



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE QUEIJO
MUSSARELA SOB A ÓTICA DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

EDER LUZ XAVIER DOS SANTOS

Dourados – MS
Fevereiro – 2024



AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE QUEIJO MUSSARELA SOB A ÓTICA DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

EDER LUZ XAVIER DOS SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Clandio Favarini Ruviaro

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal da Grande Dourados, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Zootecnia. Área de Concentração: Zootecnia e recursos pesqueiros.

Dourados – MS
Fevereiro– 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S237a Santos, Eder Luz Xavier Dos

AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE QUEIJO MUSSARELA
SOB A ÓTICA DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA [recurso eletrônico] / Eder Luz Xavier
Dos Santos. -- 2024.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Clandio Favarini Ruviano.

Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Categorias de impacto ambiental. 2. Inventário. 3. Queijo. 4. Viabilidade econômica.
5. Energia. I. Ruviano, Clandio Favarini. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE QUEIJO MUSSARELA BOVINA SOB A ÓTICA DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

por

EDER LUZ XAVIER DOS SANTOS

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de DOUTOR EM ZOOTECNIA

Aprovado(a) em: 23/02/2024

Documento assinado digitalmente



CLANDIO FAVARINI RUVIARO

Data: 23/02/2024 16:24:51-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Clandio Favarini Ruviaro
Orientador – UFGD

Documento assinado digitalmente



ARACELE PINHEIRO PALES DOS SANTOS

Data: 27/02/2024 00:36:39-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Aracele Pinheiro Pales dos Santos
UEG

Documento assinado digitalmente



EVERTON VOGEL

Data: 26/02/2024 10:12:07-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Everton Vogel
UCD

Documento assinado digitalmente



KARYNE OLIVEIRA COELHO

Data: 27/02/2024 12:28:20-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Karyne Oliveira Coelho
UEG

Documento assinado digitalmente



FERNANDO MIRANDA DE VARGAS JUNIOR

Data: 23/02/2024 16:53:41-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Fernando Miranda de Vargas Junior
UFGD

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo milagre da vida e por me proporcionar a chegada deste tão sonhado momento, tantas foram as barreiras vencidas que somente com a ajuda do Criador foi possível transpô-las.

A minha mãe Ana Maria Xavier dos Santos, ao meu irmão André Luiz Xavier dos Santos pelas lutas de vida e a minha noiva e futura esposa Viviane Fernandes de Azevedo pelos estímulos nos momentos bons e ruins.

Ao meu orientador professor Doutor Clandio Favarini Ruviaro, pelo esforço na condução e conclusão dessa pesquisa, pelo aprendizado, pela paciência na construção do saber, que mesmo de forma remota nunca deixou de atender com a eficácia de sempre e pelo excelente ser humano que é.

Aos proprietários do laticínio Marcilene Rodrigues de Godoi e Sélvio Valder Soares e agora amigos, pela disposição e paciência em fornecer as informações da pesquisa, sem as vossas contribuições não seria possível a realização deste trabalho.

Gratidão a todos os professores do curso, em especial aos Professores: Fernando Miranda, Ana Carolina, Alexandre Rodrigo, mesmo em um momento tão complexo e triste em função da pandemia, se esforçaram para que mesmo de forma remota o conhecimento fosse disseminado, vocês foram nossos heróis sem capa ou fantasia, foram, professores literalmente.

Aos meus amigos e também colegas de profissão Marco Marcelino, Valéria Lima (que tanto me incentivou com o envio do edital do Doutorado em Zootecnia na UFGD) que tanto contribuíram para que o Doutorado se tornasse realidade, com parcerias em artigos e resumos em inúmeros eventos por esse país a fora.

Aos meus colegas da pós-graduação Silvia Prestes, Agenor Fontoura, Rita Terezinha, Ítalo Marcos, em especial a Karine Keyzy (um ser humano lindo, que muito contribuiu para minha evolução).

RESUMO

Na atualidade, observamos uma tendência crescente no mercado em direção à valorização de produtos processados com mínimo impacto ambiental. Diante da inevitável influência ambiental em toda cadeia produtiva, é imperativo uma análise aprofundada dos processos de produção, visando compreender e mitigar o impacto de cada etapa. Neste estudo objetivou-se evidenciar o potencial impacto ambiental no processamento de queijo mussarela bovino tipo pasta filada, na bacia leiteira em Jussara – GO. Para tal foi utilizada a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) com a utilização do software Simapro 9.2.0.2, método (ReCiPe Midpoint (H) V1.12 / World Recipe H) a fim de avaliar os impactos ambientais correspondentes as categorias: mudanças climáticas (CC), acidificação terrestre (AT), eutrofização de água doce (ET) e demanda de energia acumulada (CED) presentes no sistema de produção do queijo mussarela. Neste sentido, foram analisadas as entradas e saídas do sistema de produção, contemplando sua fronteira de abordagem portão a portão da indústria (*gate-to-gate*). As metodologias utilizadas foram a ACV seguindo a estrutura: definição do objetivo e escopo, análise de inventário do ciclo de vida (AICV), avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) e, o estudo de Viabilidade Econômica para substituição da energia elétrica proveniente de rede (energia hidrelétrica) pela energia solar fotovoltaica em função da redução do impacto ambiental oriundo do sistema de produção. Nas categorias de impacto ambiental analisadas as maiores contribuições foram oriundas da fase de exploração leiteira, sendo 97,84% na CC, 99,35% na AT, 99,27% na ET e 71,76% na CED, devido ao consumo de forrageiras e ao cultivo de grãos que compõem a ração animal. Os resultados obtidos no estudo apontaram que para quilo de queijo mussarela as emissões foram de 10,07 Kg de CO₂eq, 0,11 Kg SO₂eq, 0,01 Kg PO₄eq. e 18,88 MJeq, respectivamente para CC, AT, ET e CED. É possível inferir que em escala global (cadeia de suprimentos) o impacto da produção de queijo mussarela na fase industrial (laticínio) é pouco significativa. Em relação ao estudo de viabilidade econômica para a substituição da fonte de energia como solução para diminuição do impacto ambiental, apresenta uma vantagem na imagem do laticínio perante o mercado consumidor, além de propiciar uma redução das emissões e, principalmente, nos custos com consumo de energia.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida. Categorias de impacto ambiental. Inventário. Queijo. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

Currently, we observe a growing trend in the market towards valuing processed products with minimal environmental impact. Given the inevitable environmental influence on the entire production chain, an in-depth analysis of production processes is imperative, aiming to understand and mitigate the impact of each stage. This study aimed to highlight the potential environmental impact of processing beef mozzarella cheese, type pasta filada, in the dairy basin in Jussara – GO. To this end, the Life Cycle Assessment tool (LCA) was used using the Simapro 9.2.0.2 software, method (ReCiPe Midpoint (H) V1.12 / World Recipe H) in order to evaluate the environmental impacts corresponding to the categories: climate change (CC), terrestrial acidification (TA), freshwater eutrophication (ET) and accumulated energy demand (CED) present in the mozzarella cheese production system. In this sense, the inputs and outputs of the production system were analyzed, considering its gate-to-gate approach to the industry. The methodologies used were LCA following the structure: definition of objective and scope, life cycle inventory analysis (IACV), life cycle impact assessment (IACV) and the Economic Feasibility study to replace electrical energy from network (hydroelectric energy) by photovoltaic solar energy due to the reduction of the environmental impact arising from the production system. In the environmental impact categories analyzed, the largest contributions came from the dairy farming phase, with 97.84% in CC, 99.35% in AT, 99.27% in ET and 71.76% in CED, due to the consumption of forage crops and the cultivation of grains that make up animal feed. The results obtained in the study showed that for a kilo of mozzarella cheese, emissions were 10.07 kg of CO₂eq, 0.11 kg SO₂eq, 0.01 kg PO₄eq. and 18.88 MJeq, respectively for CC, AT, ET and CED. It is possible to infer that on a global scale (supply chain) the impact of mozzarella cheese production in the industrial phase (dairy) is not significant. In relation to the economic feasibility study for replacing the energy source as a solution to reduce environmental impact, it presents an advantage in the image of the dairy in the consumer market, in addition to providing a reduction in emissions and, mainly, in the costs of consumption of energy.

Keywords: Life cycle assessment. Environmental impact categories. Inventory. Cheese. Economic viability.

SUMÁRIO

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Problema em estudo e sua relevância.....	14
1.2 Objetivos e contribuição do estudo	16
1.3 Visão geral e organização do estudo.....	16
CAPÍTULO 2	17
2. Estado da arte	17
2.1 Caracterização da produção do queijo bovino	17
2.2 Enquadramento Mundial.....	18
2.3 Enquadramento Nacional	20
2.4 Enquadramento da região produtora: bacia leiteira	22
2.4.1 Local do estudo	31
2.5 Introdução a Avaliação do Ciclo de Vida	33
2.6 Avaliação do Ciclo de Vida	35
2.6.1 Conceito e definição	35
2.6.2 Vantagens e limitações da ACV	38
2.6.3 Fases de Avaliação do Ciclo de Vida	39
2.7 Avaliação do Ciclo de Vida na cadeia de lácteos	46
CAPÍTULO 3	61
3. Material e métodos.....	61
3.1 Introdução	61
3.2 Caracterização da empresa produtora de queijo mussarela.....	61
3.2.1 Recepção do leite.....	63
3.2.2 Seleção do leite para análise	65
3.2.3 Filtragem, bombeamento e medição	65
3.2.4 Pasteurização	65
3.2.5 Coagulação	65
3.2.6 Cozimento da massa.....	66
3.2.7 Prensagem da massa	66

3.2.8 Fermentação da massa.....	66
3.2.9 Filagem e moldagem da massa	66
3.2.10 Salga e secagem.....	66
3.2.11 Embalagem do queijo.....	67
3.2.12 Armazenagem	67
3.2.13 Expedição	67
3.3 Definição da Metodologia	67
3.4 Categorias de potenciais impactos ambientais.....	69
3.4.1 Mudanças Climáticas	69
3.4.2 Acidificação terrestre.....	70
3.4.3 Eutrofização de água doce.....	70
3.4.4 Demanda de energia acumulada	70
3.5 Delineamento de pesquisa	71
3.5.1 Fronteiras/Limites e Descrição dos Sistemas	71
3.6 Inventário do ciclo de vida (ICV).....	72
3.7 Método de viabilidade econômica para implementação de energia solar .	74
CAPÍTULO 4	76
4. Análise e discussão de resultados	76
4.2 Análise das mudanças climáticas	81
4.3 Análise da acidificação terrestre	82
4.4 Análise da eutrofização de água doce.....	83
4.5 Análise da demanda de energia acumulada.....	84
4.6. Análise de resultados obtidos com estudos semelhantes.....	84
4.6.1 Mudanças Climáticas	85
4.6.2 Acidificação Terrestre.....	87
4.6.3 Eutrofização de Água Doce.....	89
4.6.4 Demanda de Energia Acumulada.....	92
4.6.5 Considerações sobre as categorias de impacto.....	94
CAPÍTULO 5	96
5. Viabilidade econômica da implementação de painéis de energia solar fotovoltaica	96

5.1 Etapa 1: estudo da irradiação solar na região do laticínio	98
5.2 Etapa 2: cálculo do investimento inicial	100
5.3 Etapa 3: simulação do uso dos painéis ao longo da vida útil.....	101
5.4 Etapa 4: análise de investimento	101
5.4.1 Análise de viabilidade com financiamento.....	105
6 CONSIDERAÇÕES	106
6.1 Sugestões para estudos futuros.....	108
7 REFERÊNCIAS.....	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção de leite nos municípios goianos em 2012.	25
Figura 2: Produção de leite nos municípios goianos em de 2022.	25
Figura 3: Mapa das Bacias Leiteiras do Estado de Goiás em 2018.	26
Figura 4: Balança comercial de lácteos do estado de Goiás em 2021.	28
Figura 5: Balança comercial de lácteos do estado de Goiás em 2022.	29
Figura 6: Mapa da Mesorregião Noroeste Goiano.	32
Figura 7: Mapa da bacia de captação de leite.	33
Figura 8: Fases de desenvolvimento de uma avaliação de ciclo de vida.	37
Figura 9: Unidade de processo.	41
Figura 10: Dimensões da ACV.	41
Figura 11: Procedimentos para análise de inventário de ACV.	43
Figura 12: Elementos da fase de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV).	44
Figura 13: Processo produtivo do queijo mussarela.	63
Figura 14: Mapa de localização do laticínio.	64
Figura 15: Fronteira do sistema em análise.	71
Figura 16: Fronteira do sistema de produção do laticínio com representação dos fluxos.	73
Figura 17: Processos de inventário com maiores emissões de kg CO ₂ eq.	82
Figura 18: Processos de inventário com maiores emissões de Kg SO ₂ eq.	83
Figura 19: Processos de inventário com maiores emissões de Kg PO ₄ eq.	83
Figura 20: Processos de inventário com maiores emissões de MJeq/Kg.	84

Figura 21: Comparação de (%) das Alterações Climáticas.	86
Figura 22: Comparação de resultados de Alterações Climáticas.	87
Figura 23: Comparação de (%) Acidificação Terrestre.	88
Figura 24: Comparação de resultados Acidificação Terrestre.	89
Figura 25: Comparação (%) Eutrofização de Água Doce.	91
Figura 26: Comparação de resultados Eutrofização de Água Doce.	92
Figura 27: Comparação de resultados Demanda de Energia Acumulada.	94
Figura 28: Consumo de energia elétrica (janeiro a dezembro de 2022).	97
Figura 29: Irradiação solar média na região de Jussara-GO.	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção de queijo (mil toneladas) 2017-2023.	19
Tabela 2: Consumo de queijo (mil toneladas) 2017-2023.	20
Tabela 3: Estado de Goiás, Centro-Oeste e Brasil: rebanhos para produção de leite 2018-2020.	27
Tabela 04: Perfil do comércio exterior de lácteos do Brasil de 2021 a 2022.	30
Tabela 5: Entradas de insumos de produção de janeiro a dezembro de 2022.	77
Tabela 6: Materiais e energia referentes ao processamento de 1 kg de queijo mussarela embalado corrigido pelo FPCM.	78
Tabela 7: Insumos selecionados no software SimaPro 9.2.0.2 referentes aos impactos no processamento de 1 kg de queijo mussarela embalado corrigido pelo FPCM.	79
Tabela 8: Categorias de impacto selecionadas para a avaliação ambiental na produção de queijo mussarela.	80
Tabela 9: Resultados da Avaliação Ambiental na industrialização de 1Kg de queijo mussarela.	80
Tabela 10: Contribuições CC, AT, ET, CED no processamento do queijo mussarela.	81
Tabela 11: Percentuais de contribuição de impacto de cada insumo de produção nas categorias CC, AT, ET, CED no processamento do queijo mussarela.	81
Tabela 12: Comparação de impacto entre energia elétrica (hidrelétrica) X energia elétrica (fotovoltaica).	97
Tabela 13: Irradiação solar média na região de Jussara-GO.	99
Tabela 14: Estimativa de geração mensal de energia do sistema (kWh).	100

