq. por tonelada de milho produzida. As emissões por processos biogênicos são de 0,01 toneladas de CO₂-eq. por hectare de área cultivada.

No escopo 3 não apresentou emissões de CO₂-eq. por não haver transporte da produção, toda a produção de milho é consumida na propriedade pelos animais.

Tabela 5 - Emissões por escopo durante o processo de produção de milho.

	Total (tonelada de CO₂ eq.)	Por área cultivada (tonelada de CO₂eq./hectare)	Por tonelada produzida (tonelada de CO₂eq./tonelada)
Escopo 1	102,54	2,44	0,08
Escopo 2	0,00	0,00	0,00
Escopo 3	0,00	0,00	0,00
Processos biogênicos	0,57	0,01	0,00

Fonte: Elaborado pela autora (2025).
 Legenda: Valores expressos em toneladas.

Quanto aos dados fornecidos por categoria pela ferramenta *GHG Protocol* (Tabela 6), o setor de calagem emitiu 0,48 toneladas de CO₂-eq. A aplicação de fertilizante nitrogenado sintético, com exceção da ureia, resultou em emissões de 0,34 toneladas de CO₂-eq. Reduzir o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados sintéticos e implementar práticas de manejo de nutrientes mais eficientes podem ajudar a reduzir as emissões de metano e óxido nitroso, além de economizar custos de insumos.

A categoria de lixiviação e escoamento superficial foi responsável por emissões indiretas de 0,02 toneladas de N₂O, somando 5,74 toneladas de CO₂-eq. Deposição atmosférica de N volatilizado também resultou em 0,02 toneladas de N₂O e 4,99 toneladas de CO₂-eq. Quanto à decomposição de resíduos vegetais, as emissões dessa fonte foram de 0,22 toneladas de óxido nitroso e 65,27 toneladas de CO₂-eq. As emissões por operações mecanizadas produziram 5,55 toneladas de CO₂, com um total equivalente a 5,58 toneladas de CO₂-eq., considerando as contribuições insignificantes de N₂O e CH₄.

Tabela 6 - Distribuição de GEE produzidos por setor durante o processo de produção de milho.

Fonte	Detalhes	Emissões (tonelada)			Total (tonelada de CO ₂ eq.)
		CO ₂	N ₂ O	CH ₄	
Aplicação de ureia	-	0,26	0	0	0,67
Calagem	-	0,48	0	0	0,48
Fertilizante nitrogenado sintético	Exceto ureia	0	0	0	0,34
Adubação orgânica	-	0	0,07	0	19,48
Lixiviação/escoamento superficial	Emissões indiretas	0	0,02	0	5,74
Deposição atm. de N volatilizado	Emissões indiretas	0	0,02	0	4,99
Decomposição de resíduos	-	0	0,22	0	65,27
Manejo de solos orgânicos	-	0	0	0	0
Operações mecanizadas	-	5,55	0	0	5,58
Estoque de carbono na veg. nativa	-	0	0	0	0
Transporte da produção	-	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pela autora (2025).
Legenda: Valores expressos em toneladas.

4.1.3 Emissões florestais segundo o protocolo GHG

A ferramenta *GHG Protocol Florestas* calcula o sequestro dos GEE pela floresta. As áreas de eucalipto, de preservação permanente (APP) e reserva legal (RL) em 1 ano apresentaram emissões líquidas no valor de -107,12 e -504,79 toneladas de CO₂-eq., respectivamente, segundo inventário fornecido pelo *GHG Protocol*.

Os valores fornecidos pelo *GHG Protocol* para a área de eucalipto revelam um balanço de emissões significativamente negativo. A área de eucalipto abrange 2,5 hectares e apresenta um balanço de GEE de -1990,04 toneladas de CO₂ equivalente ao longo de 21 anos. Esta parcela da propriedade atua como um sumidouro líquido de grande parcela das emissões da propriedade. No contexto da fazenda como um todo, que inclui produção de milho, pecuária, áreas de APP e reserva legal, esses valores são fundamentais para entender o impacto geral das diferentes atividades na emissão líquida de GEE.

Para as áreas de preservação permanente (APP) e reserva legal, os cálculos foram estimados de acordo com o estudo realizado por Almeida (2023). Essa abordagem foi adotada por ser uma área fechada, sem intervenção humana, com dificuldade de identificação das espécies e quantidades específicas no local, utilizando-se assim dados de referência do estudo. As áreas de APP e reserva legal apresentaram juntas o balanço total de emissões de GEE de -20.191,75 toneladas de CO₂-eq., este valor representa uma quantidade líquida de emissões retiradas ou sequestradas da atmosfera ao longo de 40 anos. Em relação à área, o balanço de emissões por hectare foi de -504,79 toneladas de CO₂-eq., em relação à unidade de planta, o balanço de emissões é de -2,09 toneladas de CO₂-eq. por árvore, indicando que, em média, cada planta contribui para a remoção de emissões da atmosfera.

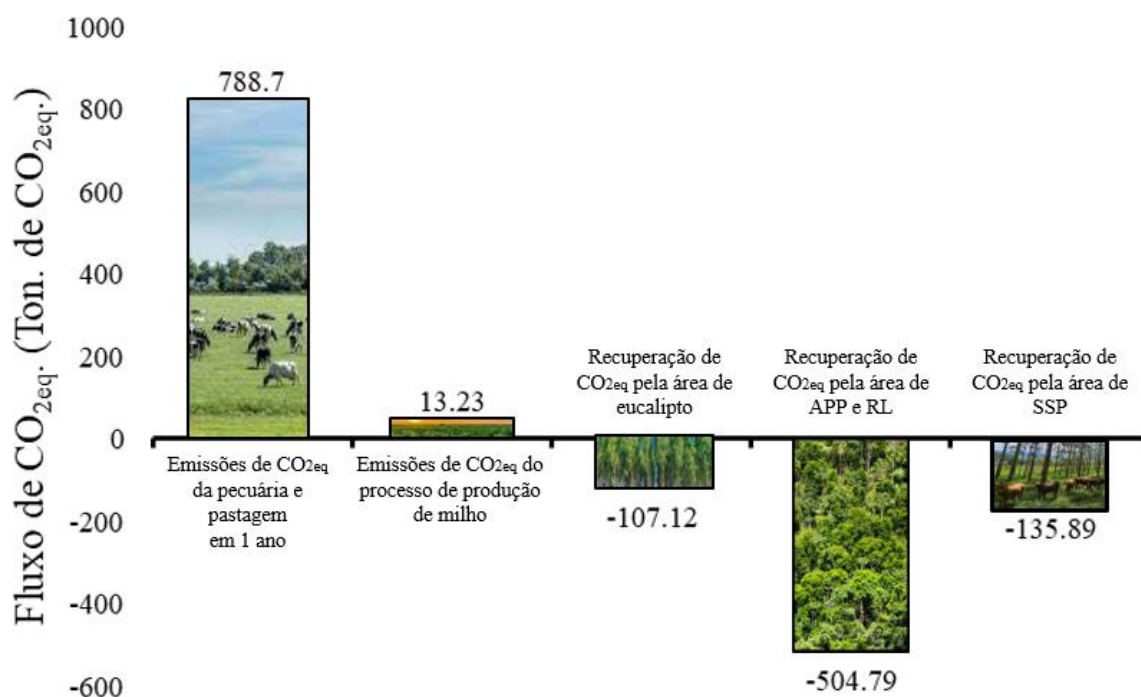
O balanço de emissões da área de eucalipto, APP e RL, considerando um período de 21 anos e 40 anos (de acordo com a ferramenta) respectivamente, apresentam valores de emissões exponenciais entre as emissões pelo sistema e o sequestro pela biomassa arbórea. É possível verificar um sistema sustentável, de acordo com a compensação das emissões de GEE ao longo de 40 anos, segundo as projeções fornecidas pela ferramenta *GHG Protocol*. Uma análise total do balanço de GEE pode ser realizada com base nos resultados obtidos através da combinação adequada dos balanços individuais de cada área para determinar o resultado total de emissões ou sequestros na propriedade.

4.2 ESTIMATIVAS DAS EMISSÕES NO CENÁRIO SUGERIDO

No cenário proposto, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa é abordada por meio da adoção de tecnologias e práticas sustentáveis, incluindo a substituição da frota de tratores convencionais por tratores elétricos, a implementação de biodigestores para o manejo eficiente dos dejetos e a introdução do sistema silvipastoril. A integração dessas estratégias visa não apenas reduzir o uso de combustíveis fósseis e minimizar a liberação de metano proveniente da decomposição dos resíduos orgânicos, mas também promover o sequestro de carbono no solo e melhorar o bem-estar animal, contribuindo para a sustentabilidade da produção leiteira.

De acordo com o *GHG Protocol*, com a adoção das práticas sustentáveis sugeridas (Figura 6), a propriedade apresentou um balanço final de 54,13 toneladas de CO₂-eq., totalizando a emissão de 801,93 toneladas de CO₂-eq. e uma recuperação de -747,80 toneladas de CO₂-eq. de gases de efeito estufa da atmosfera na fazenda durante um ano.

Figura 6 - Comparação entre emissão de CO_{2eq} pela pecuária e a recuperação de CO_{2eq}, com a aplicação de práticas de sustentáveis, equivalentes a um período de 1 ano.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Legenda: APP: área de preservação permanente; RL: reserva legal; SSP: sistema silvipastoril.

4.2.1 Estimativas na pastagem e pecuária

A análise dos resultados obtidos por meio da ferramenta indicou que, no cenário proposto, a área destinada à pastagem e à pecuária apresentou um balanço de emissões líquidas (diferença entre emissões e sequestro de carbono) de 788,70 toneladas de CO₂-eq ao longo de um ano.

O total de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Escopo 1 foi de 788,70 toneladas de CO₂-eq. Em termos médios, a emissão por hectare de área cultivada corresponde a 35,85 toneladas de CO₂-eq/ha, enquanto a emissão por animal registrado na propriedade foi de 5,72 toneladas de CO₂-eq/cabeça. Não foram identificadas emissões nos Escopos 2 e 3 (Tabela 7).

Tabela 7- Emissões por escopo pelo setor de pastagem e pecuária no cenário sugerido.

	Total (tonelada de CO₂ eq.)	Por área cultivada (tonelada CO₂ eq./hectare)	Por cabeça (tonelada CO₂ eq./cabeça)
Escopo 1	788,70	35,85	5,72
Escopo 2	0,00	0,00	0,00
Escopo 3	0,00	0,00	0,00
Processos biogênicos	0,00	0,05	0,01

Fonte: Elaborado pela autora (2025).
Legenda: Valores expressos em toneladas.

Os valores detalhados por categoria, conforme apresentados pela ferramenta GHG *Protocol*, são descritos a seguir (Tabela 8). A calagem resultou em emissões de 0,25 toneladas de CO₂-eq, atribuídas à aplicação de calcário para a correção do pH do solo. Esse processo pode influenciar as emissões de gases de efeito estufa (GEE), principalmente devido à liberação de CO₂ durante a produção e o transporte do insumo. Já a aplicação de fertilizantes orgânicos não apresentou emissões detectáveis.

As emissões associadas à lixiviação e ao escoamento superficial totalizaram 0,01 toneladas de CO₂-eq, enquanto a deposição atmosférica do nitrogênio volatilizado também resultou em 0,01 toneladas de CO₂-eq.

O sistema de manejo de resíduos na propriedade gerou 9,11 toneladas de CO₂-eq, majoritariamente decorrentes do tratamento e descarte de resíduos animais, como esterco, com

emissões de 0,03 toneladas de N₂O. Além disso, as emissões associadas ao manejo de dejetos animais totalizaram 26,19 toneladas de CO₂-eq, sendo 1,05 toneladas provenientes da liberação de CH₄, refletindo o impacto das práticas adotadas na coleta e tratamento desses resíduos.

No que se refere às operações mecanizadas, não foram registradas emissões de GEE associadas ao uso de maquinário agrícola e às atividades mecânicas na propriedade.

Com relação à fermentação entérica, não foram identificadas emissões diretas de CO₂ ou N₂O. No entanto, foi contabilizada uma emissão de 30,12 toneladas de CH₄, o que equivale a 753,08 toneladas de CO₂-eq. Para o manejo de esterco, o total registrado foi de 26,19 toneladas de CO₂-eq.

Tabela 8 - Distribuição de GEE produzidos pelo setor de pastagem e pecuária no cenário sugerido.

Fonte	Detalhes	Emissões (tonelada)			Total (tonelada de CO ₂ eq)
		CO ₂	N ₂ O	CH ₄	
Aplicação de ureia	-	0,02	0	0	0,05
Calagem	-	0,25	0	0	0,25
Fertilizante nitrogenado sintético	Exceto ureia	0	0	0	0
Adubação orgânica	-	0	0	0	0
Lixiviação/escoamento superficial	Emissões indiretas	0	0	0	0,01
Deposição atm. de N volatilizado	Emissões indiretas	0	0	0	0,01
Manejo de solos orgânicos	-	0	0	0	0
Sistema de manejo de dejetos	<i>Tier 2</i>	0	0,03	0	9,11
Manejo de dejetos de animais	-	0	0	1,05	26,19
Fermentação entérica	-	0	0	30,12	753,08
Operações mecanizadas	-	0	0	0	0
Estoque de carbono na veg. nativa	-	0	0	0	0
Transporte da produção	-	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pela autora (2025).
Legenda: Valores expressos em toneladas.

4.2.2 Estimativas na produção de milho

O balanço de emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a produção de milho, calculado com base na ferramenta *GHG Protocol*, indicou um total de 13,23 toneladas de CO₂-eq. Esse valor corresponde à soma das emissões provenientes do Escopo 1, processos biogênicos e da mudança no uso e ocupação do solo. As emissões dos Escopos 2 e 3 não apresentaram valores significativos para o balanço geral (Tabela 9).

As emissões do Escopo 1 totalizaram 67,13 toneladas de CO₂-eq. o que equivale, em média, a 1,60 toneladas de CO₂-eq. por hectare de área cultivada e 0,05 toneladas de CO₂-eq. por tonelada de milho produzida. Não foram registradas emissões provenientes de processos biogênicos. Entretanto, a mudança no uso e ocupação do solo resultou em uma remoção de 53,90 toneladas de CO₂-eq. correspondendo a 1,28 toneladas de CO₂-eq. removidas por hectare.

Tabela 9 - Emissões por escopo durante o processo de produção de milho no cenário sugerido.

	Total (tonelada de CO₂ eq.)	Por área cultivada (tonelada CO₂eq./hectare)	Por cabeça (tonelada CO₂eq./tonelada)
Escopo 1	67,13	1,60	0,05
Escopo 2	0,00	0,00	0,00
Escopo 3	0,00	0,00	0,00
Processos biogênicos	1,13	0,05	0,00
Mudança de Uso e Ocupação do Solo	-53,90	-1,28	0,04

Fonte: Elaborado pela autora (2025).
Legenda: Valores expressos em toneladas.

De acordo com os dados categorizados pela ferramenta *GHG Protocol* (Tabela 10), as emissões associadas à calagem totalizaram 0,48 toneladas de CO₂-eq. A aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos, exceto ureia, gerou emissões de 0,33 toneladas de CO₂ eq.

As emissões resultantes da lixiviação e do escoamento superficial somaram 0,27 toneladas de CO₂-eq, enquanto a deposição atmosférica de nitrogênio volatilizado contribuiu com 0,12 toneladas de CO₂-eq. No que se refere à decomposição de resíduos vegetais, as

emissões registradas foram de 0,22 toneladas de óxido nitroso (N₂O), correspondendo a um total de 65,27 toneladas de CO₂-eq.

Já as operações mecanizadas com o uso de combustíveis fósseis não apresentaram emissões significativas por conta do uso de tratores elétricos.

Tabela 10 - Distribuição de GEE produzidos por setor durante o processo de produção de milho no cenário sugerido.

Fonte	Detalhes	Emissões (tonelada)			Total (tonelada de CO ₂ eq.)
		CO ₂	N ₂ O	CH ₄	
Aplicação de ureia	-	0,26	0	0	0,67
Calagem	-	0,48	0	0	0,48
Fertilizante nitrogenado sintético	Exceto ureia	0	0	0	0,33
Adubação orgânica	-	0	0	0	0
Lixiviação/escoamento superficial	Emissões indiretas	0	0	0	0,27
Deposição atm. de N volatilizado	Emissões indiretas	0	0	0	0,12
Decomposição de resíduos	-	0	0,22	0	65,27
Manejo de solos orgânicos	-	0	0	0	0
Operações mecanizadas	-	0	0	0	0
Estoque de carbono na veg. nativa	-	0	0	0	0
Transporte da produção	-	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pela autora (2025).
Legenda: Valores expressos em toneladas.

4.2.3 Estimativas para o sistema silvipastoril

Caso a área de pastagem da propriedade em estudo fosse convertida para um sistema silvipastoril, as estimativas de sequestro de carbono foram calculadas com base nos dados apresentados por Almeida (2023). A escolha desse referencial se justifica pela disponibilidade de informações consolidadas sobre a capacidade de mitigação de gases de efeito estufa (GEE) em áreas manejadas sob esse sistema.

O sistema silvipastoril promove o aumento da captura de CO₂ da atmosfera por meio da integração de árvores, pastagens e animais, contribuindo para a melhoria da qualidade do solo, o microclima local e o bem-estar animal. Considerando a totalidade dos 22 hectares de pastagem da propriedade, a implementação desse modelo de manejo resultaria em uma redução estimada de 135,89 toneladas de CO₂-eq por ano, reforçando seu potencial como estratégia de mitigação ambiental na pecuária.

CAPÍTULO 5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 CENÁRIO ATUAL

Após a análise dos resultados obtidos utilizando o *GHG Protocol*, observou-se um balanço final de 322,19 toneladas de CO₂-eq., resultante de emissões totais de 935,8 toneladas de CO₂-eq. e uma captura de -611,91 toneladas de CO₂-eq, correspondente à remoção de gases de efeito estufa da atmosfera pela fazenda ao longo de um ano. O *GHG Protocol*, amplamente reconhecido como a principal metodologia para gestão e mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) em nível empresarial (Alromaizan *et al.*, 2023), oferece diretrizes padronizadas e ferramentas de reporte, disponibilizadas online (GHG Protocol, 2022). Seu uso tem crescido de forma significativa no setor agrícola, auxiliando na contabilização e redução de emissões.

Os resultados deste estudo mostram que, na propriedade analisada, com 22 hectares destinados à pastagem e pecuária, e um rebanho de 138 animais, o balanço líquido de emissões foi de 832,69 toneladas de CO₂-eq. ao longo de um ano. Já na área de produção de milho, com 42 hectares, o balanço de GEE, conforme os cálculos realizados pelo *GHG Protocol*, indicou emissões totais de 103,11 toneladas de CO₂-eq. no mesmo período.

Foi demonstrado que a fermentação entérica dos animais foi a principal fonte de emissões de gases de efeito estufa (GEE), representando 90,7% do total. Em seguida, as emissões provenientes do manejo do esterco contribuíram com 5%, a adubação orgânica com 1,7% e as operações mecanizadas com 1,3%. Ao comparar com o estudo de Almeida (2023), observa-se que as vacas também foram a maior fonte de emissões de GEE, devido à fermentação entérica (78,5%), seguidas pelas emissões associadas ao manejo dos dejetos (18,7%), à adubação orgânica (1,8%) e, por último, ao transporte da produção (1,2%). Essa comparação evidencia a predominância da fermentação entérica como o maior contribuinte para as emissões de GEE, enquanto as demais fontes variam conforme as práticas de manejo adotadas.

No estudo de Almeida (2023), a Fazenda Gordura, que adota o sistema silvipastoril, apresentou emissões de 2,63 t CO₂-eq por litro de leite, com 110 animais e produção diária de 800 litros. Em comparação, o presente estudo, com 138 animais (48 em lactação e 10 bois) e produção diária de 1.337 litros, registrou emissões menores: 1,71 t CO₂-eq por litro. Isso indica

maior eficiência produtiva e ambiental no sistema semi-intensivo analisado, devido ao melhor uso de insumos e maior produtividade por animal.

Smedman *et al.* (2010) introduziram o índice de Densidade Nutricional/Impacto Climático (DNIC), que combina a densidade de nutrientes de alimentos com suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) durante a produção. O estudo comparou as emissões de GEE de diferentes bebidas, incluindo leite, refrigerantes, suco de laranja, cerveja, vinho, água mineral gasosa e bebidas de soja e aveia. O leite apresentou uma das maiores emissões de CO₂, com 99 g de CO₂-eq. por 100 g do produto. No entanto, neste estudo, ao considerar o DNIC, o leite teve vantagem sobre as demais bebidas devido ao seu alto valor nutricional (Tabela 11).

Tabela 11 - Densidade nutricional, em relação ao impacto climático.

Alimento	Porcentagem de NNR em 100g de produto	Número de nutrientes >5% da NNR	Densidade nutricional	Emissão de GEE	Índice DNIC
Leite	128	9	53,8	99	0,54
Refrigerante	7	0	0	109	0
Suco de laranja	90	4	17,,2	61	0,28
Cerveja	18	0	0	101	0
Vinho Tinto	24	1	1,2	204	0,01
Água mineral	2	0	0	10	0
Bebida de soja	53	3	7,6	30	0,25
Bebida de aveia	32	1	1,5	21	0,07

Fonte: Smedman *et al.* (2010).

Legenda: NNR: Recomendações Nórdicas de Nutrição; Índice DNIC: Índice de Densidade Nutricional/Impacto Climático (DNIC=densidade nutricional/emissão de gases de efeito estufa); Emissão de GEE: emissão de GEE (g de equivalente CO₂ por 100g de produto); Densidade nutricional: Porcentagem de NNR em 100g de produto x número de nutrientes >5% da NNR/21.

O metano além de ser caracterizado como um importante GEE, responsável por 15% do aquecimento global, quando é de origem entérica tem relação direta com a eficiência da fermentação ruminal em virtude da perda de carbono e, consequentemente, perda de energia, influenciando o desempenho animal (BELL *et al.*, 2011). O conhecimento dos mecanismos de síntese de metano e os fatores que afetam sua produção são importantes. O desafio no sistema

produtivo de ruminantes é desenvolver dietas e estratégias de manejo que minimizem a produção relativa de metano, possibilitando maior eficiência produtiva e redução da contribuição negativa da pecuária para o aquecimento global.

5.2 CENÁRIO SUGERIDO

A análise de diferentes cenários produtivos possibilita a identificação de estratégias eficazes para a mitigação dos impactos ambientais, garantindo, simultaneamente, a manutenção da eficiência econômica. Neste tópico, serão apresentadas soluções encontradas para a redução das emissões de GEE associadas à atividade, bem como a discussão dos cenários propostos para a propriedade rural em estudo.

Uma sugestão para o uso na propriedade é a adoção de tratores elétricos, a transição energética no setor agrícola impulsiona a adoção de tratores elétricos, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e beneficiando o agronegócio, que representa 25% do PIB brasileiro. Segundo Leroutier e Quirion (2023), esses veículos não emitem poluentes diretamente, pois não utilizam combustão para gerar energia mecânica. No entanto, sua produção e o fornecimento de eletricidade envolvem impactos ambientais, tornando inadequada a concepção de que são totalmente isentos de efeitos ecológicos.

Em 2022, a New Holland, integrante do conglomerado CNH Industrial, apresentou o protótipo do T4 Electric Power, um trator elétrico com recursos autônomos, cuja produção se iniciaria no final do ano. Segundo a New Holland Agriculture, a eletrificação agrícola visa aumentar a rentabilidade dos produtores por meio da redução de custos operacionais e da adoção de fontes sustentáveis de energia, como painéis fotovoltaicos e biogás (Venditti, 2023).