Tabela 15: Equipamentos e materiais do sistema proposto.	101
Tabela 16: Parâmetros da análise econômica do sistema.	103
Tabela 17: Receita de energia produzida com projeção para 25 anos.	103
Tabela 18: Fluxo de caixa com projeção para 25 anos.	104
Tabela 19: Parâmetros da análise econômica com financiamento.	106
Tabela 20: Fluxo de caixa com projeção para 25 anos com financiamento.	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Estudos utilizando a ACV na planta de processamento em Laticínios (2000-2023).	53
Quadro 02: Categorias de Impacto ambiental.	68

SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida

AICV - Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

BSI - British Standard Institute

CED - Cumulative Energy Demand

CH₄ - Metano

CML - Center of Environmental Science of Leiden University in The Netherlands
(*Life Cycle Assessment methodology*)

CO₂ – Dióxido de Carbono

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito

ECM - *Energy correct milk*

EPD - *Environmental Product Declarations (method is to be used for the Creation of EPD)*

FAO - *Food and Agriculture Organizations of the United Nations*

FPCM - Valor bruto de leite corrigido pelo teor de gordura e proteína

GEE - Gases de efeito estufa

GWP - *Global Warming Potential*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICV - Inventário do ciclo de vida

IDF - *International Dairy Federation*

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

ISO - *International Organization Standardization*

LCA - *Life Cycle Assessment*

N₂O - Óxido Nitroso

NH₃- Amônia

PIB - Produto Interno Bruto

RECIPE - *Method was created by RIVM, CML, PRé Consultants, Radboud Universiteit Nijmegen and CE Delft*

SELIC - Sistema Especial de Liquidação e Custódia

TIR - Taxa Interna de Retorno

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

UF - Unidade funcional

1 INTRODUÇÃO

O leite e produtos lácteos são alimentos essenciais para nutrição humana em todo planeta (PICKA, 2015; FEIL et al., 2020). O setor leiteiro é considerado relevante segmento do agronegócio, que contribui na sustentação dos sistemas alimentares. Entretanto, atualmente parte considerável dos consumidores estão cada vez mais preocupados com a origem dos produtos alimentares e seus impactos ao meio-ambiente. Desta forma, não se pode deixar de considerar os aspectos relacionados à sustentabilidade ambiental, econômica e social dos produtos oriundos dos laticínios visando, assim, mensurar esses impactos no momento no presente e no futuro (MILLER e AUESTAD, 2013).

Ao se tratar da emissão de gases de efeito estufa pela produção leiteira, denota-se que o gás metano (CH_4), gerado por meio da fermentação entérica e dejetos dos animais, é um dos principais responsáveis pelo impacto ambiental, seguido pelo óxido nitroso (N_2O), proveniente da aplicação de fertilizantes nitrogenados, dejetos nas pastagens e urina (BASSET-MENS, LEDGARD e BOYES, 2009, FLYSJÖ et al., 2011 e GOHARI et al., 2013).

Pesquisas realizadas por Korsström e Lampi (2008) também identificaram que os principais impactos ambientais oriundos das indústrias de laticínios estão associados ao consumo de água, energia e geração de efluentes com carga orgânica, com crescente demanda de energia devido ao aumento do consumo e a constante preocupação com a escassez de energias não renováveis.

Tal importância é apresentada nos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) que fazem parte da Agenda 2030, ademais, diversos conglomerados agroindustriais começaram a associar suas ações econômicas, sociais e ambientais dos ODS às suas respectivas metas, com a intenção de atender as demandas dos consumidores. Neste sentido, o setor de lácteos estabeleceu algumas ações em nível global como: a criação da rede de sustentabilidade de lácteos, que abrange os ODS em termos de nutrição e segurança alimentar, geração de renda familiar e utilização sustentável dos recursos naturais (EMBRAPA, 2021).

No Brasil o setor de lácteos realiza ações que abrangem as dimensões social, econômica e ambiental, como: treinamento e orientação para produtores alinhados com (ODS 1: erradicação da pobreza), conservação e recuperação de

nascentes, tratamento e reaproveitamento de dejetos nas propriedades (ODS 2: fome zero e agricultura sustentável e 6: água potável e saneamento), incentivos à implementação de sistemas silvipastoris (ODS 2 e 13: ação contra a mudança global do clima), utilização de fontes renováveis de energia, como a solar e a eólica (ODS 7: energia acessível e limpa), coleta seletiva e reciclagem dos resíduos industriais (ODS 12: consumo e produção responsáveis), nota-se que a indústria de laticínios possui ações que contribuem para a Agenda 2030, porém, necessita explorar melhor a temática a seu favor (EMBRAPA, 2021).

A cadeia produtiva do leite é uma das principais atividades econômicas do Brasil, com contribuição na geração de emprego (média de 4 milhões pessoas empregadas em toda cadeia) e renda, presente em quase todos os municípios, tal atividade envolve 1,176 milhão de produtores. Em 2019, o valor do produto da produção primária de leite foi em torno de R\$ 35 bilhões, ocupando a sétima posição dentre os produtos que compõem o agronegócio do país (BRASIL, 2020).

Quando se observa os números da indústria de alimentos, tal valor mais que duplica, visto que o faturamento líquido dos laticínios atingiu R\$ 70,9 bilhões, sendo superado apenas pelos setores de carne; e beneficiados de café, chá e cereais (ABIA, 2020). Isso se deve a condições naturais compatíveis, como temperatura, água e topografia, que proporcionaram uma vantagem comparativa em termos de custos de produção (CASTRO et al., 2014).

O Brasil ocupava a terceira posição no *ranking* global de produtores de leite, sendo superado por Estados Unidos e Índia, porém, com um grande potencial a ser explorado, visto que em termos de produtividade animal o país ocupa a posição 84 (2.069 litros/vaca/ano) no mundo, com produtividade cinco vezes inferior aos primeiros colocados (Israel e Estados Unidos) que ultrapassam (10.000 litros/vaca/ano), (FAO, 2019), tal situação condiciona o potencial de melhorias, principalmente em termos de ganho de produtividade, já que o país ainda depende de importação de leite bovino de países vizinhos como Argentina e Uruguai (ABIA, 2020).

Em termos de produção de leite inspecionado, o Brasil produziu 25,5 bilhões de litros em 2020, o consumo de leite industrializado sofre contração para 15,3 bilhões de litros, devido a contração econômica provocada pela pandemia de COVID-19. No ano de 2021 houve redução de 4,9% em relação ao ano anterior, a produção anual foi de 23,8 bilhões de litros. No ano de 2022 a produção

ficou estagnada com 23,7 bilhões de litros, a estimativa é que o país encerre o ano de 2023 com crescimento de 4,3% para 24,7 bilhões de litros. A projeção é de crescimento para o ano de 2024 com de cerca de 1,2% e deve atingir 25 bilhões de litros (USDA, 2020; 2021; 2022; 2023).

Neste sentido a demanda por leite e seus subprodutos está em expansão, refletindo num crescente aumento de produção a fim de suprir o consumo interno. Como consequência, há uma elevação nos impactos ambientais tais como a emissão de gases de efeito estufa, acidificação do solo e a eutrofização das águas, referentes a produção de leite na fazenda, no beneficiamento e industrialização dos seus derivados (MUNYANEZA et al., 2019).

Não obstante o sistema agroindustrial leiteiro é estratégico para o país, devido a sua importância econômica e social, os produtos lácteos são responsáveis por 4% das emissões de GEE (Gases de efeito estufa), porém, o leite e seus derivados são de suma importância do ponto de vista nutricional e são acessíveis economicamente à maioria da população (FANTIN et al., 2012; DE LÉIS et al., 2015). Os possíveis impactos ambientais causados como: aquecimento global, acidificação, eutrofização, demanda de energia acumulada entre outros são significativos, visto que o Brasil é um dos principais produtores, consumidores e importadores de produtos lácteos do mundo (DJEKIC et al., 2013).

Nesse sentido, modificações nas instalações e melhorias na produção de laticínios tem sido realizadas a fim de promover a sustentabilidade da cadeia, visto que cada integrante da cadeia de suprimentos contribui para a redução da carga ambiental (BERLIN, 2002 ; MILANI et al., 2011 ; KIM et al., 2013).

Ademais, no caso específico da indústria de laticínios, há um elevado consumo de água e, conseqüentemente, uma produção de efluentes com alto teor de carga orgânica com considerável potencial de degradação ambiental, evidentes nas fases de limpeza, pasteurização e homogeneização (GUINÉE et al., 2011, GONÇALVES; MADERI e SANTOS, 2017).

Entre os derivados obtidos no processamento do leite há o soro de leite, gerado na produção de queijos, considerado como um dos resíduos de produção que deve receber algum tipo de tratamento antes da destinação final devido ao seu potencial de impacto ambiental. Em alguns casos é utilizado na alimentação animal ou para produção de outros derivados, com foco na economia de recursos

no tratamento/destinação final de afluentes. Porém, a produção de leite cru (exploração leiteira) é apontada como uma das fases mais importantes do processo de produção (PALMIERI; FORLEO e SALIMEI, 2017; FINNEGAN, W. et al., 2017; CANELLADA et al., 2018).

A mussarela é um queijo não curado, quase branco, macio e elástico, caracterizado por uma estrutura proteica fibrosa de cadeia longa, orientação paralela, sem evidência de grânulos de coalhada e sem casca, geralmente é feito com leite de vaca ou leite de búfala, ou com a mistura dos dois (FAO, 2006). Queijo obtido por filtragem de massa acidificada, produto intermediário obtido pela coagulação do leite através do coalho e/ou outras enzimas coagulantes apropriados, suplementados ou não com lactobacilos específicos (BRASIL, 1997).

As avaliações de ciclo vida de produtos lácteos especificamente queijos, são datadas do início da década de 2000. A unidade funcional de referência é de um 1 kg de produto, conforme recomendação da *International Dairy Federation* (IDF), quantidade adotada pela maioria de estudos sobre ACV voltados para queijos, com detalhamento sobre teor de umidade, gordura e proteína, em função da diversidade de queijos existentes (FINNEGAN et al., 2017).

Já abrangência das pesquisas e estudos de ACV de queijos mussarela (nomenclatura adotada conforme a Portaria nº 364/1997), indicaram o uso de materiais e fontes de energia que geram impactos significativos, principalmente relacionados à energia térmica (depleção de ozônio, toxicidade humana e eutrofização), eletricidade e gás natural (mudanças climáticas e ecotoxicidade) e transporte (oxidantes químicos), com avaliação de várias variáveis que podem ser utilizadas para obtenção de rótulos ecológicos (DALLA RIVA et al., 2017).

1.1 Problema em estudo e sua relevância

Diante do exposto, aponta-se a problemática desse estudo: quais os impactos ambientais inerentes a fabricação do queijo mussarela, considerando-se as fases de beneficiamento do leite? Em decorrência de tal problemática, surgiu a necessidade de estudar a fase de beneficiamento do leite, abrangendo a transformação em queijo mussarela, para conhecimento de potencialidades e fragilidades da cadeia.

A avaliação de impacto ambiental foi definida *International Association for Impact Assessment* (IAIA) em 1996, como o processo de identificação, previsão,

avaliação e mitigação de impactos relevantes biofísicos, social e outros, com propostas de desenvolvimento antes de decisões estratégicas serem tomadas e de compromissos serem assumidos (LEITE, 2013).

Existem algumas metodologias utilizadas para mensurar impactos ambientais, como: avaliação do ciclo de vida, a pegada ambiental e a ecoeficiência. A abordagem da pegada ambiental inclui alguns indicadores independentes, como pegada ecológica, pegada hídrica, pegada de carbono e química entre outras, com o objetivo de decompor a complexidade dos problemas práticos, o conceito “pegada” representa a ocupação humana dos recursos naturais e os encargos e impactos das atividades humanas no meio ambiente (SERWETA et al., 2019; LI et al., 2019; VALODKA et al., 2020; PAUNONEN et al., 2020; LUO et al, 2021).

A ecoeficiência associa desempenho econômico e impacto ambiental com ênfase na criação de mais valor com menos impacto (RASHIDI e SAEN, 2015). Os indicadores ambientais mais utilizados nos estudos sobre ecoeficiência são: emissões de gases com efeito estufa, consumo de água, energia e matérias, águas residuais. Tal metodologia por ser integrada com outros métodos, como a ACV, no intuito de quantificar o impacto ambiental e obter maior abrangência na avaliação (LUO et al, 2021).

Para se avaliar a sustentabilidade, faz-se necessário quantificar os potenciais impactos ambientais por meio de metodologias robustas e plenamente aceitas pela comunidade científica, assim, optou-se pela utilização da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), pois atende os requisitos necessários.

Uma das possíveis alternativas para minimização dos impactos ambientais resultantes da produção de bens de consumo é identificar os pontos críticos ao longo do ciclo de vida dos produtos: extração das matérias-primas, indústria de transformação, distribuição, utilização e descarte final, ou seja, do berço ao túmulo (da extração dos insumos até a disposição final).

A adoção da ferramenta de ACV auxilia na identificação das etapas de produção que resultam em maior consumo de recursos naturais e impactos ambientais significativos, possibilitando a tomada de decisão e implementação de ações preventivas ou corretivas que visem a minimização do consumo destes recursos e a geração de poluentes.

1.2 Objetivos e contribuição do estudo

Objetivo Geral: evidenciar o potencial impacto ambiental no processamento de queijo mussarela bovina.

Objetivos Específicos:

- Elaborar o inventário com os inputs da fase de fabricação de queijo mussarela;
- Mensurar as emissões decorrentes do beneficiamento de queijo mussarela;
- Identificar as principais categorias de impacto ambiental inerentes ao processo de beneficiamento de queijo mussarela;
- Propor alternativas de redução de impactos ambientais nos processos produtivos;
- Demonstrar estudo de viabilidade econômica para redução de consumo de energia elétrica com uso de fontes alternativas.

Por fim, o estudo se justifica pela importância da mensuração dos impactos ambientais dentro da cadeia produtiva de queijo mussarela, para auxiliar na tomada de decisão e na gestão dos processos produtivos, com o foco de tornar a produção de alimentos de origem animal cada vez mais sustentável e segura. Neste sentido, o estudo se baseia na ACV de um laticínio de beneficiamento do queijo mussarela, localizado na região centro-oeste do Brasil, visto que existem poucos estudos com dados referentes ao setor específico de lácteos naquela região e, assim, contribuir para a sustentabilidade dessa cadeia de produção.