O T4 Electric Power possui motor entre 75 cv e 120 cv e bateria de íon de lítio de 110 kWh, garantindo um dia de operação com recarga noturna. A demanda por eletrificação agrícola cresce, impulsionando investimentos na tecnologia. A eletrificação reduz os custos operacionais em até 90% devido à menor necessidade de manutenção e elimina o consumo de diesel. Além disso, o trator opera com 90% menos ruído, minimizando vibrações e melhorando o bem-estar animal (Venditti, 2023).

No entanto, a eletrificação em zonas rurais apresenta desafios, como o aumento da geração de resíduos eletrônicos, exigindo estratégias eficazes de reciclagem e descarte responsável para mitigar impactos ambientais (García *et al.*, 2023). Além disso, a crescente

demanda por eletricidade pode comprometer a resiliência dos ecossistemas locais, tornando essencial um planejamento sustentável e adaptativo (Santos, 2024).

O uso de biocombustíveis em tratores e outras máquinas agrícolas em propriedades de pecuária de leite representa uma estratégia promissora para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor. Embora o RenovaBio seja direcionado à cadeia de produção e distribuição de biocombustíveis, sua lógica de incentivo (baseada na emissão e comercialização de Créditos de Descarbonização) pode ser adaptada ou servir de modelo para iniciativas que valorizem a substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis no meio rural (Brasil, 2017). Ao adotar biodiesel ou etanol em suas operações mecanizadas, propriedades leiteiras podem reduzir sua intensidade de carbono, e, se inseridas em sistemas de certificação reconhecidos, potencialmente gerar créditos de carbono comercializáveis (Embrapa, 2023). Essa abordagem não apenas contribui para metas de sustentabilidade ambiental, mas também pode abrir novas fontes de receita para os produtores, integrando a pecuária de leite aos mercados emergentes de carbono no Brasil.

Kamwa e Matevosyan (2023) destacam que a utilização de fontes renováveis, como energia solar e eólica, na matriz energética dos veículos elétricos pode minimizar impactos ambientais diretos, como emissões de poluentes e degradação da fauna e flora, além de reduzir significativamente impactos indiretos em comparação com outras fontes de energia.

Conforme os cálculos realizados por meio da plataforma GHG *Protocol*, a substituição integral da frota de tratores convencionais por tratores elétricos durante as operações de plantio e colheita poderia reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas à produção de milho para silagem em 87,17%. Essa redução corresponderia a um total de 13,23 toneladas de CO₂ equivalente (CO₂-eq) ao longo de um ano.

Segundo a Embrapa (2012) ajustes na dieta dos animais, como por exemplo, a substituição de carboidratos fibrosos (celulose e hemiceluloses) por carboidratos não fibrosos (amido e açúcares) resulta em significativas modificações nas condições físico-químicas do rúmen e população microbiana. O desenvolvimento de bactérias amilolíticas resulta no aumento da proporção de propionato e redução de acetato. Consequentemente, há queda na produção de metano devido à redução da disponibilidade de H₂ no rúmen.

Feng e Kebread (2020) investigaram o impacto da utilização de aditivos alimentares para mitigação de gases de efeito estufa (GEE) em bovinos leiteiros, em um estudo conduzido na Califórnia. Os aditivos 3-nitroxipropanol e nitrato foram avaliados quanto à sua eficácia na

redução das emissões de GEE da fermentação entéricas dos bovinos. Utilizando a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), o estudo analisou o impacto ambiental desde o nascimento do animal até sua saída da fazenda, considerando as emissões associadas à produção agrícola, produção de aditivos, metano entérico, manejo da fazenda e armazenamento de esterco. O 3-nitroxipropanol reduziu as emissões em 11,7%, enquanto o nitrato alcançou uma redução de 3,95%. Apesar da melhoria observada, a eficácia dos aditivos foi limitada durante a fase de lactação, o que restringe seu potencial de mitigação. No entanto, o 3-nitroxipropanol mostrou-se mais eficiente na redução das emissões totais de GEE em comparação com o nitrato. O estudo destaca a variabilidade nos impactos dos diferentes aditivos e como as especificidades da alimentação podem influenciar a pegada de carbono do setor leiteiro.

Na propriedade estudada, o manejo do esterco é responsável por uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE), totalizando 40,95 toneladas de CO₂-eq. ao longo de um ano. Uma medida eficaz para mitigar essas emissões é a adoção de biodigestores para produção de energia, associada a uma análise de viabilidade econômica. Pesquisas indicam que pequenas e médias propriedades bovinas no Brasil poderiam gerar receita e reduzir significativamente as emissões de GEE através da produção de biogás e biofertilizantes (Guiducci *et al.*, 2024).

O biodigestor é um sistema fechado onde bactérias anaeróbias degradam a matéria orgânica, gerando biogás e biofertilizante. Esse sistema pode operar de forma contínua, com abastecimento regular e fluxo constante de resíduos, ou em batelada, onde a matéria é tratada completamente antes da retirada. Diversas fontes de biomassa, como esterco animal e resíduos vegetais, podem ser utilizadas para produção de energia. (Oliveira *et al.*, 2024). De acordo com os cálculos realizados por meio da plataforma GHG Protocol, caso ocorresse a destinação integral dos dejetos animais para um biodigestor poderia reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) da atividade pecuária em 5,28%. Essa mitigação resultaria um total de 788,70 toneladas de CO₂ equivalente (CO₂-eq) em um período de um ano.

Estudo realizado por Diniz (2024) avaliou o uso de biodigestores em pequenas propriedades rurais como alternativa para diminuir o impacto ambiental do esterco, além de gerar biogás e biofertilizante. Nas regiões de Resende, Barra Mansa e Valença, o retorno sobre o investimento em biodigestores varia de 2,1 a 4,7 anos; no entanto, a adoção dessa tecnologia ainda é limitada devido ao baixo conhecimento e suporte técnico, embora o interesse dos produtores seja crescente. Em um cenário onde 90% das propriedades adotassem o biodigestor,

o biogás gerado teria potencial econômico de R\$ 2,05 bilhões, e o uso do digestato como fertilizante economizaria insumos, evitando 343 mil toneladas de CO₂. Esses resultados destacam o uso de biodigestores como uma prática sustentável e economicamente viável para a agropecuária brasileira (Guiducci *et al.*, 2024).

Em outro estudo realizado por Costa (2023) foi encontrado que o biogás pode ser obtido de diferentes tipos de esterco, neste estudo foi usado o esterco bovino, onde 11,1915 kg de esterco foi capaz de gerar 0,6572 Nm³ de biogás (17 kg de esterco/ Nm³ de biogás), quantidade necessária para a geração de 1 kWh de energia. Os dados da produção diária de dejetos, biogás, eletricidade e coprodutos da fazenda leiteira, mostraram que a geração de energia elétrica com o biogás é suficiente para abastecer parte da fazenda em horários de picos. Além de ser uma produção sustentável, possibilitando também uma economia financeira nos gastos com energia elétrica, onde pode-se se economizar cerca de 95% no valor do kWh cobrado pela concessionária local, e como também o aproveitamento de seus subprodutos, como o composto sólido usado como cama animal, e o biofertilizante que retorna ao processo de digestão anaeróbica, e futuramente pode ser irrigado nas pastagens.

Os insumos agroquímicos, como fertilizantes sintéticos e defensivos químicos, têm impulsionado a produtividade agrícola, mas seu uso contínuo afeta o meio ambiente e a saúde pública. Fertilizantes químicos fornecem nutrientes essenciais às plantas, porém seu uso intensivo contribui para poluição, eutrofização, acidificação do solo e contaminação dos lençóis freáticos. Além disso, reduzem a diversidade microbiana do solo, prejudicando processos biológicos fundamentais (Oliveira, 2020).

A produção de fertilizantes fósseis eleva custos agrícolas e impactos ambientais, como ocorre com os fertilizantes fosfatados, cuja extração de fósforo é limitada e gera resíduos difíceis de descartar (Owen *et al.*, 2014). A dependência desses produtos impulsiona a busca por fertilizantes alternativos. A agricultura orgânica, baseada na incorporação de matéria orgânica, surge como alternativa sustentável, reduzindo impactos ambientais e custos produtivos (Oliveira, 2020). Resíduos orgânicos rurais e urbanos possuem potencial para substituir fertilizantes sintéticos, promovendo retorno econômico e preservação ambiental (Nunes *et al.*, 2018).

Os biofertilizantes têm diversas definições na literatura. Santos (2001) os descreve como efluentes líquidos da fermentação de matéria orgânica. Já Alfa *et al.* (2014), Nagananda *et al.* (2010) e Sevilla-Perea e Mingorance (2015) os consideram formulações com microrganismos

que promovem o crescimento vegetal ao disponibilizar nutrientes. Medeiros e Lopes (2006) os definem como resíduos da fermentação de compostos orgânicos, contendo microrganismos vivos ou latentes e seus metabólitos.

Estudos indicam que a fertilização com biofertilizante e esterco bovino aumenta a produtividade de hortaliças (Tanaka *et al.*, 2003). Além disso, o uso de microrganismos benéficos melhora a disponibilidade de nutrientes, ajudando a reduzir a dependência de fertilizantes químicos e pesticidas (Vassilev *et al.*, 2015).

Na propriedade em estudo, os dejetos animais são armazenados em uma esterqueira, onde passam por um processo de fermentação que reduz seu potencial poluente, permitindo seu aproveitamento como fertilizante em lavouras e pastagens.

Para garantir a eficiência desse processo, a esterqueira deve apresentar profundidade de 2,5 metros e formato trapezoidal, com a base inferior menor que a superior. Sua capacidade é determinada pela quantidade de dejetos produzidos na propriedade, sendo influenciada pelo número de animais, a frequência das ordenhas diárias e o tempo que o rebanho permanece no pasto ou no curral (Antonini, 2021).

Diariamente, os dejetos líquidos provenientes da lavagem das instalações (sala de ordenha, curral e estábulo) são depositados na esterqueira, onde permanecem em fermentação por um período de 60 dias. Durante esse tempo, ocorrem reações bioquímicas que estabilizam o material, reduzindo seu impacto ambiental e garantindo sua absorção pelas plantas sem risco de contaminação dos recursos hídricos. Após esse período, o material fermentado pode ser gradualmente removido e utilizado como biofertilizante.

No estudo, a emissão de GEE para 42 hectares de milho foi de 103,11 toneladas de CO₂-eq. um resultado de 2,45 CO₂-eq./ha/ano. Esse valor supera a média brasileira de emissões para a produção de milho, estimada em 6,5 milhões de toneladas de CO₂-eq. nos últimos 20 anos, com uma variação de 0,3 a 2,2 milhões de toneladas de CO₂-eq./ha/ano (Novaes, 2017). No entanto, as emissões observadas na propriedade analisada foram menores do que as relatadas por Almeida (2023), que registrou 173,62 toneladas de CO₂-eq. em 46 hectares, ou seja, a importância de 3,77 CO₂-eq./ha/ano.

Na produção de milho o maior contribuinte das emissões de GEE foram a decomposição de resíduos (63,30%), adubação orgânica (18,89%), emissões indiretas como a lixiviação/escoamento superficial e a deposição atmosférica de nitrogênio volatilizado (10,41%) e por último as operações mecanizadas (5,41%).

Para o cálculo das emissões pelo *GHG Protocol*, são necessários dois tipos principais de dados: dados de atividade e fatores de emissão. Os dados de atividade referem-se a medidas quantificáveis das atividades que geram emissões de GEE, como o consumo de combustível. Já os fatores de emissão são coeficientes que convertem esses dados em emissões de GEE, indicando, por exemplo, a quantidade de CO₂ liberada por litro de combustível consumido (*GHG Protocol*, 2004). O transporte relacionado à produção, insere-se no âmbito das emissões do escopo 3, correspondendo às emissões indiretas resultantes de atividades ao longo da cadeia de valor, tanto na origem quanto no destino, e que estão fora do controle direto da empresa. No setor de pecuária e pastagem, o consumo de combustível associado ao transporte da produção resultou em emissões de 3,21 CO₂-eq/ano. No caso da produção de milho, as emissões relacionadas ao transporte não foram contabilizadas, pois toda a produção de milho é destinada à silagem para os animais. Portanto, foram contabilizadas apenas as emissões relacionadas ao uso de combustível nas operações de produção de milho, totalizando 5,58 CO₂-eq/ano. As operações mecânicas na pecuária e pastagem geraram emissões de 10,67 CO₂-eq/ano.

Os componentes arbóreos têm grande potencial para sequestrar carbono tanto acima quanto abaixo do solo, sendo fundamental sua análise na propriedade. Oliveira *et al.* (2022) destacam que o plantio de árvores pode ser uma estratégia eficaz para mitigar a emissão de gases de efeito estufa (GEE). O *GHG Protocol* Florestas forneceu dados específicos sobre as emissões do sistema florestal, com base nas informações deste estudo. Na área de eucalipto plantada em 2011, na qual era uma área anteriormente degradada, houve um resultado positivo de sequestro de carbono. Após o plantio, a área foi incluída como Área de Preservação Permanente (APP) e reserva legal, promovendo a sustentabilidade. Segundo o *GHG Protocol*, as emissões líquidas na área de eucalipto foram de -107,12 toneladas de CO₂-eq/ano, e nas áreas de APP e reserva legal, de -504,79 toneladas de CO₂-eq/ano, totalizando -611,91 toneladas de CO₂-eq durante o período de 1 ano.

Esses resultados indicam que a área atua como um sumidouro de carbono, contribuindo para a mitigação das emissões de GEE. As árvores e a vegetação local estão desempenhando um papel significativo na captura de carbono, em consonância com outros estudos que também identificaram emissões negativas de CO₂ (Novaes *et al.*, 2017). O solo, classificado como argiloso, foi automaticamente incluído nos cálculos de captura de carbono, embora o *GHG Protocol* não apresente uma estimativa separada para o sequestro pelo solo.

O controle das emissões de carbono está fortemente condicionado por fatores como temperatura do solo, umidade e uso da terra, que são diretamente influenciados pelas características geológicas e meteorológicas regionais. O sequestro de carbono no solo destaca-se como uma fonte essencial de créditos de compensação, sendo responsável por aproximadamente 89% do potencial global de mitigação das emissões agrícolas (Baah-Acheamfour *et al.*, 2016).

O estudo de Gütlein *et al.* (2018) foram avaliadas 60 amostras de solo de 12 ecossistemas distintos entre os anos de 2011 e 2015, investigando diferentes usos da terra no Monte Kilimanjaro. A pesquisa combinou técnicas de câmara in situ de longo prazo com incubação de núcleo de solo em laboratório, permitindo uma análise detalhada da dinâmica dos gases de efeito estufa (GEE). Os resultados mostraram padrões consistentes na troca de GEE, destacando que a proteção e o manejo sustentável dos estoques de carbono e nitrogênio, tanto acima quanto abaixo do solo, são essenciais para mitigar as emissões de GEE resultantes de mudanças no uso da terra em sistemas agroflorestais.

O solo, em geral, atua como uma fonte líquida de óxido nitroso (N_2O) e como um sumidouro de metano (CH_4). As emissões de N_2O correlacionaram-se positivamente com a umidade do solo e o teor de nitrogênio total, enquanto as taxas de absorção de CH_4 apresentaram correlação negativa com a umidade e o teor de argila do solo, mas positiva com o carbono orgânico presente. Esses achados reforçam a importância do manejo adequado do solo para otimizar a captura de carbono e reduzir as emissões de GEE (Gütlein *et al.*, 2018).

Os sistemas silvipastoris (SSP) consistem na integração intencional de árvores, pastagens e animais em uma mesma área, promovendo sustentabilidade e diversificação produtiva. No Brasil, são predominantemente compostos por espécies arbóreas exóticas, plantadas em linhas ou distribuídas na pastagem, devido ao rápido crescimento e ao fornecimento de madeira (Deniz, 2024). No entanto, a recomendação de arranjos adequados ainda é um desafio, devido ao conhecimento limitado sobre as melhores configurações para cada propriedade (De-Sousa *et al.*, 2021).

Para maximizar os benefícios do sistema silvipastoril, é essencial um planejamento adequado, envolvendo a seleção de espécies arbóreas, com crescimento moderado e copas pouco densas, além de forrageiras adaptadas à sombra (Deniz, 2024). Esses fatores aumentam a viabilidade do sistema, aumento da produção e facilitam sua adoção pelos produtores. Além de otimizar o uso da terra, os sistemas silvipastoris proporcionam benefícios ambientais, como

sequestro de carbono, recuperação de áreas degradadas e aumento da biodiversidade. As árvores modificam o microclima, reduzindo a radiação solar e a temperatura do solo (Deniz *et al.*, 2021), o que melhora o conforto térmico dos animais. Bovinos leiteiros demonstram alta motivação para acessar sombra natural e tendem a passar mais tempo em áreas sombreadas no verão, resultando em melhor bem-estar animal e maior tempo de pastejo (De-Sousa *et al.*, 2021). Dessa forma, a implantação de sistemas silvipastoris representa uma alternativa viável para intensificar a produção pecuária de maneira sustentável, sem necessidade de novas áreas, proporcionando bem-estar animal e maior resiliência ambiental às propriedades rurais (Deniz, 2024).

De acordo com a pesquisa de Almeida (2023), o sistema silvipastoril, embora também emita GEE, ele demonstra uma maior capacidade de retenção de CO₂ no solo, o que contribui para a redução das emissões de N₂O e uma maior absorção de CH₄, especialmente nas áreas de floresta nativa e pastagens adjacentes. A Fazenda Gordura, localizada no bioma Mata Atlântica - Mista, conta com 3 hectares de sistema silvipastoril, 5 hectares de plantio de eucalipto e 45 hectares de Áreas de Preservação Permanente (APP) e reserva legal. O cálculo das emissões, realizado pela ferramenta GHG *Protocol*, indicou que o sistema silvipastoril apresentou emissões líquidas de -18,53 toneladas de CO₂-eq/ano, as áreas de eucalipto registraram -133,86 toneladas de CO₂-eq/ano, e as APPs e reservas legais -841,32 toneladas de CO₂-eq/ano, totalizando -993,71 toneladas de CO₂-eq no período de um ano (Almeida, 2023).

Caso a área de pastagem da propriedade em estudo fosse convertida para um sistema silvipastoril, as estimativas de cálculo foram realizadas com base no estudo de Almeida (2023). Essa abordagem foi adotada devido à disponibilidade de dados de referência que já estabeleciam a quantidade de gases de efeito estufa (GEE) sequestrada por uma área silvipastoril em termos de CO₂ equivalente (CO₂-eq) ao longo de um ano. Considerando a totalidade dos 22 hectares de pastagem da propriedade, a adoção do sistema silvipastoril resultaria em uma redução estimada de 135,89 toneladas de CO₂-eq por ano.

No estudo de Baah-Acheamfour (2016), conduzido em Alberta, Canadá, foram monitorados mensalmente os fluxos de CO₂, CH₄ e N₂O do solo, bem como o potencial de aquecimento global médio (GW_{Pm}), em solos florestais e herbáceos de três sistemas agroflorestais: cerca viva, corredor ecológico e silvipastoril, durante duas estações. Utilizando câmaras de acrílico inseridas a 6 cm de profundidade no solo, as concentrações dos gases foram determinadas por cromatografia a gás. Os resultados indicaram que o sistema silvipastoril foi o

mais eficaz na captura de CO₂ em comparação aos outros sistemas. Quanto ao GWPM das emissões de GEE, as cercas vivas apresentaram o maior valor (88 kg CO₂/ha), seguidas pelo corredor ecológico (85 kg CO₂/ha) e pelo sistema silvipastoril (76 kg CO₂/ha).

Para o reflorestamento de áreas degradadas, está em vigor a normativa nº 14, de 1º de julho de 2024, que estabelece diretrizes para a recuperação ambiental no Brasil, visando prevenir a desertificação e restaurar ecossistemas degradados (IBAMA, 2024). Publicada pelo Ministério do Meio Ambiente, a normativa fornece orientações detalhadas para o uso prioritário de espécies nativas e para a adoção de práticas de manejo sustentável. Essa abordagem busca promover a conservação da biodiversidade, assegurar a resiliência ecológica e melhorar a qualidade do solo, favorecendo a regeneração de áreas sensíveis e impactadas.

Fazendas extensivas e orgânicas apresentam menores emissões de amônia em comparação com fazendas intensivas, devido à menor taxa de criação de gado, o que provoca a menor excreção de nitrogênio e ocasionalmente tem-se menor produção de leite. De acordo com Hass (2001), as fazendas extensivas emitem 119 kg SO₂/ha por ano e as orgânicas 107 kg SO₂/ha por ano, valores inferiores às fazendas intensivas, que emitem 136 kg SO₂/ha por ano.

Nos cálculos para a contabilização da pegada de carbono na ferramenta do GHG *Protocol*, o consumo de energia elétrica não é diretamente considerado. No entanto, esse dado é relevante, pois a geração de eletricidade está associada à emissão de gases de efeito estufa (GEE) e à degradação ambiental, impactando a fauna e a flora.

Nos últimos 20 anos, o consumo de energia em fazendas leiteiras aumentou consideravelmente. Esse crescimento está associado à expansão do número e do porte das propriedades, bem como à intensificação do uso de equipamentos automatizados, tais como sistemas de ordenha robotizada, ventiladores e sistemas de aspersão, muitos dos quais operam continuamente ao longo das 24 horas do dia (Neto *et al.*, 2022). Entretanto, a baixa eficiência da distribuição de energia elétrica nas áreas rurais, aliada ao aumento significativo dos custos energéticos, tem incentivado produtores a adotarem fontes alternativas, como a energia solar fotovoltaica.

A energia solar tem se destacado no cenário global devido à sua elevada taxa de crescimento, impulsionada pela crescente demanda por fontes renováveis que aliam eficiência energética e menores impactos ambientais (Silva, 2015). A geração fotovoltaica baseia-se na conversão da radiação solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas, que operam segundo o princípio fotoelétrico (Imhoff, 2007). Essa tecnologia se insere no contexto da

sustentabilidade contemporânea, uma vez que é economicamente viável, renovável e amplamente disponível, além de contribuir para a redução das emissões de CO₂ na atmosfera.

No contexto da propriedade em estudo, a implementação de painéis fotovoltaicos demonstra-se uma alternativa promissora. A transição para fontes energéticas sustentáveis nas cadeias produtivas pode reduzir custos operacionais e mitigar impactos ambientais. Além da geração de eletricidade, os painéis solares oferecem benefícios adicionais, como a criação de áreas sombreadas para os animais e a captação de água da chuva, o que reforça sua viabilidade como solução integrada para a agropecuária sustentável (Frigeri *et al.*, 2023).

Na propriedade em estudo, a implementação conjunta do biodigestor para o manejo de resíduos, o uso de tratores elétricos nas operações de plantio e no manejo dos animais, além da adoção do sistema silvipastoril, resultaria em um total de 54,13 toneladas de CO₂ equivalente (CO₂-eq) ao longo de um ano, esse valor representa uma redução de 83,28% nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) da propriedade.

Diante dessas evidências, tais estratégias se apresentam como alternativas promissoras para o crescimento sustentável, promovendo a integração eficiente entre a produção pecuária e a silvicultura. No entanto, apesar dos avanços no entendimento desses sistemas, ainda há necessidade de pesquisas adicionais para aprofundar a compreensão das interações entre os componentes e otimizar as práticas de manejo, visando maximizar os benefícios produtivos e ambientais.

5.3 DIFICULDADES ENCONTRADAS NA ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO

A elaboração do inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE) para uma propriedade leiteira no estado do Paraná, utilizando o *GHG Protocol*, apresentou diversas dificuldades técnicas e metodológicas. Uma das principais limitações observadas foi a impossibilidade de contabilizar as emissões provenientes da energia elétrica adquirida no módulo Agricultura e Florestas. Essa restrição compromete a análise completa do Escopo 2, que se refere às emissões indiretas associadas ao consumo de energia. Como consequência, parte relevante das emissões da propriedade não pôde ser registrada, comprometendo a abrangência do inventário.