Assim, esta pesquisa buscou compreender quais são os pontos críticos no processo de fabricação de queijo mussarela, com apontamento dos indicadores produtivos que sejam passíveis de otimização, para que se reduzam os impactos ambientais. Desta forma, foi utilizado o método de Avaliação de Ciclo de Vida, indicado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO/ONU* (FAO, 2019).

1.3 Visão geral e organização do estudo

Este estudo está organizado em cinco capítulos, incluindo o presente, denominado introdução.

No capítulo dois é apresentada a caracterização da produção de queijo bovino, enquadramento mundial e nacional, enquadramento da bacia leiteira e o

local do estudo. A avaliação do ciclo de vida (ACV) na produção lácteos, suas vantagens e limitações, fases do ciclo de vida, com ênfase na produção de queijo, com foco nas características da metodologia ACV voltadas às análises ambiental e energética.

O capítulo três apresenta os materiais e métodos utilizadas no estudo, a princípio é apresentada uma síntese da ACV em queijos, caracterização da empresa produtora, processo produtivo do queijo mussarela, definição da metodologia, categorias de potenciais impactos ambientais, delineamento da pesquisa e inventário do ciclo de vida.

No capítulo quatro foi feita a análise e discussão de resultados, das categorias abordadas no estudo: mudanças climáticas, acidificação terrestre, acidificação de água doce e demanda de energia acumulada, no segundo momento foi realizada a discussão dos resultados com estudos semelhantes.

No capítulo cinco foi elaborado um estudo de viabilidade econômica de implantação de painéis de energia fotovoltaica no intuito de propor mitigação de impactos ambientais no sistema produtivo analisado.

Ao final foram apresentadas as considerações sobre o estudo, com síntese dos objetivos atingidos, apontamentos para estudos futuros que possam agregar a este trabalho.

CAPÍTULO 2

2. Estado da arte

2.1 Caracterização da produção do queijo bovino

Considerado um dos alimentos mais antigos da humanidade, o queijo é citado em trechos bíblicos, o esboço da receita do produto obtido através do processo de coagulação de leite de cabras e ovelhas domesticadas por pastores data-se de, aproximadamente, 10.000 a.C (MASUI; YAMADA,1999). Antes da utilização de objetos cerâmicos (5.000 anos a.C) a estocagem do leite era realizada em bolsas confeccionadas de peles ou estômagos de animais. Ao ser estocado em tais recipientes o leite entrava em contato com enzimas coagulantes presentes no tecido animal e se coagulava durante a armazenagem com a liberação de soro (FOX et. al., 2000).

O queijo é concebido através da fermentação láctea intrínseca com adição de coalho, tais processos incorporados nas etapas iniciais de produção de queijos. Com variações nesses procedimentos, com diferentes formas de adição de fermento lácteo, cozimento da massa, prensagem, salgamento, adição de gordura ou creme, diferentes intervalos de maturação, proporcionam características únicas aos diferentes tipos de queijos produzidos no Brasil (BORELLI et al., 2016; KAMIMURA et al., 2019).

Os produtos lácteos são uma ótima fonte de nutrição diária para o consumo humano, pois são fonte de cálcio, fósforo, magnésio e vitaminas essenciais no crescimento e desenvolvimento ósseo, recomendados para a composição de uma dieta saudável e equilibrada. Dentre os produtos lácteos, o queijo está com a demanda em crescimento e é o produto lácteo mais consumido depois do leite (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013b; RÖÖS et al., 2016; FAO, 2019). No entanto, sua produção tem sido associada a elevados impactos ambientais (PALMIERI et al., 2017).

Vários fatores foram observados nos últimos anos relacionados às mudanças no setor de laticínios, incluindo a concorrência do uso do solo, aumento da demanda por qualidade e ferramentas tecnológicas. Aprimoramentos que intensifiquem o processo de produção de leite e derivados são fundamentais para que o Brasil reverta a crise na indústria de laticínios, visto que pós-pandemia, enfrenta custos elevados de produção e as importações aumentaram significativamente desde o segundo semestre de 2022 (USDA, 2023).

2.2 Enquadramento Mundial

Em termos globais, a produção de queijo se destaca nos países da União Europeia, que foram responsáveis por 48,18% da produção mundial em 2021 (TABELA 1), o Brasil ocupou posição destaque, visto que produziu 3,5% da produção mundial, porém, muito distante de países como Estados Unidos que produziram 28,67%, mundialmente foram produzidas aproximadamente 21.688 milhões de toneladas de queijo em 2021 (XIMENES; USDA, 2021).

Já em 2022 o país apresentou queda na produção, com 745 mil toneladas, correspondendo por 3,38% da produção da produção mundial, em 2023 a país apresentou aumento na sua produção voltando aos resultados anteriores a pandemia, com aumento de 3,35% em relação a 2022, com produção de 770 mil

toneladas, o que corresponde a 3,47% da produção mundial, para o ano de 2024 a projeção é que se mantenha estável (USDA, 2023).

Tabela 1: Produção mundial de queijo (mil toneladas) 2017-2023.

Unidade Geográfica	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
União Europeia	10.050	10.160	10.210	10.350	10.450	10.340	10.390
Estados Unidos	5.733	5.914	5.959	6.000	6.218	6.379	6.400
Rússia	951	970	983	1.035	1.060	1.045	1.100
Brasil	771	760	770	750	760	745	770
Argentina	514	444	523	488	537	535	520
Canadá	497	510	515	510	515	517	522
México	396	419	437	455	460	455	465
Austrália	348	366	364	385	395	400	425
Nova Zelândia	386	370	365	350	365	375	400
Bielorrússia	260	275	300	346	360	370	380
Selecionados	19.906	20.188	20.426	20.669	21.120	-	-
Outros	522	552	555	553	568	267	254
Mundo	20.428	20.740	20.981	21.222	21.688	21.983	22.146

Fonte: Adaptado (USDA; XIMENES, 2021; 2023).

Em termos de consumo mundial de queijo, a tendência se assemelha a produção, visto que a União Europeia foi responsável por 45,66% do consumo (TABELA 2), seguido por Estados Unidos com 28,42%, o Brasil foi responsável por 3,8% do consumo global de queijo, isso demonstra que o país depende de importação, visto que apresentou um déficit entre produção e consumo em torno de 36 mil toneladas em 2021 (XIMENES; USDA, 2021).

Como observado na Tabela 1, houve queda na produção e no consumo de queijo em 2022 no Brasil, houve um recuo de 2,76% no consumo global com 774 mil toneladas, porém se, manteve estável com 3,66% de participação no consumo mundial, em 2023 o país apresentou crescimento de 4,39% em relação a 2022, atingindo o pico de produção com 808 mil toneladas, o que demonstra um consumo similar ao apresentado antes a pandemia, porém, se manteve estável em termos de consumo global, com 3,8 de participação e o cenário para 2024 e de estabilidade (USDA, 2023).

Tabela 2: Consumo mundial de queijo (mil toneladas) 2017-2023.

Unidade Geográfica	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
União Europeia	9297	9386	9394	9482	9560	9.191	9.200
Estados Unidos	5.494	5.674	5.751	5.766	5.950	6.055	6.106
Rússia	1.141	1.200	1.231	1.318	1.340	1.390	1.430
Brasil	799	785	795	776	796	774	808
México	511	526	551	564	575	597	633
Canadá	504	537	539	539	550	559	566
Argentina	485	380	430	441	473	435	440
China	357	384	397	409	430	435	445
Japão	324	329	346	344	346	326	297
Austrália	291	293	297	305	315	330	365
Selecionados	19.203	19.494	19.731	19.944	20.335	-	-
Outros	531	535	555	582	598	567	542
Mundo	19.734	20.029	20.286	20.526	20.933	21.139	21.364

Fonte: Adaptado (USDA; XIMENES, 2021; 2023).

2.3 Enquadramento Nacional

Mesmo com as restrições e prevenção ao contágio do Corona vírus, a produção de leite inspecionado cresceu 2,1% em 2020 em relação a 2019, totalizando 25,5 bilhões de litros, com o melhor resultado da última década, o queijo obteve destaque, visto que absorveu 8,7 bilhões de litros em 2020, volume superior em 2,8% em relação ao volume do ano anterior, a elaboração de queijos também cresceu e contribuiu para a elevação das importações de leite, com variação de 11,3%, representando uma aquisição de aproximadamente 334 milhões de litros oriundos principalmente dos vizinhos Argentina e Uruguai (EMBRAPA, 2021). O cenário mudou no ano de 2021, dados do (IBGE) confirmam que o leite inspecionado adquirido pelos laticínios atingiu a produção anual de 23,8 bilhões de litros, houve redução de 4,9% em 2021, isso significa redução de 1,7 bilhões de litros em relação ao ano anterior (EMBRAPA, 2023).

Já em relação a produção por estados, Minas Gerais lidera com 6,5 bilhões de litros de leite, responsável por mais de um quarto da produção brasileira, seguida pelos três estados do Sul, Paraná com 3,4 bilhões de litros, Rio Grande do Sul com 3,3 bilhões de litros, e Santa Catarina com 2,8 bilhões de litros, já na 5ª posição está São Paulo com 2,7 bilhões de litros, Goiás ficou na 6ª posição com 2,5 bilhões de litros (EMBRAPA, 2021). Tais posições no ranking se

mantiveram nos anos de 2021 e 2022, porém, com queda na produção (EMBRAPA, 2023).

Conforme dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) em 2020 foram consumidos 776 mil toneladas de queijos no Brasil, com queda de 2,4% no volume em relação ao ano anterior, já em 2021 o crescimento foi tímido de 1,1%, atingindo 784 mil toneladas, longe de atingir as 796 mil toneladas registradas em 2019. Em termos globais o Brasil ocupa a quinta posição na produção de queijos, aquém dos EUA que lideram o ranking com 5,3 milhões de toneladas, seguidos por Alemanha com 2,2 milhões de toneladas e França com 2 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2022).

No Brasil existe uma concorrência acirrada no setor queijo, devido a um elevado grau de fragmentação, visto que as vendas são concentradas em produtos com margens baixas, como a mussarela. A mussarela foi o tipo de queijo maturado e não processado mais consumido no país em 2023, respondendo por cerca de 46% das vendas de queijo, em termos de produção foi responsável por cerca de 50% nos anos de 2021 a 2023, com valores aproximados de 380 mil toneladas em 2021, 387 mil toneladas em 2022 e 404 mil toneladas em 2023 (USDA, 2023).

Quanto ao consumo de queijos pelos brasileiros ainda é considerado baixo, segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias de Queijo (ABIQ, 2020) está em 5,5 kg por habitante/ano, metade do consumo registrado na Argentina com 11 kg e distante de vários países europeus com médias acima de 20 kg (EMBRAPA, 2021).

Em relação ao consumo houve recuo em função das medidas restritivas que afetaram a queda na demanda ocasionada pelo fechamento de restaurantes e redes de *food service*, visto que um terço da produção brasileira de queijos é consumida com alimentação fora do lar, a elevação dos preços dos tipos prato e mussarela e a queda na renda da população inibiu o poder de compra de lácteos de maior valor agregado (EMBRAPA, 2021).

Quando se trata de queijo, os maiores consumidores são homens pertencentes à geração *Baby Boomers* (nascidos de 1946 a 1960), classe social AB e vivem em áreas rurais. Neste sentido, o maior consumidor de queijo é semelhante ao maior consumidor de leite, exceto a geração a qual pertencem. Em termos de consumo, duas gerações (Silenciosa e *Baby Boomers*) refletem

indivíduos maduros, em muitos casos já aposentados e com estabilidade financeira (EMBRAPA, 2023).

Em termos de preferência o queijo mussarela está na predileção do consumidor em função do preço e pelo uso intensivo na cadeia de *food service* (consumo fora de casa) e na cozinha doméstica, o quilo do queijo chega a ser moeda, usado como referência de cálculo nas planilhas financeiras do setor. O consumo se dá em termos preferenciais na sequência queijo mussarela, queijo minas, requeijão e queijo prato, em termos de regiões, a região Sudeste se destaca, com consumo 28% superior à média do país de 5,5 kg por habitante/ano, em sequência a região Sul, no sentido oposto está a região Norte, o consumo per capita equivale a menos de um terço da média nacional (EMBRAPA, 2021).

Ademais, denota-se que o sistema de produção de leite adotado influencia na produtividade, eficiência e na geração de impactos ambientais. No Brasil há heterogeneidade na estrutura de produção de leite, como raça dos animais, dieta e gerenciamento, o que implica na necessidade de análise dos impactos ocasionados nesses sistemas de produção diversos (ASSIS et al., 2005; AGOSTINHO et al., 2019).

Assim como contribui com a economia, o setor também contribui de forma significativa em termos de emissões de gases de efeito estufa. O Brasil é o segundo país com maior emissão de metano entérico resultante deste setor, no entanto para minimizar os impactos ambientais gerados, se faz necessário o conhecimento completo dos impactos, das práticas adotadas e dos sistemas de produção de leite (YORK et al., 2018).

2.4 Enquadramento da região produtora: bacia leiteira

O estado de Goiás produziu 9% do leite do país em 2020. Do ponto de vista social e econômico, o leite é uma das cadeias produtivas mais importantes do estado. A cadeia do leite já gera 220 mil de empregos diretos e indiretos no estado. Goiás tinha 72 mil produtores de leite em 2017, segundo censo Agropecuário do IBGE 2017. Com uma produção em torno de 2,5 bilhões de litros de leite em 2020, a cadeia está presente nos 246 municípios goianos. Em 2020 gerou 5,3 bilhões de reais em receitas, as maiores bacias do estado estão concentradas nos municípios de Orizona, Piracanjuba, Jataí, Morrinhos, Pirenópolis, Itapuranga, Vianópolis, Bela Vista de Goiás, Rio Verde, Pontalina, Silvânia (BRASIL, 2021).

Em 2021 apresentou o recuo na produção de leite em relação ano anterior, com recuo na produção de 77 milhões de litros, encerrando o ano com 2,4 bilhões de litros de leite, com 9,7% de leite produzido no país, ocupando a 6ª posição no ranking nacional, com 5,6 bilhões de reais em receitas. (EMBRAPA, 2022).

As regiões Sul e Central são as maiores produtoras de leite do estado, respondendo por aproximadamente 45% e 30%, respectivamente. Para os produtores, os principais desafios são: volatilidade e falta de previsibilidade de preços, longos prazos para recebimento pelo leite entregue e altos custos de produção e insumos. Do ponto de vista da indústria, os principais gargalos estão relacionados ao baixo volume de leite por quilômetro percorrido, altos custos de transporte e produção, falta de mão de obra especializada, falta de infraestrutura e logística, baixo fornecimento de energia e baixo consumo de derivados lácteos (BRASIL, 2021).

Observa-se que o leite é produzido em todos os municípios do estado de Goiás, com aproximadamente 65 mil produtores e ocorre de forma heterogênea (SENAR, 2019). Há grande variação na atividade, que pode estar relacionada a diversos fatores como: alimentação, uso de ordenhadeiras mecânicas, ou seja, há propriedades que fortalecem a produção por meio da especialização. No entanto, existem muitos produtores que têm na pecuária leiteira à atividade secundária, com produção insuficiente para atender requisitos mínimos para o elo da cadeia a jusante, os laticínios (CASTRO et al., 2014).

Em termos de legislação para produção de queijos o estado de Goiás segue as recomendações da Instrução Normativa nº 3/2019 (MAPA, 2019) que regulamenta a produção e processamento de produtos de origem animal, com normatização dos estabelecimentos junto estabelecimento junto ao Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (DIPOA), tais critérios e orientações, reforçam a importância da produção leite e seus derivados, seja por empresas de grande, médio ou pequeno porte no estado.

Na Figura 1 nota-se a distribuição da produção de leite em Goiás em 2012, observa-se maior número de municípios com baixa produção, sendo que três deles (Piracanjuba, Morrinhos e Jataí) respondiam por um percentual significativo da produção (CASTRO et al., 2014). Nota-se na Figura 2 que em uma década, de 2012 a 2022, houve poucas alterações no mapa da produção leiteira do estado.

Neste sentido 90% da produção de leite do estado se concentra em apenas 58 municípios (SENAR, 2019).

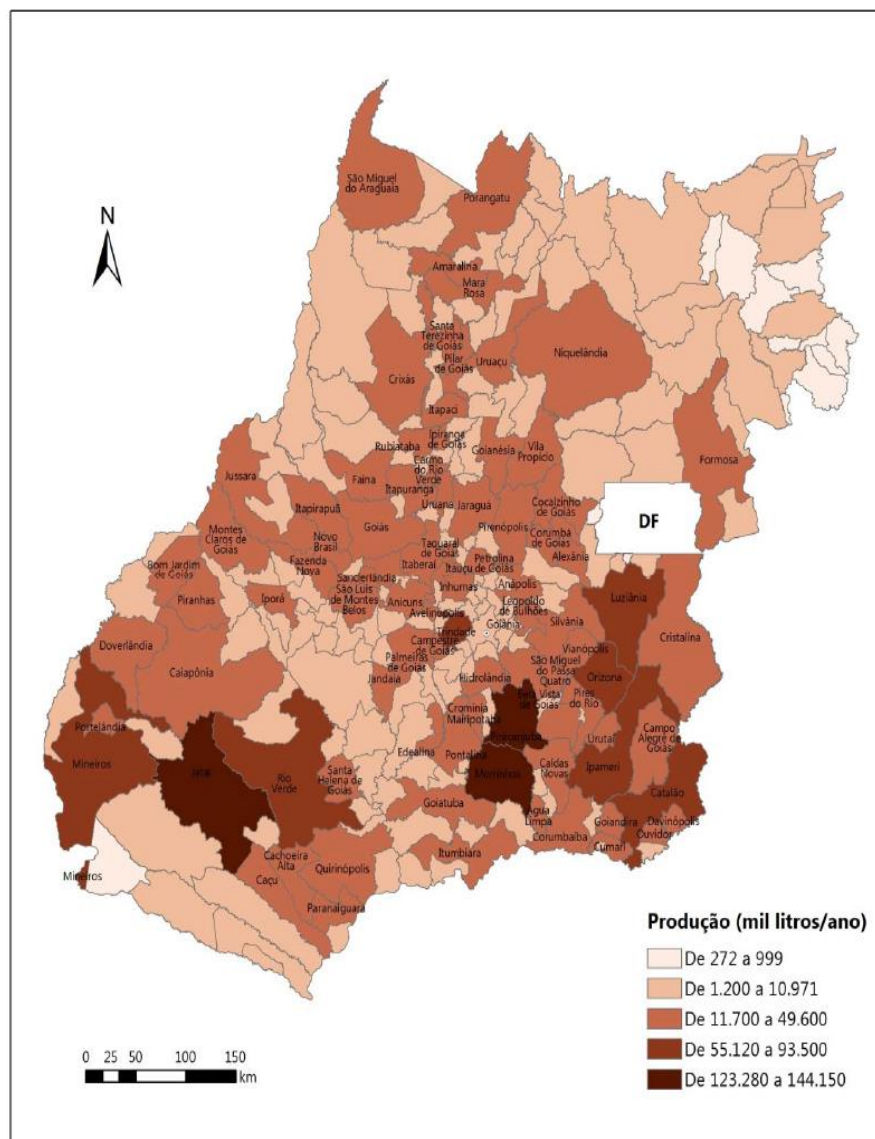


Figura 1: Produção de leite nos municípios goianos em 2012.
Fonte: IBGE; IMB (2014).

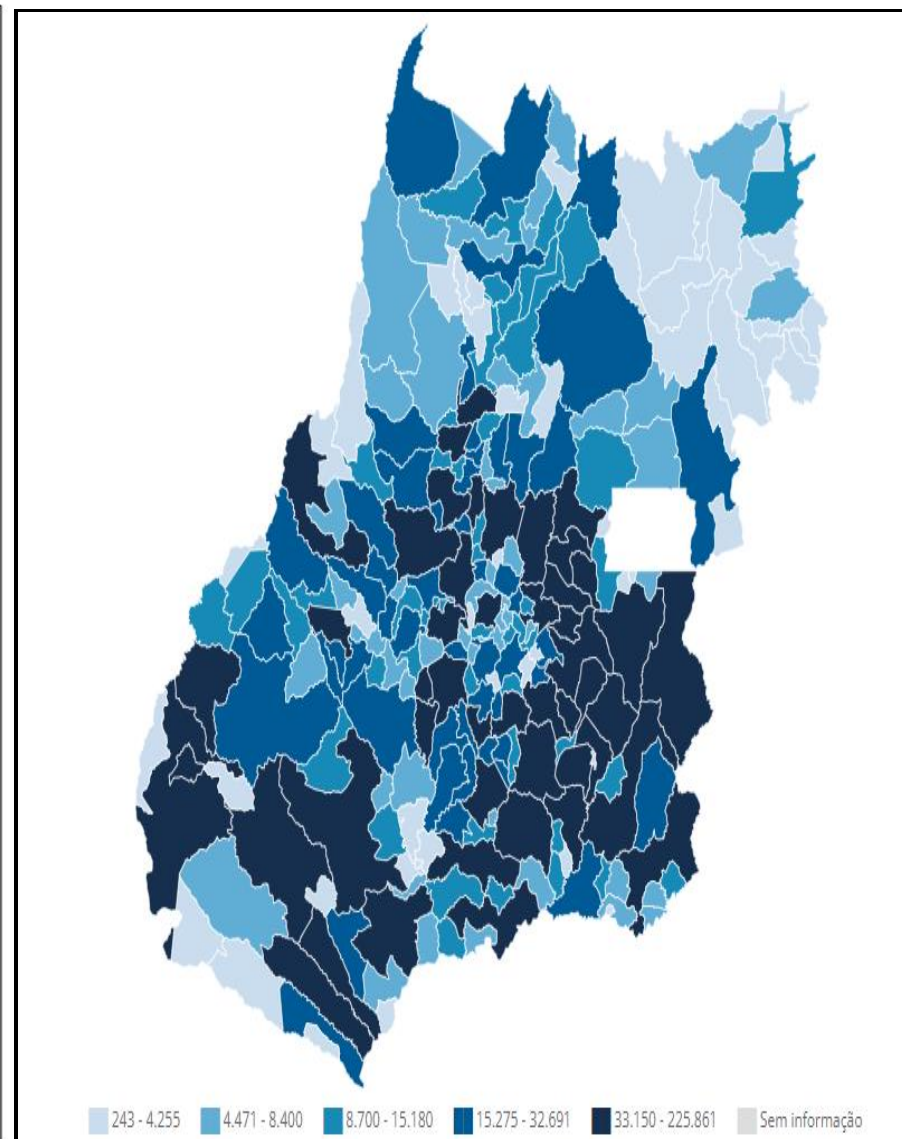


Figura 2: Produção de leite nos municípios goianos em de 2022.
Fonte: IBGE (2023).

Tal realidade não sofreu alterações ao longo dos anos, visto que no ano de 2018, as regiões Central e Sul do estado foram responsáveis por cerca de 80% da produção bovina leiteira do estado (FIGURA 3). Tal concentração da produção de leite nessas regiões justificam a concentração de 82,1% da indústria de laticínios do estado nessas áreas, que são uma fonte significativa de geração de empregos formais (GOIÁS, 2020). A escolha da região Noroeste do estado para a realização do estudo se deu em função do acesso aos dados junto ao estabelecimento pesquisado, como também o fato do local não ser fator chave na coleta dos dados, visto que se busca a identificação dos impactos ambientais na produção de queijo.

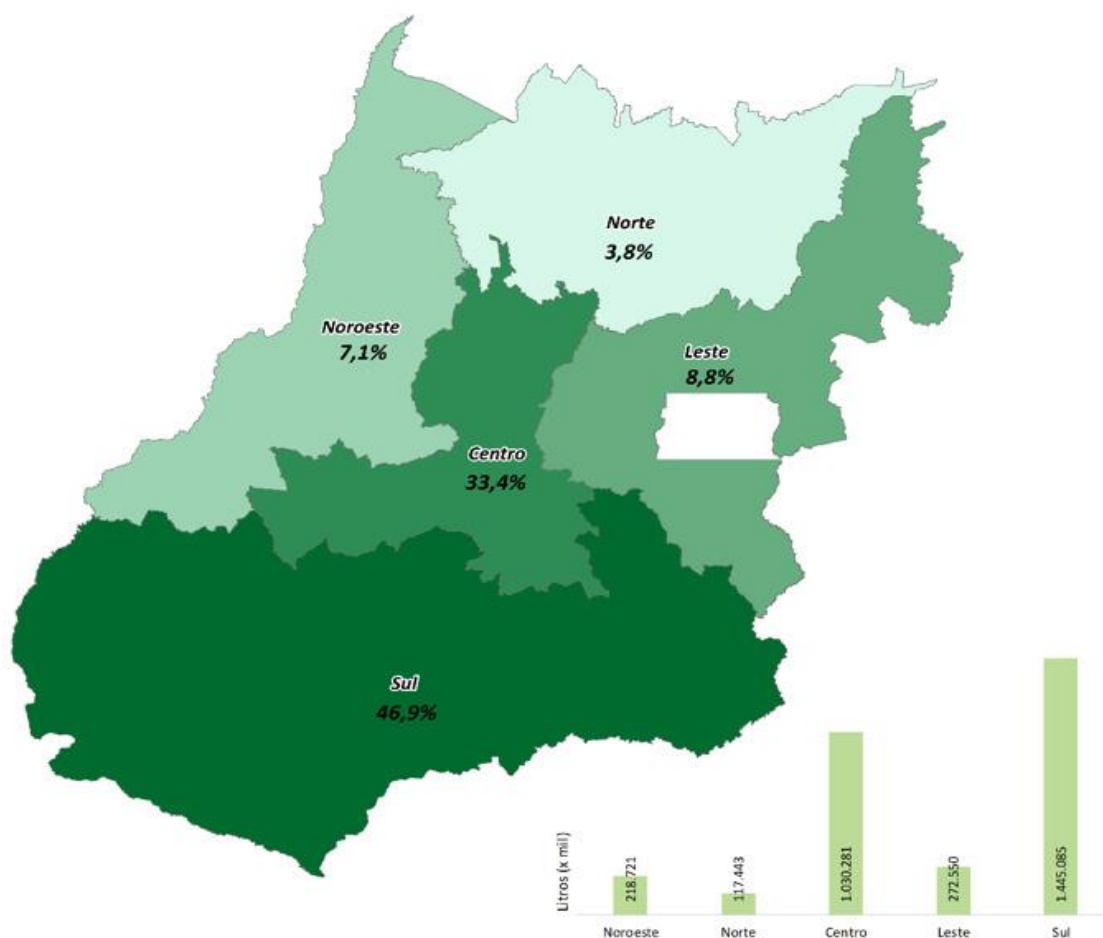


Figura 3: Mapa das Bacias Leiteiras do Estado de Goiás em 2018.
Fonte (IBGE e IMB, 2020), Agro em Dados (2020).

Em termos de tamanho do rebanho de bovino leiteiro o estado de Goiás se destaca na região Centro-Oeste do Brasil (Tabela 3), respondendo por aproximadamente 77% do total do rebanho da região e 9% do rebanho leiteiro nacional em 2020 (SANTOS e OLIVEIRA, IMB, 2022).

Tabela 3: Estado de Goiás, Centro-Oeste e Brasil: rebanhos para produção de leite 2018-2020.

Especificação		Vacas leiteiras	Produção de leite
Brasil			
	2018	16.353.091	33.907.899
	2019	16.305.365	34.918.653
	2020	16.167.625	35.445.059
Centro-Oeste			
	2018	2.609.419	4.092.356
	2019	2.504.993	4.140.393
	2020	2.446.406	4.132.075
Goiás			
	2018	1.930.594	3.084.080
	2019	1.881.021	3.164.963
	2020	1.873.669	3.188.868

Fonte: Adaptado (SANTOS e OLIVEIRA, IMB, 2022).

Em relação ao comércio internacional de lácteos o estado de Goiás apresentou em 2021, 890,7 mil dólares e 358,1 toneladas de lácteos em exportações, com recuo 14,1% e 24,3% respectivamente em relação a 2020. Já em relação a importações o estado importou 7,1 milhões de dólares e 2 mil toneladas, com recuo de 14,4% e 23% respectivamente em relação ao ano anterior (GOIÁS, 2022).

Na Figura 4 são apresentados os principais produtos lácteos que compõem a balança comercial do estado em 2021. Com destaque para a exportação de queijos com 43,2% do total, já nas importações o soro de leite se destacou com 98% do total. Em termos de destino das exportações, o Chile se destaca com 42% do total. Já as importações, as mesmas foram oriundas da Argentina 52,5% e Uruguai 47,5%, tal situação condiz com a realidade nacional, visto que esses dois países são os principais fornecedores de produtos lácteos para o Brasil (GOIÁS, 2022).