Outro desafio significativo foi a inconsistência nos resultados obtidos a partir da inserção dos dados. Foi identificado que a forma e a ordem de inclusão das informações na planilha influenciavam diretamente nos resultados finais, gerando variações que não se

justificavam com base nos dados inseridos. Essa fragilidade compromete a confiabilidade dos inventários produzidos e demonstra a necessidade de melhorias na estrutura lógica das planilhas e das fórmulas utilizadas. Adicionalmente, observou-se que algumas células não realizavam corretamente os cálculos esperados, mesmo quando os dados eram preenchidos de acordo com as orientações.

Por fim, verificou-se que o Escopo 2 frequentemente não era apresentado nos relatórios gerados, e o Escopo 3, que inclui outras emissões indiretas como transporte da produção e descarte de resíduos, aparecia em poucos casos. A ausência ou baixa representatividade desses escopos compromete a completude do inventário e pode resultar em subestimações significativas das emissões totais da propriedade. Essas dificuldades apontam para a necessidade de adaptações metodológicas e aprimoramentos na ferramenta, a fim de torná-la mais adequada à realidade das propriedades agropecuárias brasileiras e mais eficaz na quantificação abrangente das emissões de GEE.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados pelo *GHG Protocol* revelou um balanço de 322,19 toneladas de CO₂-eq., com emissões totais de 935,8 toneladas e remoções de -611,91 toneladas de CO₂-eq. em um ano. Este protocolo, amplamente utilizado na gestão de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor agrícola, facilita a contabilização e mitigação de emissões. Na propriedade em estudo, com 22 hectares de pastagem e 138 animais, o balanço líquido foi de 832,69 toneladas de CO₂-eq., enquanto a produção de milho, em 42 hectares, gerou 103,11 toneladas de CO₂-eq.

A fermentação entérica foi a principal fonte de emissões (90,7%), seguida pelo manejo do esterco (5%), adubação orgânica (1,7%) e operações mecanizadas (1,3%). Comparado a estudos similares, o manejo semi-intensivo desta fazenda mostrou menor emissão de GEE por litro de leite. O metano entérico, influenciado pela fermentação ruminal, responde por 15% do aquecimento global, sendo possível mitigar essa emissão com ajustes alimentares e uso de aditivos que conforme pesquisas podem reduzir emissões em até 11,7%.

O manejo do esterco, responsável por 40,95 toneladas de CO₂-eq anuais, poderia ser otimizado com biodigestores, que produzem biogás e biofertilizante. A adoção de biodigestores oferece, além de mitigação de GEE, benefícios econômicos. Na produção de milho, os maiores emissores foram a decomposição de resíduos e a adubação, resultando em 103,11 toneladas de CO₂-eq. para 42 hectares, índice abaixo da média nacional.

Com base nos cálculos da plataforma *GHG Protocol*, este estudo estimou que, em um cenário sugerido, a adoção conjunta de um biodigestor, tratores elétricos e do sistema silvipastoril poderia reduzir as emissões de gases de efeito estufa da propriedade em 83,28%, resultando em 54,13 toneladas de CO₂-eq por ano.

Emissões indiretas do transporte, classificadas como escopo 3, totalizaram 3,21 toneladas de CO₂-eq/ano. O plantio de árvores contribuiu para o sequestro de carbono, com áreas de eucalipto e de preservação ambiental removendo -611,91 toneladas de CO₂-eq./ano. A normativa nº 14, de 2024, incentiva práticas sustentáveis com espécies nativas, promovendo a recuperação ambiental.

REFERÊNCIAS

- ALFA, M.; ADIE, D. B.; IGBORO, S. B.; ORANUSI, U. S.; DAHUNSI, S. O.; AKALI, D. M. Assessment of biofertilizer quality and health implications of anaerobic digestion effluent of cow dung and chicken droppings. **Renewable Energy**, v. 63, p. 681–686, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.049>. Acesso em: 2 maio 2024.
- ALMEIDA, I.F.A. **Estimativa do balanço de gases do efeito estufa em propriedade leiteira integrada com a produção vegetal: a partir das ferramentas GHG Protocol Agricultura e Florestas, e Cool Farm Tool**. 2023. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária e Zootecnia) - Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2023.
- ALROMAIZAN, M.; AFY-SHARARAH, M.; JAGTAP, S.; LITOS, L.; SALONTIS, K. Developing a Carbon Accounting Tool for SMEs in the Agri-Food Sector. **Procedia CIRP**, v. 116, p. 492-497, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.083>. Acesso em: 2 maio 2024.
- AMON, B. Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). **Nutrient cycling in Agroecosystems**. v. 60. n. 1. p. 103-113. 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1012649028772>. Acesso em: 2 maio 2024.
- AMON, B.; ÇINAR, G.; ANDERL, M.; DRAGONI, F.; KLEINBERGER-PIERER, M.; HÖRTENHUBER, S. Inventory reporting of livestock emissions: the impact of the IPCC 1996 and 2006 guidelines. **Environmental Research Letters**. v. 16. n. 7. p. 075001, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac0848>. Acesso em: 2 maio 2024.
- ANTONINI, C. Dejetos bovinos tratados viram biofertilizantes para a lavoura. **Revista O Norte de Minas**. Publicado em: 27 de outubro de 2021. Disponível em: <https://onorte.net/minasdonorte/dejetos-bovinos-tratados-viram-biofertilizantes-para-a-lavoura-1.792032>. Acesso em: 1 maio 2024.
- ASSIS, A. G. de; STOCK, L. A.; CAMPOS, O. F. de; GOMES, A. T.; ZOCCAL, R.; SILVA, M. R. Sistemas de produção de leite no Brasil. **Embrapa Gado de Leite-Circular Técnica**. 2005. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/595700>. Acesso em: 2 maio 2024.
- BAAH-ACHEAMFOUR. M.; CARLYLE, C. N.; LIM, S.; BORK, E. W.; CHANG, S. X. Forest and grassland cover types reduce net greenhouse gas emissions from agricultural soils. **The Science of The Total Environment**, v. 15. p. 571:1115-27. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.106>. Acesso em: 2 maio 2024.
- BACCHI, M. D. **Análise espacial da produção de leite no Brasil**. 2019. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2019.
- BAI, Y.; COTRUFO, M. F. Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. **Science**. v. 377, n. 6606, p. 603-608, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.abo2380>. Acesso em: 2 maio 2024.

BARROS, I. PAULA, V. R. **A pecuária de leite no Brasil e o aquecimento global**. 2022. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao-de-leite/a-pecuaria-de-leite-no-brasil-e-o-aquecimento-global-230526/>. Acesso em: 5 ago. 2024.

BELL, M.J., WALL, E., RUSSEL, G. The effect of improving cow productivity, fertility, and longevity on the global warming potential of dairy systems. **Journal Dairy Science**, v.94, p.3662-3678, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4023>. Acesso em: 2 maio 2024.

BRASIL. **Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Institui a Política Nacional de Biocombustíveis – RenovaBio e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 dez. 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13576.htm. Acesso em: 13 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Valor Bruto da Produção atinge R\$ 1,151 trilhão em 2023**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/valor-bruto-da-producao-atinge-r-1-151-trilhao-em-2023>. Acesso em: 14 ago. 2024.

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>. Acesso em 1 maio 2024

CASTRO, M. C. C. S.; CASTRO, S. R.; CORDEIRO, P. F.; MARIA, M. A.; CASTRO, F. M. R.; DIAS, E. H. O. GHG emissions inventory: a statistical analysis of the voluntary disclosure in Brazil. **International Journal of Environmental Technology and Management**, v. 23, n. 1, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1504/IJETM.2020.110160>. Acesso em: 2 maio 2024.

COSTA, B. P. **Inventário do ciclo de vida de energia elétrica a partir do biogás: estudo de caso em uma fazenda leiteira**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília. Brasília, 2023.

DE-SOUSA, K. T.; DENIZ, M.; VALE, M. M. de; DITTRICH, J. R.; HÖTZEL, M. J. Influence of microclimate on dairy cows' behavior in three pasture systems during the winter in south Brazil. **Journal of Thermal Biology**, v. 97, p. 102873, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102873>. Acesso em: 2 maio 2024.

DENIZ, M.; DE-SOUSA, K. T.; GOMES, I. C.; VALE, M. M. de; DITTRICH, J. R. Classification of environmental factors potentially motivating for dairy cows to access shade. **Journal of Dairy Research**, v. 88, n. 3, p. 274–277, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s0022029921000509>. Acesso em: 2 maio 2024.

DENIZ, M. *et al.* Sistema Silvipastoril como um componente da pecuária sustentável. **Anais do IV Encontro Panamericano sobre Manejo Agroecológico de Pastagens -PRV nas Américas**, Florianópolis, v. 19, n. 3, 2024.

DINIZ, A. B.; **Estudo de viabilidade econômica do uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades nas cidades de Resende, Barra Mansa e Valença no estado do Rio de Janeiro**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2024.

EIB. Stephen Gardner. Brussels (Editor). **Investment and growth in the time of climate change**. Belgium: 2012. (online). Disponível em: https://www.eib.org/attachments/thematic/investment_and_growth_in_the_time_of_climate_change_en.pdf. Acesso em 1 maio 2024

EMBRAPA. Elizabeth Nogueira Fernandes (Editor) **Desafios para a sustentabilidade ambiental, social e econômica da cadeia produtiva do leite**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2012. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/942823/1/LivroCongresso2012.pdf>. Acesso em: 2 maio 2024.

EMBRAPA. **Inventario mede o impacto ambiental da cadeia leiteira brasileira**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/81275410/inventario-mede-o-impacto-ambiental-da-cadeia-leiteira-brasileira>. Acesso em: 1 maio 2024

EMBRAPA. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa Florestas, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1024082/servicos-ambientais-em-sistemas-agricolas-e-florestais-do-bioma-mata-atlantica>. Acesso em: 2 maio 2024.

EMBRAPA.. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 306p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 2 jun. 2024.

ENERGY. **Europe Comission, Methane emissions**. Disponível em: https://energy.ec.europa.eu/topics/oil-gas-and-coal/methane-emissions_en. Acesso em: 1 maio 2024.

EPA. **Sources of greenhouse gas emissions**. USA, 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>. Acesso em: 1 maio 2024.

FAO. **Key factors and figure**. 2021. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/items/437c1215-556b-4161-9af6-68163f5a1f84>. Acesso em: 29 jun. 2024.

FENG, X.; KEBREAB, E.; Net reductions in greenhouse gas emission from feed additive use in California dairy cattle. **Plos one**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234289>. Acesso em: 2 maio 2024.

FGV. **Contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa**. Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces), 2008a. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/154137>. Acesso em: 15 jul. 2024.

FGV. **Valores de referência para o potencial de aquecimento global (GWP) dos gases de efeito estufa - versão 2.0**. Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces). 2008b. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/31764>. Acesso em 1 maio 2024

FRIGERI K. DAL M.; DENIZ M.; DE-SOUSA K.T.; VIEIRA F. M. C. Energia solar e produção de leite: combinação sustentável e competitiva. **Revista Milkpoint**. Publicado em: 29 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao-de-leite/sistema-fotovoltaico-para-uma-pecuaria-leiteira-mais-sustentavel-e-competitiva-232344/>. Acesso em: 1 maio 2024

GARCÍA, D. L.; GALLEGO, J. D. B.; QUINTERO, S. X. C. Proposing dynamic pricing as an alternative to improve technical and economic conditions in rural electrification: a case study from Colombia. **Sustainability**, v. 15, n. 10, p. 349-354, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su15107985>. Acesso em: 3 jun. 2024.