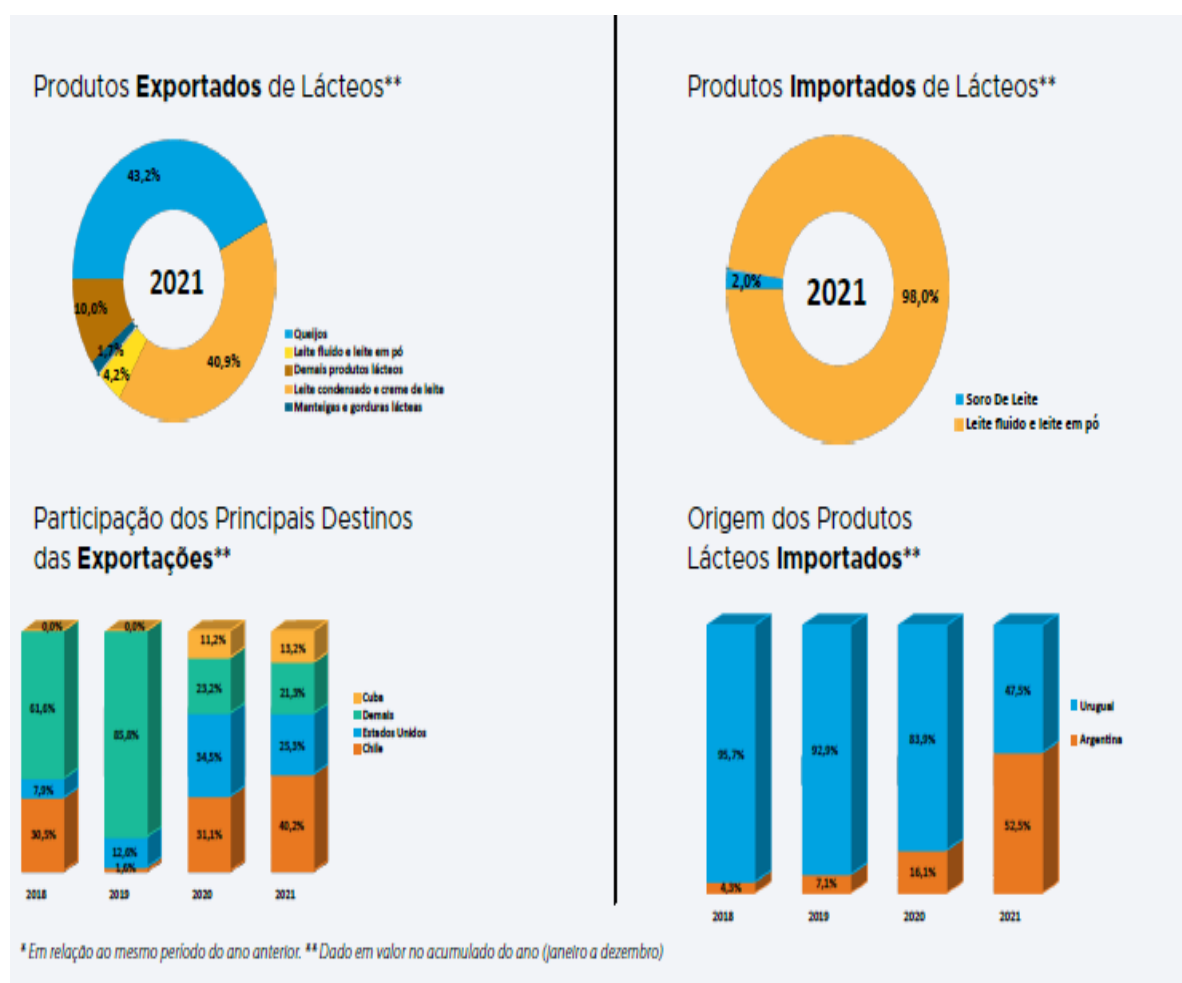
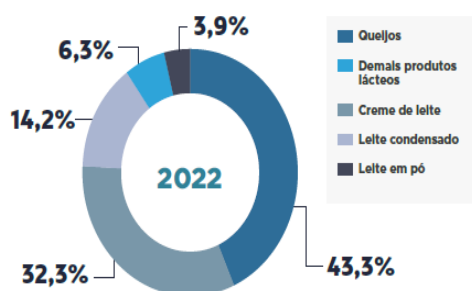


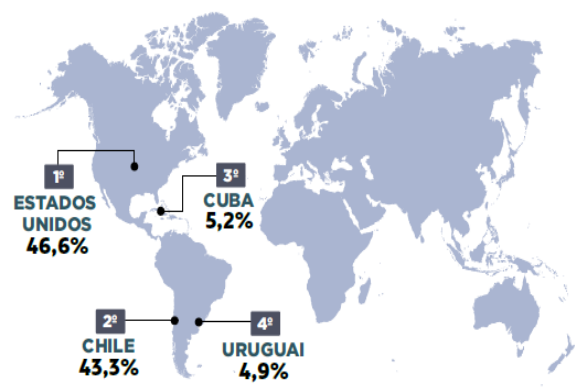
Figura 4: Balança comercial de lácteos do estado de Goiás em 2021.
Fonte: AGROEMDADOS (2022, p.9).

Em 2022 o valor das exportações cresceu 20,1% atingindo 1 milhão de dólares e 360,6 toneladas (FIGURA 5), com acréscimo de 0,7%, já as importações quadruplicaram atingindo 22,7 milhões de dólares acréscimo de 219,1% e 5,1 mil toneladas com acréscimo 154,5%. Em relação as exportações os queijos mantiveram o percentual de 43,3% sobre o total, já em relação a importações o leite em pó em pó foi o destaque com 87,9% do total, nota-se que de um ano para outro a indústria de lácteos mudou sua preferência em termos de importações, visto que o leite em pó sobrepôs o soro de leite. Quanto ao destino das exportações os Estados Unidos foi o principal comprador com 46,6% em seguida o Chile com 43,3%, em relação a importações a Argentina e Uruguai continuam sendo os fornecedores de produtos lácteos, com 65,8% e 34,2% de participação respectivamente (GOIÁS, 2023).

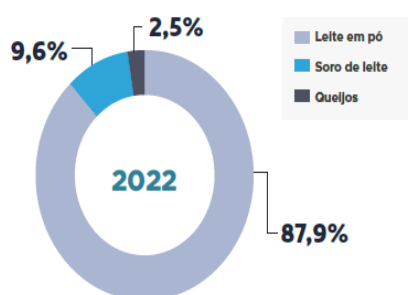
Produtos Exportados de Lácteos**



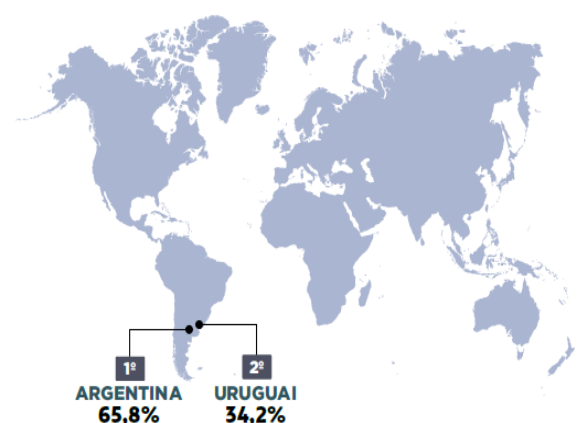
Participação dos Principais Destinos das Exportações**



Produtos Importados de Lácteos**



Origem dos Produtos Lácteos Importados**



* Em relação ao mesmo período do ano anterior

** Dado em valor no acumulado do ano (janeiro a dezembro)

Fonte: CEPEA-ESALQ/IFAG/MAPA.

Elaborado por Gerência de Inteligência de Mercado/SEAPA

Figura 5: Balança comercial de lácteos do estado de Goiás em 2022.

Fonte: AGROEMDADOS (2023, p.8).

Em relação ao total de exportações brasileiras de lácteos, o estado de Goiás contribuiu com 890,7 mil dólares (GOIÁS, 2022), o que representou 0,9% do total 97.854.355 milhões de dólares (TABELA 04), já em relação as exportações de queijos o estado contribui com 384,7 mil de dólares (GOIÁS, 2022) ou 1,65% do total das exportações do produto em 2021. Já em 2022 o estado foi responsável por 1 milhão de dólares em exportações de lácteos, com 0,9% do total de 102.310.179,0 milhões de dólares (TABELA 4), em relação as exportações de queijos o estado foi responsável por 430,3 mil dólares (GOIÁS, 2023) ou 1,71% do total as exportações 25.226.463,0 milhões de dólares (TABELA 04), com acréscimo de 3,63% em relação a 2021.

Já em relação as importações brasileiras de lácteos o estado foi responsável por 7,1 milhões de dólares (GOIÁS, 2022) ou 1,49% do total de 475.531.795,0

milhões de dólares (TABELA 04), em relação as importações de queijos o estado não fez aquisições em 2021 (GOIÁS, 2022). No ano de 2022 o as importações foram de 22,7 milhões de dólares (GOIÁS, 2023), com 3,22% do total das importações brasileiras de 704.228.708,0 milhões de dólares, (TABELA 04), em relação as importações de queijos o estado importou 567,500 mil dólares (GOIÁS, 2023), o que correspondeu 0,3% do total 163.289.071,0 milhões de dólares (TABELA 04) do total de importações do produto.

É notório que o Brasil apresentou um déficit de produtos lácteos de (US\$-377.677.440,0 milhões) em 2021, e (US\$-601.918.529,0 milhões) em 2022, o que demonstra que nesse segmento o país é depende do mercado externo, tal situação também é apresentada na balança comercial de queijos, em que o país apresentou um déficit de (US\$-113.448.941,0 milhões) em 2021 e (US\$ -138.062.608,0 milhões) em 2022 (TABELA 04).

Tabela 04: Perfil do comércio exterior de lácteos do Brasil de 2021 a 2022.

Transação/Produto	2021			2022		
	US\$	kg	US\$	US\$	kg	US\$
Exportação	97.854.355,0	38.831.783	2,520	102.310.179,0	36.198.802	2,826
Queijos	23.183.813,0	4.607.812	5,031	25.226.463,0	4.257.683	5,925
Leite em pó	21.585.542,0	6.248.483	3,455	22.884.125,0	5.868.453	3,900
Leite condensado	15.092.628,0	9.085.871	1,661	18.728.833,0	9.447.664	1,982
Creme de leite	14.774.816,0	6.512.604	2,269	15.881.926,0	5.981.432	2,655
Manteiga	2.453.803,0	580.081	4,230	5.183.080,0	1.033.558	5,015
Demais produtos lácteos	3.621.506,0	1.271.029	2,849	4.240.977,0	1.315.022	3,225
Leite fluido	2.674.685,0	5.117.872	0,523	3.681.403,0	5.428.860	0,678
Leite modificado	10.849.688,0	2.972.138	3,650	3.193.379,0	784.532	4,070
Doce de leite	1.786.560,0	768.477	2,325	1.261.807,0	413.756	3,050
Soro de leite	855.500,0	906.963	0,943	874.158,0	905.089	0,966
Leitelho	508.868,0	467.838	1,088	600.453,0	495.445	1,212
logurte	460.705,0	291.750	1,579	543.394,0	263.708	2,061
Demais gorduras lácteas	6.241,0	865	7,215	10.181,0	3.600	2,828
Importação	475.531.795,0	137.678.461	3,454	704.228.708,0	170.183.299	4,138
Leite em pó	246.400.783,0	75.762.842	3,252	440.325.397,0	106.463.748	4,136
Queijos	136.632.754,0	31.963.869	4,275	163.289.071,0	33.199.038	4,918

Soro de leite	28.124.163,0	14.924.731	1,884	42.254.416,0	18.963.624	2,228
Manteiga	14.053.299,0	3.177.576	4,423	16.113.179,0	2.894.528	5,567
Demais gorduras lácteas	15.066.975,0	2.822.344	5,338	13.930.294,0	2.158.322	6,454
Leitelho	9.032.375,0	2.546.131	3,547	12.784.598,0	2.860.515	4,469
Demais produtos lácteos	22.103.404,0	5.281.477	4,185	11.594.434,0	2.503.304	4,632
Doce de leite	2.936.015,0	1.065.484	2,756	2.473.967,0	914.333	2,706
Leite modificado	1.157.079,0	91.951	12,584	1.404.942,0	141.775	9,910
Leite fluido	24.948,0	42.056	0,593	58.410,0	84.112	0,694
Saldo/déficit	- 377.677.440,0	-98.846.678	-	-601.918.529,0	- 133.984.497	-
Queijos	- 113.448.941,0	-27.356.057	-	-138.062.608,0	-28.941.355	-
Leite em pó	- 224.815.241,0	-8.676.248	-	-417.441.272,0	-13.095.171	-
Leite condensado	15.092.628,0	5.908.295	-	18.728.833,0	6.553.136	-
Creme de leite	14.774.816,0	3.690.260	-	15.881.926,0	3.823.110	-
Manteiga	-11.599.496,0	-1.966.050	-	-10.930.099,0	-1.826.957	-
Demais produtos lácteos	-18.481.898,0	-4.010.448	-	-7.353.457,0	-1.188.282	-
Leite fluido	2.649.737,0	4.052.388	-	3.622.993,0	4.514.527	-
Leite modificado	9.692.609,0	2.880.187	-	1.788.437,0	642.757	-
Doce de leite	-1.149.455,0	726.421	-	-1.212.160,0	329.644	-
Soro de leite	-27.268.663,0	99.753.641	-	-41.380.258,0	134.889.586	-
Leitelho	-8.523.507,0	27.823.895	-	-12.184.145,0	29.436.800	-
Iogurte	460.705,0	8.967.998	-	543.394,0	13.358.879	-
Demais gorduras lácteas	-15.060.734,0	-5.907.430	-	-13.920.113,0	-6.549.536	-

Fonte: Adaptado (COMEXSTAT; XIMENES e SOARES, 2023).

2.4.1 Local do estudo

O estudo foi realizado em laticínio localizado na região Centro-Oeste do Brasil, Estado de Goiás, Mesorregião Geográfica Noroeste Goiano (FIGURA 6), que corresponde por 7,1% da produção leiteira do estado (GÓIAS, 2020, IBGE, 2023).