GERSSSEN-GONDELACH, S. J. LAUWERIJSEN, R.; HAVLIK, P.; HERRERO, M.; VALIN, H.; FAAIJ, A.; WICKE, B. Intensification pathways for beef and dairy cattle production systems: Impacts on GHG emissions, land occupation and land use change. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 240, p. 135-147, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.012>. Acesso em: 3 jun. 2024.

GHG PROTOCOL. **GHG Protocol Agricultural Guidance**. 2014. Disponível em: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHG%20Protocol%20Agricultural%20Guidance%20%28April%2026%29_0.pdf. Acesso em: 1 maio 2024

GHG PROTOCOL. **Metodologia do GHG Protocol da agricultura**. 2015. Disponível em: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards_supporting/Metodologia.pdf. Acesso em: 1 maio 2024

GHG PROTOCOL. **The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard**. Washington, 2004. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>. Acesso em: 1 maio 2024

GUIDUCCI, R. do C. N.; SABAINI, P. S.; SOARES, I. P.; GONCALVES, S. B. Análise de sustentabilidade da produção e uso de biofertilizante e biogás em estabelecimentos agropecuários de pequeno e médio porte no Brasil. In: **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural [anais...]**, 62., 2024, Palmas. Brasília, DF. 2024. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1167787>. Acesso em: 1 maio 2024.

GÜTLEIN A., GERSCHLAUER F., KIKOTI I., KIESE R. Impacts of climate and land use on N₂O and CH₄ fluxes from tropical ecosystems in the Mt. Kilimanjaro region, Tanzania. **Global Change Biology**. v.24, e. 3, p. 1239-1255. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.13944>. Acesso em: 1 maio 2024.

HARRISON, M.T.; CULLEN, B.; MAYBERRY, D.; COWIE, A.; BILOTTO, F.; BADGERY, W.; LIU, K.; DAVISON, T. M.; CHRISTIE, K.; MULEKE, A.; ECKARD, R. Carbon myopia: the urgent need for integrated social, economic and environmental action in the livestock sector.

Global Change Biology, v. 22, p. 5726-5761, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.15816>. Acesso em: 3 jun. 2024.

HELENE, M. E. M.; BUENO, M. A. F.; GUIMARÃES, M. R. F.; PACHECO, M. R.; NUNES, E. **Poluentes atmosféricos**. 1. ed. São Paulo: Scipione, 2007.

HÖRTENHUBER, S.; LINDENTHAL, T.; AMON, B.; MARKUT, T.; KIRNER, L.; ZOLLITSCH, W. Greenhouse gas emissions from selected Austrian dairy production systems — model calculations considering the effects of land use change. **Renewable Agriculture and Food Systems**. v. 25. n. 4. p. 316-329, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1017/S1742170510000025>. Acesso em: 6 jun. 2024.

IBAMA. **Instrução Normativa 14**, de 01 de julho de 2024. Estabelece procedimentos para elaboração, apresentação, execução e monitoramento de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Área Alterada (PRAD) pelo administrado com vistas ao cumprimento da legislação ambiental em todos os biomas e suas respectivas fitofisionomias. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2024.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Brasília: 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/24/65644>. Acesso em: 1 maio 2024.

IBGE. **Produção de Leite. 2023**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/br>. Acesso em: 1 maio 2024

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

IPCC. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: 1 jun. 2024.

IPCC. **Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2013. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf. Acesso em: 6 jun. 2024.

IPCC. **IPCC FACTSHEET - What is the IPCC?**. 2018. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/07/AR6_FS_What_is_IPCC.pdf. Acesso em: 1 maio 2024.

IPCC. **Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems (SR2)**. 2017. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/st2_background_report_final.pdf. Acesso em: 1 maio 2024

IVANOVICH, C. C.; SUN, T.; GORDON, D. R.; OCKO, I. Future warming from global food consumption. **Nature Climate Change** v.13, p. 297-302, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41558-023-01605-8>. Acesso em: 1 maio 2024.

JUSTUS, H. **Caracterização dos sistemas de produção leiteira na microrregião de Ponta Grossa-PR**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2018. Disponível em: <https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/2502/1/Helena%20Justus.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2024.

KAMWA, I.; MATEVOSYAN, J. Making electric vehicles and the grid work together: a necessity for sustainable mobility. **IEEE Power and Energy Magazine**, v. 21, n. 6, p. 4–12, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/MPE.2023.3308242>. Acesso em: 23 jun. 2024.

MCT. **Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa - Relatório de Referência)**. Brasília: MCT, 2010. p. 120.

MCT. **Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa - Relatório de Referência)**. Brasília: MCT, 2010. p. 106.

MEDEIROS, M. B. DE; LOPES, J. DE S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Bahia Agrícola**, v. 7, p. 24–26, 2006. Disponível em: http://www.seagri.ba.gov.br/sites/default/files/comunicacao05_v7n3.pdf. Acesso em: 6 jun. 2024.

MILKPOINT. **Pecuária leiteira: o que podemos aprender com 2023?**. 2024. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/giro-noticias/baixo-consumo-de-lacteos-e-importacoes-impactaram-o-setor-236040/>. Acesso em: 28 ago. 2024.

MILKPOINT. **Brasil aumenta escala e concentração da produção de leite**. 2023. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/giro-noticias/brasil-aumenta-concentracao-mas-mantem-volume-de-captacao-de-leite-233261/>. Acesso em: 28 ago. 2024.

MILKPOINT. **Uso de biodigestores pode gerar economia de R\$ 1,5 bilhão para pequenos pecuaristas**. 2023. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/giro-noticias/uso-de-biodigestores-pode-gerar-economia-de-r-15-bilhao-para-pequenos-pecuaristas-235761/>. Acesso em: 13 maio 2025.

MILKPOINT. **Levantamento TOP 100 – 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/top100/top100-2023.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2024.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 14 maio 2025.

NETO, A., D. LOPES, AND S. NASCIMENTO. Potential of Grid-Connected Photovoltaic Systems in Brazilian Dairy Farms. **AgriEngineering**, v. 4, n. 1, p. 122-133, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/agriengineering4010008>. Acesso em: 23 jul. 2024.

NOVAES, R. M. L.; PAZIANOTTO, R. A. A.; BRANDÃO, M.; ALVES, B. J. R.; MAY, A.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S. Estimating 20-year land-use change and derived CO₂ emissions associated with crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. **Global**

Change Biology, v. 23. n. 9. p. 3716-3728. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.13708>. Acesso em: 25 jun. 2024.

OLIVEIRA, E. de; SOARES, P. H. P.; LUCHESI, R.; **Uso do biodigestor em propriedades rurais**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso técnico em Meio Ambiente) - Escola Técnica Estadual Professor Carmelino Corrêa Júnior, Franca, 2024. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/22322>. Acesso em: 1 maio 2024.

OLIVEIRA, E. R. **Desenvolvimento de biofertilizante líquido produzido a partir de esterco bovino e cama de frango**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos. 2020.

PACTO GLOBAL – REDE BRASIL. **ESG. Pacto Global**. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/esg/>. Acesso em: 14 maio 2025.

PARANÁ. Instituto Água e Terra. **Portaria nº 42, de 23 de fevereiro de 2022**. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, n. 10.851, p. 68, 24 fev. 2022.

PARANÁ. **Lei nº 17.133, de 25 de abril de 2012**. Institui a Política Estadual sobre Mudança do Clima e fixa seus princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, 25 abr. 2012. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=240832>. Acesso em: 14 maio 2025.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Plano Estadual para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária – ABC+ Paraná**. Curitiba: SEAB, 2020. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-06/seab_planoestadual_20230605_comlinks_1.pdf. Acesso em: 14 maio 2025.

PARANÁ. Secretaria do Desenvolvimento Sustentável. **Plano de Ação Climática**. Curitiba: SEDEST, 2025. Disponível em: <https://www.sedest.pr.gov.br/Pagina/Plano-de-Acao-Climatica>. Acesso em: 14 maio 2025.

PARANÁ. Secretaria do Desenvolvimento Sustentável. **Plano de Ação Climática do Paraná – Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE)**. Curitiba: SEDEST, 2023c. Disponível em: https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-08/PAC-PR%20-%20AbE.pdf. Acesso em: 14 maio 2025

PARANÁ. Secretaria do Desenvolvimento Sustentável. **Plano de Ação Climática do Paraná – Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Curitiba: SEDEST, 2023a. Disponível em: https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-08/PAC-PR%20-%20Invent%C3%A1rio%20de%20Emiss%C3%B5es_0.pdf. Acesso em: 14 maio 2025.

PARANÁ. Secretaria do Desenvolvimento Sustentável. **Plano de Ação Climática do Paraná – Volume 1: Diagnóstico**. Curitiba: SEDEST, 2023b. https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-08/PAC-PR%20-%20Volume%201%20-%20Diagn%C3%B3stico.pdf. Acesso em: 14 maio 2025.

PINTO, T. P. *et al.* Panorama Das Emissões De Metano E Implicações Do Uso De Diferentes Métricas. **Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia**. São Paulo: FGV-EESP, 2022. Disponível em: <https://eesp.fgv.br/centros/observatorios/bioeconomia>. Acesso em: 20 jun. 2024.

PRADHAN, B.B.; CHAICHALOEMPREECHA, A.; LIMMEECHOKCHAI, B. GHG mitigation in Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) sector in Thailand. **Carbon Balance Manage**, v. 14, p. 3, 2019. Disponível em: <https://cbmjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13021-019-0119-7#citeas>. Acesso em: 23 jun. 2024.

RAIHAN, A.; BEGUM, R. A.; NIZAM, M.; SAID, M. N. M.; PEREIRA, J. J. Dynamie impacts of energy use, agricultural land expansion, and deforestation on CO₂ emissions in Malaysia. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 29. n. 3. p. 477-507. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10651-022-00532-9>. Acesso em: 25 jun. 2024.

ROSENZWEIG, C.; MBOW, C.; BARIONI, L. G.; BENTON, T. G.; HERRERO, M.; KRISHNAPILLAI, M.; LIWENGA, E.; PRADHAN, P.; RIVERA-FERRE, M. G.; SAPKOTA, T.; TUBIELLO, F. N.; XU, Y.; CONTRERAS, E. M.; PEREIRA, J. P. Climate change responses benefit from a global food system approach, **Nature Food**, v. 1. n. 2. p. 94-97, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0031-z>. Acesso em: 25 jun. 2024.

ROTZ, C. A. Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 101, cap. 7, p. 6675-6690. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13272>. Acesso em: 26 jun. 2024.

SANTOS, C. A. M. **Concepção e desenvolvimento de um sistema de propulsão elétrica de baixo custo para veículo utilitário rural**. 2024. Tese (Doutorado Em Engenharia e Ciências) - Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2024.

SEEG. **Análise das emissões brasileiras de gases do efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil**. 2021. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>. Acesso em: 25 jun. 2024.

SENRA, A. L. P.; **Proposta de um inventário de emissões de gases de efeito estufa no campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto**. 2023. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2023.

SEVILLA-PEREA, A.; MINGORANCE, M. Field approach to mining-dump revegetation by application of sewage sludge co-compost and a commercial biofertilizer. **Journal of environmental management**, p. 158, 2015.

SILVA, R. de O. P. e. Panorama do Mercado de Leite em 2023. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v. 18, n. 8, p. 1-7, ago. 2023. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/ftpiea/AIA/AIA-29-2023.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2024.

SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: <http://www.senado.leg.br/estudos>. Acesso em 1 maio 2024.

SMEDMAN, A.; MÅNSSON-LINDMARK, H.; DREWNOWSKI, A.; EDMAN, A. M. Nutrient density of beverages in relation to climate impact. 2010. **Food & Nutrition Research**, v.54, p.5170-577, 2010.

STEWART, E. K., *et al.* Effect of tannin-containing hays on enteric methane emissions and nitrogen partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 8, p. 3286-3299, 2019.

UNFCCC. **What is a COP?** 2022. Disponível em: <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>. Acesso em: 1 maio 2024.

VASSILEV, N.; LÓPEZ, A. I. G.; MARTOS, V.; REYES, A.; MAKSIMOVIC, I.; EICHER-LÖBERMANN, B.; MALUSÁ, E. Unexploited potential of some biotechnological techniques for biofertilizer production and formulation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 99, n. 12, p. 4983–4996, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6656-4>. Acesso em: 26 jun. 2024.

VENDITTI, M. S. **Transição energética: agronegócio brasileiro se prepara para os tratores elétricos.** Mobilidade Estadão. 2023. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/agronegocio-brasileiro-se-prepara-para-os-tratores-eletricos/>. Acesso em: 1 maio 2024.

WRI BRASIL. **Ação climática nacional.** São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/projetos/acao-climatica-nacional>. Acesso em: 1 maio 2024.

ANEXO A - QUESTIONÁRIO INVENTÁRIO DE EMISSÕES – PECUÁRIA E PRODUÇÃO DE MILHO

- Informações sobre a área de pecuária:

Quadro 1. Dados da propriedade (indicações da fazenda)

	Detalhes	Unidade	Valor
Estado	-	-	Paraná
Latitude	Converter Unidade	graus	-24,93
Longitude	Converter Unidade	graus	-50,14
Bioma	-	-	Mata atlântica – Ombrófila

Quadro 2. Sistema de Cultivo

	Detalhes	Unidade	Valor
Classe textural do solo	-	-	Argiloso
Teor de argila no solo	-	-	Menor que 60%
Uso anterior da terra	-	-	Cultivo convencional
Sistema de cultivo atual	-	-	Pastagem/pastagem melhorada
Tempo de adoção do sistema	-	-	Menor ou igual a 20 anos
Solos orgânicos	-	-	Não
Área de pastagem	-	hectare	22

Nota: Linha de **Classe textural**: Argiloso, arenoso ou médio; Linha de **Teor de argila**: maior que 60% ou menos que 60%; Linha **Uso anterior da terra** e **Sistema de cultivo atual**: cultivo convencional, integração lavoura-pecuária, pastagem degradada, pastagem melhora com insumos, pastagem melhorada sem insumos, pastagem melhorada, plantio direto ou floresta nativa.; Linha **Tempo de adoção do sistema**: maior que 20 anos ou menos que 20 anos.

Quadro 3. Adubação

Adubação sintética	Detalhes	Unidade	Valor
Adubação nitrogenada sintética	Exceto ureia	Kg/hectare	-
Teor de nitrogênio no adubo sintético	-	%	25
Ureia	-	Kg/hectare	1,19
Correção e condicionamento de solo	Detalhes	Unidade	Valor
Calcário calcítico	-	Kg/hectare	-
Calcário dolomítico	-	Kg/hectare	23,81
Adubação orgânica	Detalhes	Unidade	Valor
Composto orgânico	-	Kg/hectare	-
Esterco	Bovino, equino, suíno ou ovino	Kg/hectare	10.833,33
Esterco	Avícola	Kg/hectare	-
Outros	-	Kg/hectare	-
Adubação verde	Detalhes	Unidade	Valor
Leguminosa	Produção	Kg/hectare	-
Gramínea	Produção	Kg/hectare	-
Outros	Produção	Kg/hectare	-

Quadro 4. Rebanho

Animal	Sexo	Idade do rebanho	Número de animais	Manejo de dejetos	Data de entrada	Data de saída
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	2	Esterqueira	20/04/2015	16/09/2024
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	3	Esterqueira	15/03/2016	16/09/2024
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	9	Esterqueira	26/03/2017	16/09/2024
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	6	Esterqueira	05/04/2018	16/09/2024
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	11	Esterqueira	19/01/2019	16/09/2024
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	8	Esterqueira	15/03/2020	16/09/2024
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	19	Esterqueira	04/02/2021	16/09/2024
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	23	Esterqueira	09/01/2022	16/09/2024
Bovino de leite	Fêmea	Entre 12 e 24 meses	26	Esterqueira	27/03/2023	16/09/2024
Bovino de leite	Fêmea	Entre 6 e 12 meses	18	Animais em pastagem	19/09/2023	16/09/2024
Bovino de leite	Fêmea	Entre 0 e 6 meses	3	Animais em pastagem	04/08/2024	16/09/2024
Bovino de leite	Macho	Entre 0 e 6 meses	2	Animais em pastagem	04/08/2024	16/09/2024
Bovino de leite	Macho	Entre 6 e 12 meses	3	Animais em pastagem	15/09/2024	16/09/2024
Bovino de leite	Macho	Entre 12 e 24 meses	5	Animais em pastagem	28/03/2024	16/09/2024

Bovino de leite	Macho	Acima de 24 meses	0	Animais em pastagem	09/01/2022	16/09/2024
-----------------	-------	-------------------	---	---------------------	------------	------------

Nota: Coluna **Animal:** bovino de corte, bovino de leite, suíno, assino, bubalino, caprino, codorna, equino, frango/pinto, galinha de corte, galo, muare, ovino ou poedeira.; Coluna **Sexo:** macho ou fêmea.; Coluna **Idade do Rebanho:** 0 a 6 meses, 6 a 12 meses, 12 a 24 meses, acima de 24 meses.; Coluna **Número de Animais:** se 2 ou mais agrupados, colocar números de animais do mesmo grupo, ou poderá apenas preencher cada linha com cada animal.; Coluna **Opções de manejo:** Animais em pastagem; Armazenamento sólido; Dry Lot; Esterqueira; Lagoa Anaeróbia; Poços abaixo do confinamento; Queimado como combustível.; Coluna **Data de entrada e Data de saída:** data de entrada do animal na propriedade com fechamento na data de saída em setembro de 2024.

Quadro 5. Consumo de combustível – operações mecanizadas (dentro de 1 ano)

	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de combustível	-	-	Diesel B10
Tipo de quantificação de consumo	-	-	Quantidade consumida
Quantidade consumida		litro	3.600

Nota: Linha **Tipo de combustível:** Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10); Linha **Tipo de quantificação de consumo:** quantidade consumida ou operações mecanizadas.

Quadro 6. Consumo de combustível – operações internas (dentro de 1 ano)

	Detalhes	Unidade	Valor
Gasolina	-	Litro	540
Etanol hidratado	-	Litro	-

Quadro 7. Consumo de combustível – transporte da produção (dentro de 1 ano)

	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de combustível	-	-	Diesel B10
Quantidade consumida	-	Litro	1.200

Nota: Linha **Tipo de combustível:** Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10)

- Informações sobre a área de produção de milho:

Quadro 1. Sistema de cultivo

	Unidades	Valor
Data de plantio	-	20/09/2023
Data de colheita	-	10/01/2024
Classe textural do solo	-	Argiloso
Teor de argila no solo	-	Menor que 60%
Uso anterior da terra	-	Plantio convencional
Sistema de cultivo atual	-	Plantio direto
Tempo de adoção do sistema	-	Menor ou igual a 20 anos
Área de queima de resíduos da cultura	hectare	-
Área de manejo de solos orgânicos	hectare	-
Área cultivada	hectare	42
Produtividade média	Tonelada/hectare	32

Nota: Linha **Classe textural do solo:** Arenoso, médio ou argiloso.; Linha **Teor de argila no solo:** menor que 60% ou maior que 60%; Linha **Uso anterior da terra:** Cultivo convencional, Pastagem degradada, Pastagem/pastagem melhorada, Plantio direto, Floresta nativa.; Linha **Sistema de cultivo atual:** convencional, integração lavoura-pecuária ou plantio direto.; Linha **Tempo de adoção do sistema:** menor que 20 anos ou maior que 20 anos.

Quadro 2. Adubação

Adubação sintética	Detalhes	Unidade	Valor
Adubação nitrogenada sintética	Exceto ureia	Kg/hectare	9,52
Teor de nitrogênio no adubo sintético	-	%	25
Ureia	-	Kg/hectare	8,33
Correção e condicionamento de solo	Detalhes	Unidade	Valor

Calcário calcítico	-	Kg/hectare	-
Calcário dolomítico	-	Kg/hectare	23,81
Adubação orgânica	Detalhes	Unidade	Valor
Composto orgânico	-	Kg/hectare	-
Esterco	Bovino, equino, suíno ou ovino	Kg/hectare	7.738,10
Esterco	Avícola	Kg/hectare	-
Outros	-	Kg/hectare	-
Adubação verde	Detalhes	Unidade	Valor
Leguminosa	Produção	Kg/hectare	-
Gramínea	Produção	Kg/hectare	-
Outros	Produção	Kg/hectare	-

Quadro 3. Consumo de combustível das operações mecanizadas.

	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de combustível	-	-	Diesel B10
Tipo de quantificação de consumo	-	-	Quantidade consumida
Quantidade consumida			3.600

Nota: Linha **Tipo de combustível:** Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10); Linha **Tipo de quantificação de consumo:** quantidade consumida ou operações mecanizadas.

Quadro 4. Consumo de combustível nas operações internas da propriedade.

	Detalhes	Unidade	Valor
Gasolina	-	litro	-
Etanol hidratado	-	litro	-

Quadro 5. Consumo de combustível no transporte da produção.

	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de combustível	-	-	Diesel B10
Quantidade consumida	-	litro	-

Nota: Linha **Tipo de combustível:** Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10)

ANEXO B - QUESTIONÁRIO INVENTÁRIO DE EMISSÕES – EUCALIPTO, APP E RESERVA LEGAL

Quadro 1. Sistema de cultivo

	Unidade	Valor
Classe textural do solo	-	Argiloso
Uso anterior do solo	-	Área degradada
Ano de plantio	-	2009
Espécie	-	<i>E. urograndis</i>
Área plantada	Hectare	2,5
Espaçamento do plantio	-	3,0 x 2,0
Produtividade atingível	m ³ /hectare.ano	-

Nota: Linha **Classe textural do solo** classificar de acordo com as opções: Arenoso, Médio ou Argiloso.; Linha **Uso Anterior da terra** classificar de acordo com as opções: Agricultura, Área degradada, Floresta Nativa, Paricá (se já havia Paricá naquela área), Pastagem, Pastagem Degradada.; Linha **Espécie:** *E. camodulomis*, *E. citriodora*, *E. dunnil*, *E. grandis*, *E. pellita*, *E. saligna*, *E. urograndis*, *E. aropilia*.; foram lançados dados referentes a três (3) anos, porém o sistema possui previsão para vinte e um (21) anos.

Quadro 2. Houve queima de biomassa por incêndio? Se sim, preencher a Quadro abaixo (desde o plantio)

	Detalhe	Unidade	Valor
1º ano	Parcela da área total	%	-
2º ano	Parcela da área total	%	-
3º ano	Parcela da área total	%	-

Quadro 3. Houve adubação da área? Qual adubação utilizada na área? Preencha os quadros de acordo com a adubação correspondente (escolhendo uma ou mais tipos de adubação) (desde o plantio)

Quadro 3.1. Adubação nitrogenada

	Detalhe	Unidade	Valor	Unidade	Teor de Nitrogênio
1° ano	Exceto ureia	Kg/hectare	-	%	-
2° ano	Exceto ureia	Kg/hectare	-	%	-
3° ano	Exceto ureia	Kg/hectare	-	%	-

Quadro 3.2 Adubação nitrogenada sintética (apenas uréia)

	Detalhe	Unidade	Valor
1° ano	Apenas ureia	Kg/hectare	-
2° ano	Apenas ureia	Kg/hectare	-
3° ano	Apenas ureia	Kg/hectare	-

Quadro 3.3. Adubação orgânica

	Detalhe	Unidade	Lodo puro	Lodo composto
1° ano	-	Kg/hectare	-	-
2° ano	-	Kg/hectare	-	-
3° ano	-	Kg/hectare	-	-

Quadro 4. Houve correção e condicionamento de solo? Se sim, preencha o Quadro abaixo (desde o plantio)

	Detalhe	Unidade	Calcário calcítico	Calcário dolomítico
1° ano	-	Kg/hectare	-	-
2° ano	-	Kg/hectare	-	-
3° ano	-	Kg/hectare	-	-

Quadro 5. Consumo de combustível nas operações mecanizadas

	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de combustível	-	-	-
Tipo de quantificação do consumo	Período total	-	-

Nota: Linha **Tipo de combustível:** Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10); Linha **Tipo de quantificação de consumo:** quantidade consumida ou operações mecanizadas.