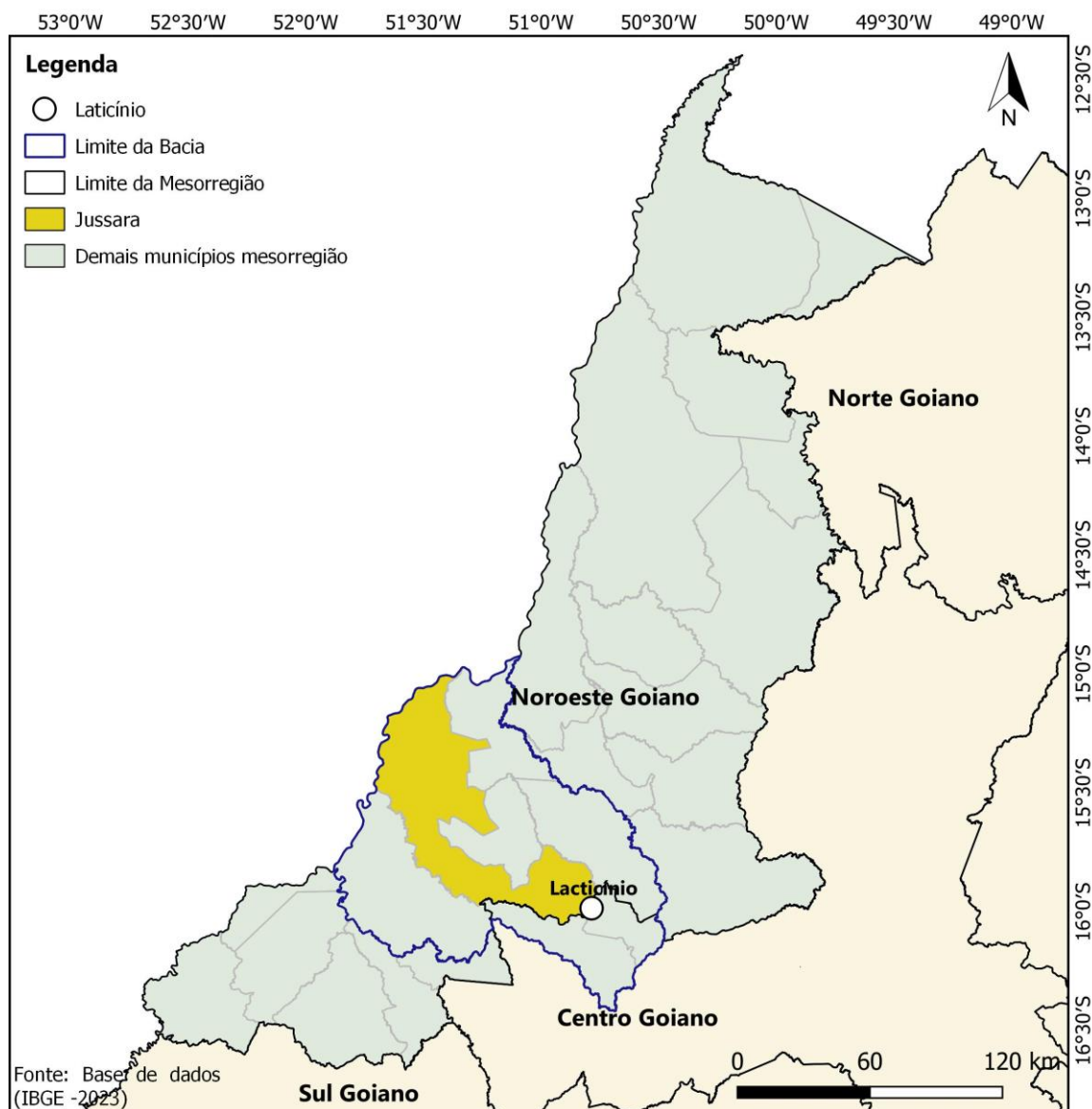


Figura 6: Mapa da Mesorregião Noroeste Goiano.
Fonte: IBGE (2023).

A unidade fabril está localizada no município de Jussara-GO, tendo como zona limítrofe os municípios: Britânia, Fazenda Nova, Novo Brasil, Itapirapuã, Montes Claros e Santa Fé de Goiás, a bacia de captação do laticínio é composta por produtores localizados nos municípios de Jussara, Itapirapuã, Britânia, Fazenda Nova, Novo Brasil, Itapirapuã, Montes Claros e Santa Fé de Goiás (FIGURA 7) (IBGE, 2023).

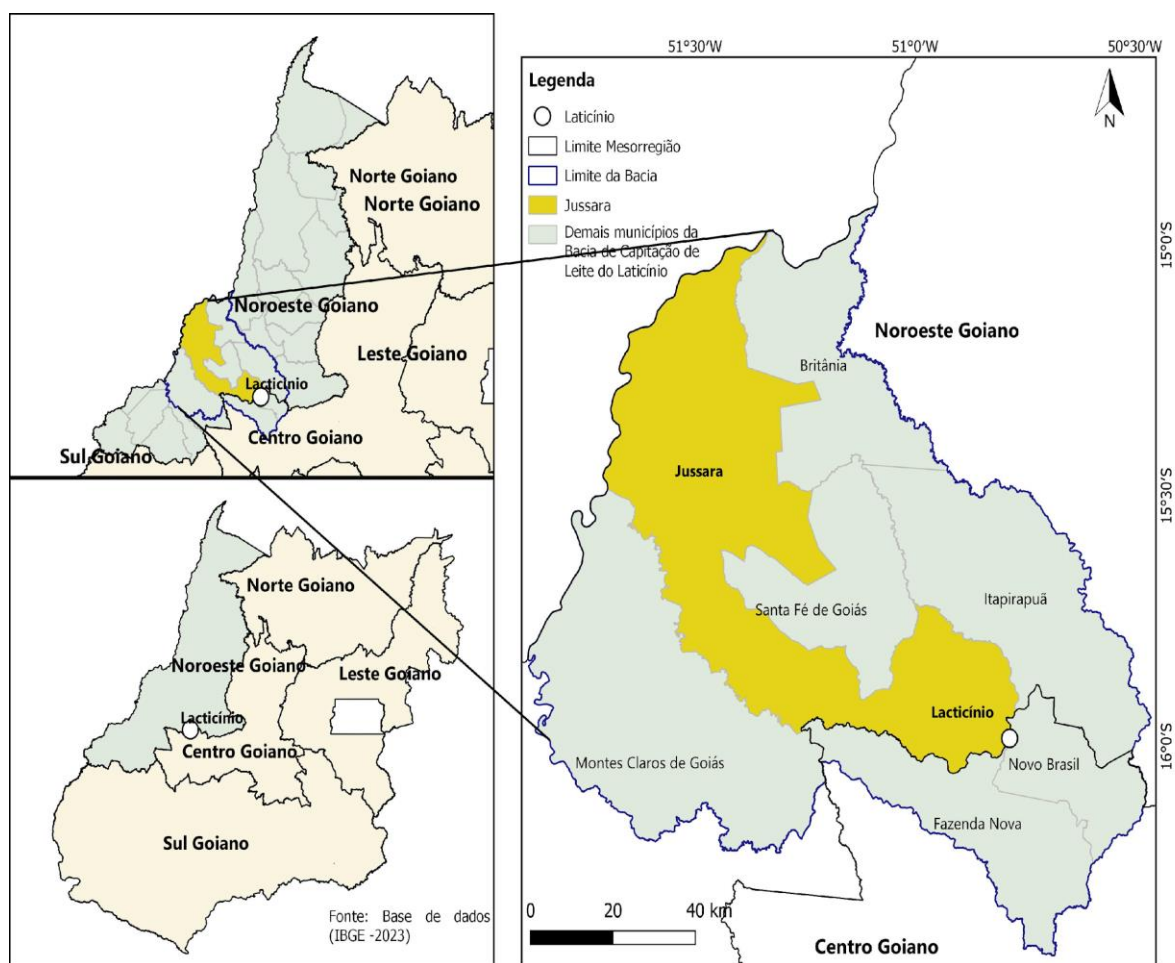


Figura 7: Mapa da bacia de captação de leite.
Fonte: IBGE (2023).

2.5 Introdução a Avaliação do Ciclo de Vida

Esta seção é dedicada aos conceitos e estudos relacionados a metodologia de ACV em produção de laticínios, especificamente a produção de queijo, com intuito de apresentar o surgimento da metodologia e análises ambientais e energéticas pertinentes ao presente estudo.

Inicialmente realizar-se-á uma revisão sistemática sobre o tema elaborado. Para tanto, será necessário a separação dos subitens da Bovinocultura leiteira com ênfase na produção de queijo. Desta forma, os assuntos foram divididos em indicadores da bovinocultura leiteira e indicadores de impactos ambientais relacionados à produção de queijos, para então relacioná-los ao estudo da ACV.

A preocupação sobre a escassez dos recursos energéticos fez surgir, no início da década 1960, a metodologia Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) com o objetivo de quantificar e mapear o consumo dos recursos naturais relacionados em sua grande maioria ao crescimento populacional e o consequente aumento do consumo. Desta

forma, objetivou-se encontrar novas fontes de energia alternativas com estimaco de emisses ambientais e os custos de implementaco em relaco as já utilizadas é época (SUNDSTROM, 1974; NUNES, 2018). Tais estudos, foram elaborados por grandes empresas como a Coca Cola, porém, o interesse geral foi reduzindo em funcco da falta relevância das informaces obtidas e a confidencialidade (HUNT et al., 1974; NIGRI, 2012).

As décadas de 1970 (abrange carga ambiental) a 1990 (introduco dos modelos de custeio do ciclo de vida) so apontadas como o período de concepcco da ACV, com a utilizaco de diversas abordagens e terminologias, porém, com a obtencco de resultados divergentes, o que limitou de forma provisria a aplicaco da metodologia (ASSIES, 1992; GUINÉE et al., 1993, GUINÉE et al., 2011).

Já de 1990 a 2000 foi conhecida como a década da padronizaco, com o crescimento notrio de atividades científicas e de coordenacco de estudos sobre ACV em muitos locais ao redor do globo, com a realizaco de *workshops*, fruns e seminários, e nmero crescente de elaboraco de guias e manuais sobre a temática (HAUSCHILD e WENZEL, 1998), bem como, com alguns artigos publicados em perdicos como relevantes como o *Journal of Cleaner Production*, *Resources, Conservation and Recycling*, *International Journal of LCA* entre outros (GUINÉE et al., 2011).

Nesse período a Sociedade de Toxicologia Ambiental e Química (SETAC) nos Estados Unidos e Europa comeccu a liderar e coordenar cientistas, usuários e profissionais de ACV no intuito obter melhoria contínua, harmonizaco de estrutura, terminologia e metodologia de ACV, neste sentido foi elaborado o Cdigo de Prática da SETAC (CONSOLI, 1993), a parceria entre *International Organization for Standardization* (ISO) e SETAC ocorre desde 1994 (GUINÉE et al., 2011). Desse trabalho conjunto surgiram dois padres internacionais: ISO 14040 (2006E) Gesto Ambiental (ACV - Princípios e enquadramentos) e ISO 14044 (2006E) Gesto Ambiental (Avaliaco do Ciclo Vida - Requisitos e orientacces) (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006, ISO, 2006), com a definico da estrutura metodolgica da ACV: definico do objetivo e do âmbito, análise do inventário e interpretacco dos impactos ambientais (ISO, 2006).

Por outro lado, a ACV social e consequencial ganhou terreno na primeira década do século 21. Muitos dos estudos mais recentes visam ampliar a ACV ambiental para a Análise de Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) com maior

abrangência (estrutura de integração transdisciplinar de modelos), integrando questões de sustentabilidade do ciclo de vida, com identificação de lacunas de conhecimento e modelos relacionados, com definição de programas para preencher tais lacunas, ou seja, integração de diversas áreas para se conseguir algo mais abrangente (GUINÉE et al., 2011).

Anteriormente os estudos se restringiam a apenas algumas categorias de impacto ambiental (uso cumulativo de energia, resíduos sólidos) para impactos mais complexos (biodiversidade e ruído) e, conseqüentemente, para impactos econômicos e sociais, ou seja, a ACV está crescendo em: aplicação, amplitude e profundidade. Neste sentido em 2002 o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a SETAC lançaram uma parceria Internacional de Ciclo de Vida, conhecida como *Life Cycle Initiative* (LCI) (GUINÉE et al., 2011).

De 2010 a 2020 foi considerada a década de análise de capacidade de sustentabilidade da ACV, visto que a ferramenta ampliou seu escopo para cobrir as três dimensões da sustentabilidade (pessoas, planeta e prosperidade), amplia o escopo somente em nível de produto, para questões relacionadas ao nível de setor, que engloba aspectos econômicos, sociais e ambientais. Ampliação das relações meramente tecnológicas, para relações econômicas e comportamentais, no intuito de fortalecer sua sustentabilidade e usabilidade (JESWANI et al., 2010, GUINÉE et al., 2011).

A ACV é uma ferramenta de gestão ambiental, com reconhecimento internacional, de natureza voluntária, que possibilita a identificação, mensuração e avaliação de impactos ambientais e socioeconômicos de processos produtivos ao longo de todo seu ciclo de vida, por meio de análise e quantificação do uso de recursos naturais ou recursos de entrada e das emissões ambientais ou saídas, para se estabelecer a adoção de medidas de mitigação (CABRAL et al., 2021). Assim sendo, a ACV é uma das ferramentas mais utilizadas em setores agroalimentares, na mensuração de seus impactos, visto à sua eficácia (JESWANI et al., 2010).

2.6 Avaliação do Ciclo de Vida

2.6.1 Conceito e definição

Estudos de ACV são estruturados em análises que envolvem entradas de recursos da natureza e as saídas (emissões) de cada processo relativo ao ciclo de

produção de um produto, com a avaliação dos impactos ambientais inerentes aos processos produtivos, crucial ferramenta de apoio à gestão ambiental (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006; CASTANHEIRA, 2008; NIGRI, 2012; NUNES, 2018). Uma ferramenta utilizada para calcular emissões e uso de recursos ao longo do ciclo de vida de um produto, frequentemente usada em vários países para estudar o potencial impacto ambiental do leite e suas cadeias produtivas (CEDERBERG., 2000; EIDE., 2002; HOSPIDO et al., 2003; CASEY e HOLDEN., 2005; CASTANHEIRA., 2008).

Neste contexto, a ACV é um dos métodos mais aceitos internacionalmente para avaliação de impactos ambientais relacionados a produtos e suas atividades de produção (HOSPIDO, MOREIRA e FEIOJOO, 2003). Esse método auxilia na tomada de decisão sobre os impactos ambientais causados na produção de determinados produtos, com identificação de oportunidades e melhorias dos aspectos ambientais nas fases de um sistema de produção (entrada, processamento e saída). Desta forma, fornece uma visão geral do real impacto causado na fabricação de determinados produtos, visto que em alguns casos há altas descargas ambientais que consomem significativa quantidade de recursos naturais (BERLIN, 2002; NIGRI, 2012), portanto é possível determinar o desempenho ambiental, com comparação entre produtos e processos para se identificar a melhor opção (NIGRI, ROMEIRO FILHO e ROCHA, 2009).