Quadro 6. Consumo de combustível nas operações internas na propriedade

	Detalhes	Unidade	Valor
Gasolina comum	Período total	Litro	-
Etanol hidratado	Período total	Litro	-

Quadro 7. Houve corte ou desbaste anual da espécie? Se sim, preencher a Quadro abaixo (desde o plantio)

	Detalhe	Unidade	Valor
1º ano	Parcela da área total	%	-
2º ano	Parcela da área total	%	-
3º ano	Parcela da área total	%	-

Quadro 8. Consumo de combustível no transporte externo na produção (desde o plantio)

	Detalhes	Tipo	Unidade	Valor
1º ano	Total consumido	-	Litro	-
2º ano	Total consumido	-	Litro	-
3º ano	Total consumido	-	Litro	-

ANEXO C - QUESTIONÁRIO INVENTÁRIO DE EMISSÕES – SILVIPASTORIL

Quadro 1. Sistema de cultivo

	Unidade	Valor
Classe textural do solo	-	Argiloso
Uso anterior do solo	-	Pastagem degradada
Ano de plantio	-	2019
Área plantada	Hectare	1

Nota: Linha **Classe textural do solo** classificar de acordo com as opções: Arenoso, Médio ou Argiloso; Linha **Uso Anterior da terra** classificar de acordo com as opções: Agricultura, Área degradada, Floresta Nativa, Pastagem, Pastagem Degradada e Sistema Silvicultura.

Quadro 2. Seleção das espécies

Crotália - <i>Crotalaria Ochroleuca</i>
Mutambo - <i>Guazuma ulmifolia</i>
Canafistula - <i>Peltophorum dubium</i>
Paricá - <i>Schizolobium amazonicum</i>
Ipê rosa - <i>Handroanthus avellanedae</i> - substituída por Ipê Amarelo
Macadâmia - <i>Macadamia integrifolia</i>
Angico-branco - <i>Anadenanthera colubrina</i>
Angico-vermelho - <i>Anadenanthera macrocarpa</i> - substituída por Angico-vermelho - <i>P. pterosperma</i>
Ingá-mirim - <i>Inga laurina</i>
Ingá-cipó - <i>Inga edulis</i> ou <i>Inga uruguensis</i>
Araçá-roxo - <i>Psidium myrtoides</i>
Araçá-amarelo - <i>Psidium cattevanum</i>
Pitanga - <i>Eugenia umiflora</i>
Cereja do Rio Grande - <i>Eugenia involucrata</i>
Uvaia - <i>Eugenia puriformis</i>

Quadro 2.1 Sistema de cultivo de Paricá

Detalhes	Unidade	Valor
-	Árvores/hectare	29

Quadro 2.2 Distribuição da composição florestal das espécies madeireiras

-	Detalhe	Unidade	Valor
Angico-vermelho (<i>A. colubrina</i>)	-	Árvores/hectare	34
Angico-vermelho (<i>P. pterosperma</i>)	-	Árvores/hectare	28
Canafistula (<i>P. dubium</i>)	-	Árvores/hectare	50
Ipê-amarelo (<i>Tabebuia</i> sp.)	-	Árvores/hectare	28
Mutambo (<i>G. ulmifolia</i>)	-	Árvores/hectare	50

Quadro 2.3 Distribuição da composição florestal das espécies frutíferas

-	Detalhe	Unidade	Valor
Araçá-amarelo (<i>P. cattleianum</i>)	-	Árvores/hectare	5
Araçá-íca (<i>P. myrtoides</i>)	-	Árvores/hectare	5
Cereja-do-Rio-Grande (<i>E. inolucrata</i>)	-	Árvores/hectare	5
Inga-banana (<i>I. laurina</i>)	-	Árvores/hectare	39
Ingá-cipó (<i>I. edulis</i>)	-	Árvores/hectare	42
Macadamia (<i>M. integrifolia</i>)	-	Árvores/hectare	32
Pitanga (<i>E. uniflora</i>)	-	Árvores/hectare	5
Uvaia (<i>E. pyriiformis</i>)	-	Árvores/hectare	5

Quadro 3. Explorações econômicas anuais

-	Detalhe	Unidade	Valor
1º ano	Plantio direto	Meses	-
2º ano	Plantio direto	Meses	-
3º ano	Plantio direto	Meses	-

Quadro 4. Houve queima de biomassa por incêndio? Se sim, preencher a quadro abaixo (desde o plantio)

	Detalhe	Unidade	Valor
1º ano	Parcela da área total	%	20
2º ano	Parcela da área total	%	80
3º ano	Parcela da área total	%	-

Quadro 5. Houve adubação na área? Qual adubação utilizada? Preencha os quadros de acordo com a adubação correspondente (escolhendo uma ou mais tipos de adubação) (desde o plantio)

Nota: Foram lançados valores para três (3) anos de cálculo, porem o sistema tem previsão para 40 anos.

Quadro 5.1 Adubação nitrogenada (exceto uréia)

-	Detalhe	Unidade	Valor	Unidade	Teor de nitrogênio
1º ano	Exceto ureia	Kg/hectare	-	%	-
2º ano	Exceto ureia	Kg/hectare	-	%	-
3º ano	Exceto ureia	Kg/hectare	-	%	-

Quadro 5.2 Adubação nitrogenada sintética (apenas uréia)

-	Detalhe	Unidade	Valor
1º ano	Apenas ureia	Kg/hectare	-
2º ano	Apenas ureia	Kg/hectare	-
3º ano	Apenas ureia	Kg/hectare	-

Quadro 5.3 Adubação orgânica

-	Detalhe	Unidade	Lodo puro	Lodo composto	Composto orgânico	Esterco
1º ano	-	Kg/hectare	-	-	-	15
2º ano	-	Kg/hectare	-	-	-	-
3º ano	-	Kg/hectare	-	-	-	-

Quadro 5.4 Adubação verde

-	Detalhe	Unidade	Gramínea	Leguminosa	Outros
1º ano	-	Kg/hectare	-	-	-
2º ano	-	Kg/hectare	-	-	-
3º ano	-	Kg/hectare	-	-	-

Quadro 6. Houve correção e condicionamento de solo? Se sim, preencha o Quadro a baixo (desde o plantio)

-	Detalhe	Unidade	Calcário calcítico	Calcário dolomítico
1º ano	-	Kg/hectare	-	-
2º ano	-	Kg/hectare	-	-
3º ano	-	Kg/hectare	-	1300

Quadro 7. Consumo de combustível nas operações mecanizadas

	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de combustível	-	-	Diesel B10
Tipo de quantificação do consumo	Período total	-	Quantidade consumida
Diesel e biodiesel	-	litro	90

Nota: Linha **Tipo de combustível:** Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10); Linha **Tipo de quantificação de consumo:** quantidade consumida ou operações mecanizadas.

Quadro 8. Consumo de combustível nas operações semimecanizadas

	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de quantificação do consumo	Período total	-	Quantidade consumida
Gasolina	-	litro	10

Nota: Linha **Tipo de quantificação de consumo:** quantidade consumida ou operações mecanizadas.

Quadro 9. Consumo de combustível nas operações internas

	Detalhes	Unidade	Valor
Gasolina comum	Período total	litro	5
Etanol hidratado	Período total	litro	-

Quadro 10. Corte ou desbaste – espécies madeireiras

	Detalhe	Unidade	Valor
1º ano	Parcela da área total	%	-
2º ano	Parcela da área total	%	-
3º ano	Parcela da área total	%	-

Quadro 11. Corte ou desbaste anual – espécies comerciais

	Detalhe	Unidade	Valor
1º ano	Parcela da área total	%	-
2º ano	Parcela da área total	%	-
3º ano	Parcela da área total	%	-

Quadro 12. Consumo de combustível no transporte externo da produção

	Detalhes	Tipo	Unidade	Valor
1º ano	Total consumido	-	Litro	-
2º ano	Total consumido	-	Litro	-
3º ano	Total consumido	-	Litro	-

Nota: Linha **Tipo de combustível:** Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10)

ANEXO D - INVENTARIO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA
CENÁRIO ATUAL – GHG PROTOCOL

1. Revisão das emissões por escopo

-	Escopo	GEE (tonelada)			CO _{2eq.} (tonelada)			Total
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
Milho, pastagem e pecuária	Escopo 1	17,18	31,27	0,45	17,18	781,84	132,06	930,89
	Escopo 3	3,21	0	0	3,21	0	0	3,21
Eucalipto	Escopo 1	0	0	0	0	0	0	0
APP e Reserva Legal	Escopo 1	0	0	0	0	0	0	0

2. Emissões e remoções de uso e ocupação do solo e remoções por processos biogênicos (tonelada de CO_{2eq.})

-	Mudança de uso e ocupação do solo	Emissão biogênica	Remoção biogênica
Milho, pastagem e pecuária	0	1,7	-
Eucalipto	-1.990,04	0	0
APP e Reserva Legal	-20.191,75	-	-

2. Indicador de eficiência (tonelada de CO₂ equivalente) – emissões líquidas

Escopo 1 + Escopo 2 ± Processos Biogênicos ± Mudança de uso e ocupação do solo	
Milho, pastagem e pecuária	935,8
Eucalipto	-1.990,04
APP e Reserva Legal	-20.191,75

Nota: Valores não apresentados são equivalentes a zero (0).

3. Balanço final da propriedade – emissões líquidas

-	Emissões/Sequestros	Ciclo/ano	Projeção (1 ano)
Pecuária, pasto e milho	934,1	1	935,8
Eucalipto	-1.990,04	21	-107,12
APP e Reserva Legal	-20.191,75	40	-504,79
-		Total em ton. de CO _{2eq.}	323,89

Nota: O valor final apresentado é para a projeção de 1 ano, devendo seguir este padrão para a construção do Inventário de Emissões.

**ANEXO E - INVENTARIO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA
CENÁRIO SUGERIDO – GHG PROTOCOL**

1. Revisão das emissões por escopo

-	Escopo	GEE (tonelada)			CO _{2eq.} (tonelada)			Total
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
Milho, pastagem e pecuária	Escopo 1	1,00	31,17	0,25	1,00	779,28	75,55	855,83
	Escopo 3	0	0	0	0	0	0	0
Eucalipto	Escopo 1	0	0	0	0	0	0	0
APP e Reserva Legal	Escopo 1	0	0	0	0	0	0	0
Sistema Silvipastoril	Escopo 1	0,86	0	0	0,86	0	0	0,86

2. Emissões e remoções de uso e ocupação do solo e remoções por processos biogênicos (tonelada de CO_{2eq})

-	Mudança de uso e ocupação do solo	Emissão biogênica	Remoção biogênica
Milho, pastagem e pecuária	-53,90	0	-
Eucalipto	-1.990,04	0	0
APP e Reserva Legal	-20.191,75	-	-
Silvipastoril	-5,439,20	0,02	1,82

3. Indicador de eficiência (tonelada de CO₂ equivalente) – emissões líquidas

Escopo 1 + Escopo 2 ± Processos Biogênicos ± Mudança de uso e ocupação do solo	
Milho, pastagem e pecuária	801,93
Eucalipto	-1.990,04
APP e Reserva Legal	-20.191,75
Silvipastoril	-5.439,20

Nota: Valores não apresentados são equivalentes a zero (0).

4. Balanço final da propriedade – emissões líquidas

-	Emissões/Sequestros	Ciclo/ano	Projeção (1 ano)
Pecuária, pasto e milho	801,93	1	801,93
Eucalipto	-1.990,04	21	-107,12
APP e Reserva Legal	-20.191,75	40	-504,79
Silvipastoril	-5.439,20	40	-135,98
-	Total em ton. de CO _{2eq.}		54,13

Nota: O valor final apresentado é para a projeção de 1 ano, devendo seguir este padrão para a construção do Inventário de Emissões.