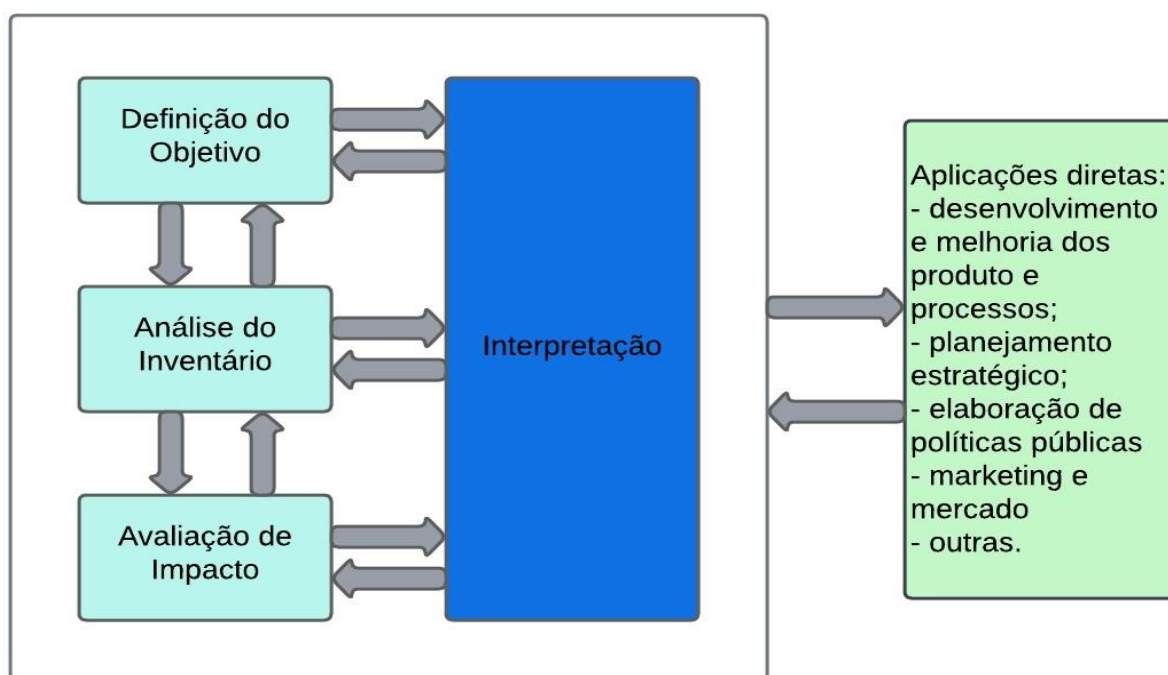
A ACV é uma metodologia que proporciona uma avaliação qualitativa e quantitativa dos impactos provocados pelos produtos, porém, não apenas durante os processos produtivos, mas também ao longo dos demais estágios da vida do produto, como na obtenção de matérias-primas elementares e a produção de energia necessária para suprir o sistema de produção (NBR ISO 14040, 2009; NUNES, 2018). A ACV possibilita a quantificação dos potenciais impactos por meio de uma análise “berço ao túmulo”, tendo como base a definição e utilização de uma unidade funcional (ISO, 2006; KLOEPFFER, 2008; FINNVEDEN et al., 2009; ROY et al., 2009; SEÓ et al. 2017).

A junção dos dados da análise dos recursos de entradas e saídas, possibilita a elaboração de bases de dados de inventário, no intuito de facilitar a análise e avaliação decorrentes dos impactos ambientais gerados em cada produto ou processo de produção. Todas as extrações de recursos e emissões ambientais (geradas ao longo do ciclo de vida do produto ou serviço) são consideradas durante o período do estudo, ou seja do nascimento do produto até a morte do mesmo

(BERLIN, 2002; ISO, 2006; KLOEPFFER, 2008; FINNVEDEN et al., 2009; ROY et al., 2009; SEÓ et al., 2017; NUNES, 2018). Neste sentido a ACV possibilita a análise de possíveis melhorias futuras nas etapas consideradas mais críticas dos processos produtivos, contribuindo para inovações que poderão reduzir os impactos ambientais dos mesmos (NUNES, 2018).

Na Figura 8, é apresentada de forma sucinta as fases de desenvolvimento de uma ACV, conforme as normas ISO 14040:2006 (ISO 2006). As fases que compõem a aplicação do método ACV são quatro: Definição do Objetivo e Escopo, Análise do Inventário, Avaliação do Impacto e Interpretação.

Figura 8: Fases de desenvolvimento de uma avaliação de ciclo de vida.



Fonte: Adaptado ISO 14040 (2006).

A 1ª fase: Definição do Objetivo e Escopo, são delimitadas as características do sistema a ser estudado e quais os instrumentos (meios) serão utilizados para a coleta de dados. Na 2ª fase: Análise de Inventário, é elaborado um levantamento de entradas e saídas de insumos como: energia, água, resíduos, materiais de limpeza inerentes ao sistema analisado. A 3ª fase: Avaliação do Impacto, é feita a associação dos dados obtidos na análise do inventário com respectivas categorias e impactos, ou seja, calcula-se o impacto ambiental gerado durante o ciclo de vida do produto, para tanto são selecionadas as categorias e indicadores no intuito de mensurar as emissões, uso de recursos e demais fatores conforme as categorias selecionadas

(HINZ, 2007). Já na 4ª fase: Interpretação, são analisadas a consistência dos dados, com apresentação das conclusões do estudo (CHEHEBE, 1998; GUINÉE, 2002).

2.6.2 Vantagens e limitações da ACV

A ACV fornece uma visão ampla das interações de uma determinada atividade com o meio ambiente, permite avaliar as consequências ambientais inerentes da atividade humana, com identificação de oportunidades de ecoeficiência (foco em um futuro mais sustentável) por meio de indicadores ambientais (CASTANHEIRA, 2008; NIGRI, 2012; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013). Neste sentido ações antrópicas são apontadas como responsáveis por grande parte das mudanças climáticas detectadas até o momento e suas consequências futuras, o reconhecimento das mudanças no clima constituem em um grande problema e aponta-se a busca por um desenvolvimento sustentável, com objetivos claros e a percepção da finitude dos recursos naturais (PELLEGRINO, ASSAD e MARIN, 2007).

A metodologia ACV é valiosa para o setor industrial dimensionar os seus produtos e processos como ciclos de vida, visto que é uma ferramenta auxiliar da gestão ambiental a curto prazo e para o desenvolvimento sustentável a longo prazo, pois contribui na tomada de decisão com melhorias nos processos e produtos, com a implementação de estratégias e políticas mais conscientes (HEISKANEN, 2000; CASTANHEIRA, 2008; ABIN et al., 2018).

A ACV pode ser utilizada como fonte de comparação entre produtos semelhantes concorrentes, com a definição dos problemas principais do produto ou processo que apresentam maior impacto ambiental ou energético (*hotspots*) e maximizar alterações que possam otimizar a produção (CASTANHEIRA, 2008; NIGRI, 2012). Estudos de ACV fornecem informações para os relatórios de sustentabilidade e ambientais ou a comunicação do desempenho ambiental de produtos com uso de rótulos ecológicos (NUNES, 2018).

A ACV possui algumas limitações quanto ao seu uso, como: a imensa quantidade de informações que nem sempre é disponibilizada totalmente por questões de confidencialidade, o grau de incerteza em função da variedade de fonte de coleta dos dados (artigos científicos, bases de dados públicas e comerciais , outros estudos de ACV), a falta de um estudo completo que contemple todos os fluxos, a alta complexidade no processamento dos resultados, tais incertezas são inerentes à metodologia , o que sugere esforços contínuos para sua minimização

(CASTANHEIRA, 2008; GUINÉE et al., 2011, DIAS, 2011). A metodologia necessita de combinação com outras ferramentas para gestão, pois não considera fatores: sociais, políticos ou culturais (NIGRI, 2012).

2.6.3 Fases de Avaliação do Ciclo de Vida

2.6.3.1 Definição do Objetivo e Escopo

Como citado anteriormente o estudo em ACV inicia-se com a definição do objetivo e escopo. Na definição do objetivo, deve-se especificar o que motivou a pesquisa, qual o objetivo e a quem se destinam os resultados finais (CASTANHEIRA, 2008).

O objetivo é obter uma compreensão mais clara dos sistemas existentes, para determinar o estudo dos pontos-chaves do processo ou produto e fornecer possibilidades de melhorias. Também permite a integração com outros sistemas e seus impactos potenciais. O escopo representa o processo ou sistema de produto a ser analisado, com delineamento dos seus limites e outras características funcionais da pesquisa (ELCOCK, 2007).

De acordo com a norma ISO 14040:2006 (CASTANHEIRA, 2008), no que diz respeito ao âmbito do estudo de ACV, devem ainda ser especificamente considerados e descritos os seguintes pontos:

Descrição do sistema e objeto de estudo: o sistema de estudo (produto ou processo) é analisado de forma clara e descritiva por meio de um fluxograma. Aqui também os limites do sistema são definidos e devem ser considerados de acordo com os objetivos da pesquisa, leva-se em consideração os processos mais importantes do produto e descarta-se os mais insignificantes que não ajudam a mudar as mesmas conclusões. A unidade funcional também deve ser construída de tal forma, ou seja, criar uma unidade quantitativa que relacione todos os fluxos de entrada e saída do sistema.

Procedimentos principais: definição dos subsistemas principais e a profundidade da realização do estudo, apontamentos de questões específicas como: motivo da escolha das categorias de impacto e nível de detalhes devem documentados, como também os critérios de exclusão do produto.

Critérios de avaliação: devem ser aplicados durante a fase de avaliação de impacto e ser definidos antes da coleta de dados para o inventário, a fim de minimizar coletas

desnecessárias para os propósitos do estudo. Os principais aspectos a considerar neste ponto são: os impactos ambientais e o consumo de recursos.

Requisitos de qualidade dos dados: define-se os graus de precisão ou a qualidade do resultado final, as fontes de coletas de dados as estimativas realizadas.

Neste sentido a Norma ISO 14041 (1998) acrescenta que devem ser considerados os seguintes itens:

- As funções do sistema de produto: ou no caso de estudos comparativos, sistema, ou seja, a finalidade do produto em estudo, uso pretendido e até mesmo características de desempenho do produto;
- A unidade funcional: medida que permite a mensuração da função definida, visto que representa o desempenho das saídas funcionais do sistema estudado, visando assegurar a comparabilidade de resultados da ACV;
- O sistema de produto a ser estudado: finalidade do produto estudado e suas características de desempenho;
- As fronteiras do sistema de produto: quais processos básicos ou subdivisões do sistema serão incluídos no estudo a ser modelado, o ideal é que entrada e saída são fluxos elementares;
- Procedimentos de alocação: necessários quando se trabalha com sistemas que envolvem múltiplos produtos. Fluxos de materiais e energia, e as liberações ambientais atribuídas, devem ser atribuídos a diferentes produtos, por procedimentos claramente estabelecidos;
- Tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação a serem utilizados;
- Requisitos dos dados que especificam as características dos dados necessários para o estudo;
- Limitações da análise, que envolvem fronteiras do sistema, métodos aplicados, qualidade dos dados entre outros;
- Análise crítica, técnica utilizada para verificar se um estudo da ACV cumpriu com os requisitos: da metodologia proposta, coleta de dados e relatório produzido;
- Tipo e formato do relatório requisitado para o estudo. Os resultados da ACV devem ser relatados para o público-alvo de forma completa e precisa. O tipo e o formato do relatório devem ser definidos na fase de escopo de estudo.

No intuito de identificar as entradas e saídas, a divisão do sistema deve ser feita em processos elementares (FIGURA 9), com determinação dos limites de acordo com o grau de detalhamento exigido pelo estudo (HINZ, 2007).

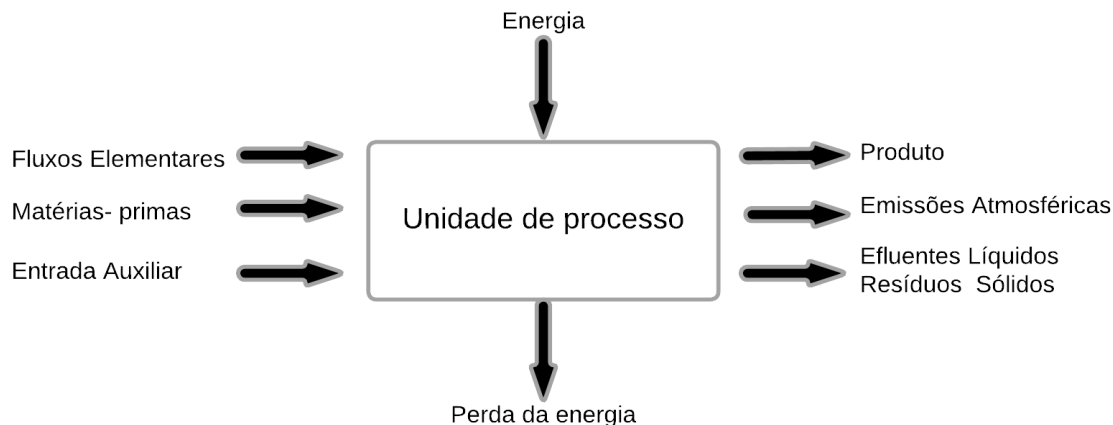


Figura 9: Unidade de processo.
Fonte: Adaptado de Ometto (2005).

Segundo a NBR ISO 14040 (2009), o conteúdo básico do escopo de um estudo em ACV deve contemplar suas três dimensões (FIGURA 10): a) extensão: onde iniciar e parar o estudo; b) amplitude: quantos e quais subsistemas incluem; c) Profundidade: nível de detalhamento (CHEHEBE, 1998).

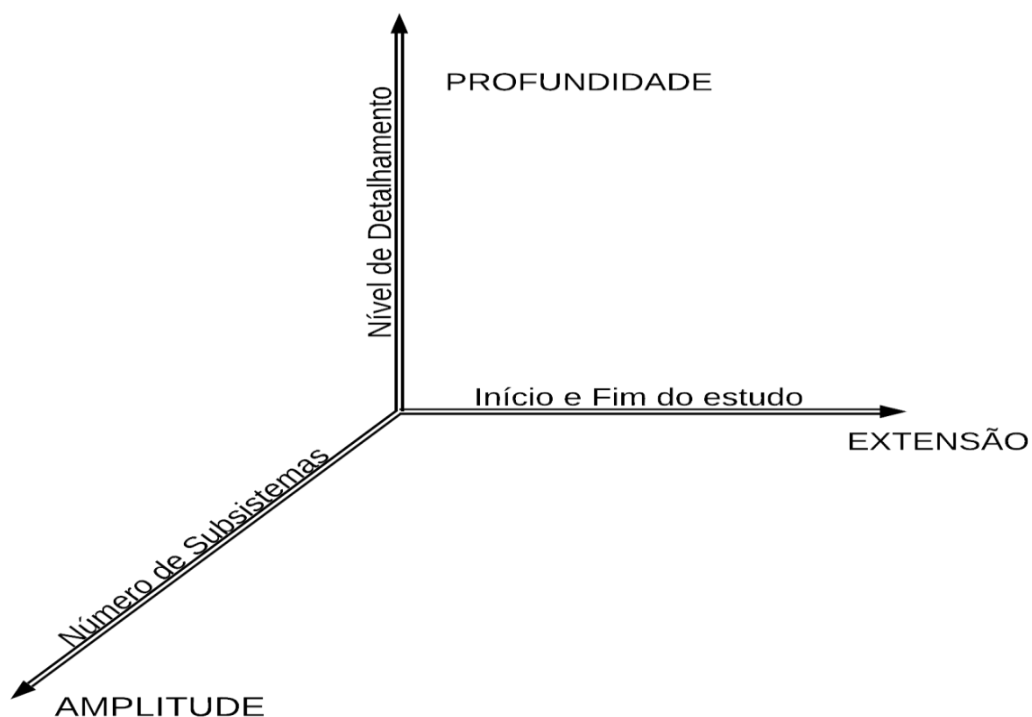


Figura 10: Dimensões da Avaliação do Ciclo de Vida.
Fonte: Adaptado (CHEHEBE, 1998).

2.6.3.2 Análise de Inventário do Ciclo de Vida (AICV)

Na elaboração do Inventário do Ciclo de Vida, foi realizada a compilação e quantificação das entradas e saídas do produto durante seu ciclo de vida, ou seja, quantificar a energia, matérias-primas e materiais secundários, produtos e coprodutos, emissões atmosféricas, emissões para água e solo, resíduos sólidos e demais dejetos gerados durante o ciclo de vida do produto, processo ou atividade. Tratados, os dados do inventário são utilizados para avaliar os impactos ambientais oriundos do ciclo de vida do produto (NBR ISO 14040, 2009; FINNVEDEN et al., 2009; ROY et al., 2009).

Na coleta de dados alguns parâmetros devem ser observados: cobertura temporal (idade desejada dos dados, período de amostragem), cobertura geográfica (área geográfica compatível com os objetivos do estudo) e cobertura tecnológica (combinação, identificação e diferenças tecnológicas existentes nos processos estudados) (RIBEIRO, 2009).

Os fluxos contabilizados para estudos em ACV, podem ser fluxos de materiais, como matérias-primas e produtos, ou fluxos de energia, como eletricidade, combustíveis e emissões para a atmosfera, água e solo, ou seja, entradas e saídas. A disposição do inventário facilita análises futuras, permitindo entender e avaliar o possível impacto de cada sistema de produto (ISO 14041, 1998; NUNES, 2018).

No fluxograma (FIGURA 11) de análise de ICV deve ser incluído a coleta de dados e procedimentos de cálculo para garantir a compreensão e a consistência do sistema que está sendo analisado, incluindo, entre outros fatores, a coleta de dados; atribuição de dados em um formulário ou planilha; validação de informação; relacionamento de dados com processos subjacentes; relacionamento de dados com unidades funcionais; agregação de dados e refinamento dos limites do sistema (NIGRI, 2012).

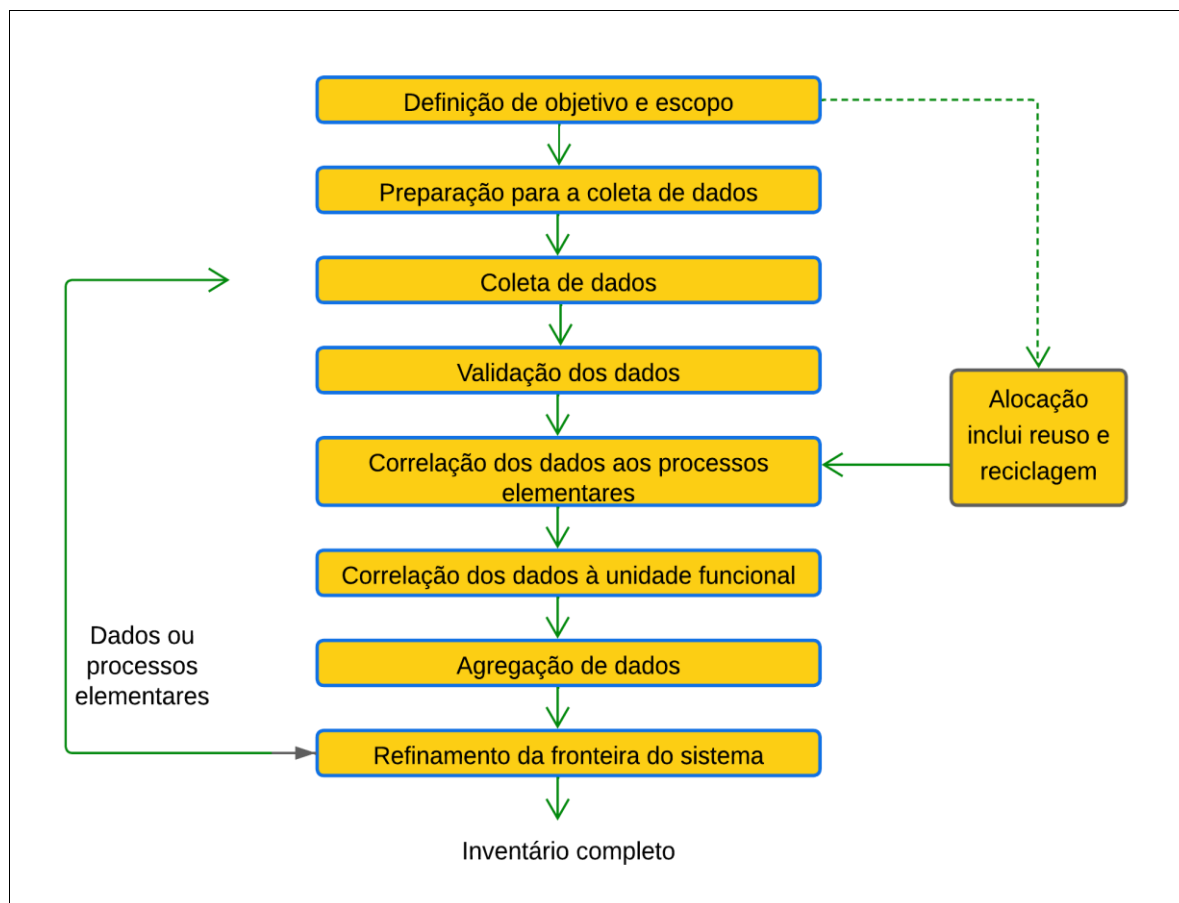


Figura 11: Procedimentos para análise de inventário de ACV.
Fonte: NBR ISO 14044:2009.

2.6.3.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

Recomenda-se que a avaliação de impacto deve conter três etapas: seleção de categorias (indicação das categorias de impacto a partir dos objetivos propostos nos estudos), classificação (alocação dos resultados e correlação com as categorias selecionadas) e caracterização (indicação de um valor numérico de referência e equivalência para análises) (NBR ISO 14040, 2001, NIGRI, 2012). De forma geral, essa etapa envolve a associação de dados do inventário com as categorias e indicadores de impacto específicos, no intuito de compreender tais impactos (NBR ISO 14040:2009).

Uma vez desenvolvido o inventário, o mesmo pode ser avaliado para facilitar a análise do grau de impacto em cada subsistema considerado. Conforme a ISO 14044 (2006) há seis fases na AICV: classificação e caracterização (consideradas obrigatórias), normalização, agrupamento, ponderação e avaliação como opcionais (SANTOS e FERNANDES, 2012).

A primeira etapa obrigatória, classificação, consiste em atribuir indicadores ambientais a categorias de acordo com seu impacto, para a pesquisas no segmento agroalimentar são usadas principalmente as categorias mudanças climáticas, eutrofização da água e acidificação da terra, todas de caráter ambiental (CASTANHEIRA, 2008).

Na etapa de caracterização estabelece-se à constituição de indicadores de impacto, ou seja, momento em que os dados já categorizados são convertidos em unidade equivalentes (BAUMANN e TILLMAN, 2004; HINZ, 2007). A cada substância é atribuído um impacto potencial em sua categoria de impacto, que representa um valor numérico. Considera-se o impacto potencial associado ao fator dominante na categoria. No caso das mudanças climáticas, isso seria a emissão de 1 kg de CO₂ equivalente (NIGRI, 2012). O impacto relativo é multiplicado pela quantidade de cada emissão, e os valores dos impactos resultantes são somados dentro de cada categoria (CASTANHEIRA, 2008).

Na (FIGURA 12) são apresentados os elementos utilizados na avaliação de impacto do ciclo de vida. A NBR ISO 14040 (2009) define alguns termos utilizados na AICV: categoria de impacto, classificação, fator de caracterização e normalização.

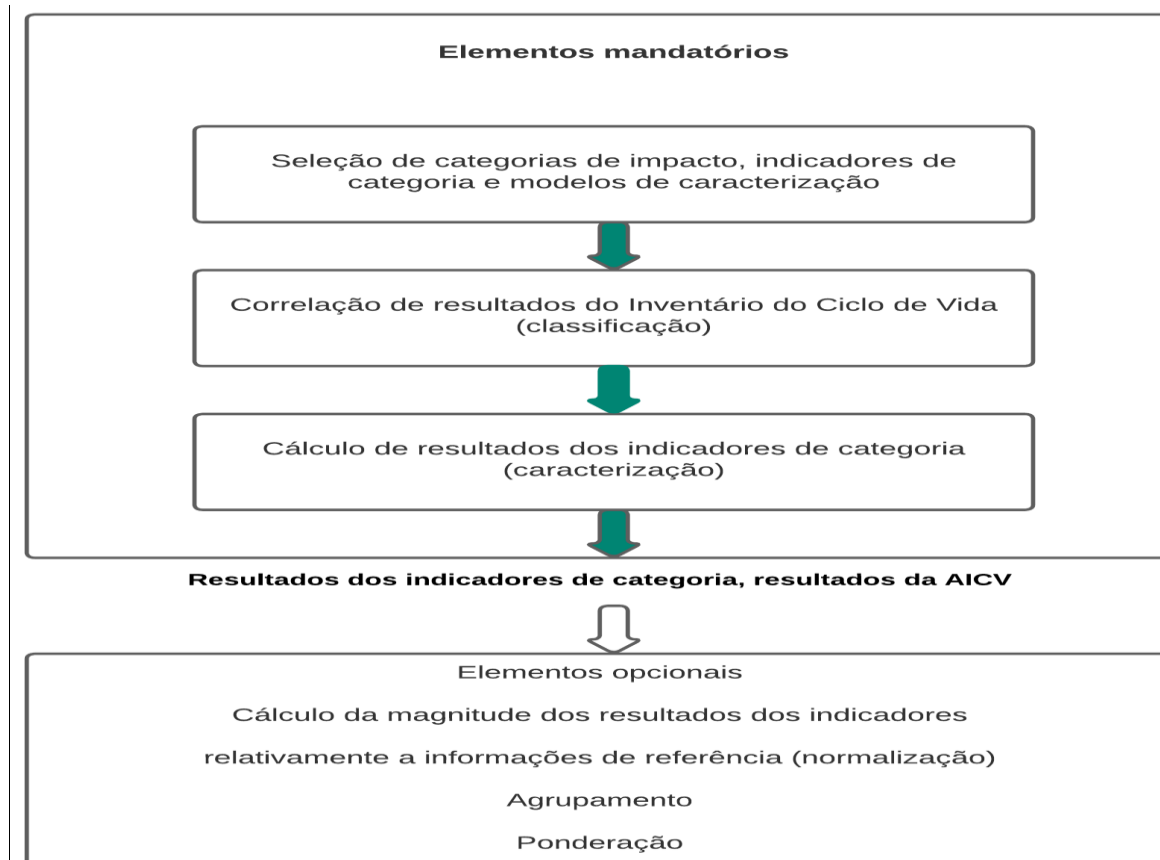


Figura 12: Elementos da fase de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV).

Fonte: NBR 14040: 2009.

2.6.3.4 Interpretação

A interpretação é a etapa da ACV na qual os resultados da análise do inventário e da avaliação de impacto, ou no caso dos estudos de inventário de ciclo de vida, apenas os resultados da análise de inventário combinados e alinhados com o objetivo e escopo estipulados, no intuito de alcançar conclusões e recomendações (NBR ISO 14040, 2001).

Nessa fase os resultados obtidos nas fases anteriores são avaliados conforme propostos no início do estudo, embora todo levantamento de dados, fluxos de massa e energia e cálculo de impacto já tenham sido executados, a fase de interpretação é importante para ACV, nela são apresentados e aferidos os resultados, identificação de pontos críticos e apontamento de melhorias como: substituição ou reformulação de processos, recuperação de materiais, com foco na preservação ambiental (VALT, 2004; NIGRI, 2012).

Durante a fase de interpretação, pontos importantes devem ser baseados nos resultados do estudo, tais como: energia e outros. Também deve garantir que todas as informações relevantes para a interpretação estejam completas, verificar se os resultados são afetados pela incerteza no momento da aplicação dos métodos ou cálculos. Para finalizar, verificar se a conclusão é consistente com requisitos do objetivo e escopo do estudo, incluindo a qualidade dos dados, premissas e valores pré-definidos (NBR ISO 14040:2009; RIBEIRO, 2009).

As fronteiras do sistema podem ser analisadas berço ao túmulo (*cradle-to-grave*), dentro do escopo do sistema em consideração, incluindo todos os processos, desde a exploração de recursos até o gerenciamento de resíduos, ou se algumas partes foram consideradas irrelevantes, pode-se recorrer a um estudo do berço até o portão (*cradle-to-gate*) pode-se partir da exploração, ou limitando-se ao processo final de produção, omitindo as etapas de distribuição e deposição (GASPAR, 2016).

Na fase de interpretação do ciclo de vida são incluídos alguns elementos de acordo com a (NBR ISO 14044:2009), tais como: apontamento das questões significativas em consideração aos resultados das fases de ICV e AICV da ACV; avaliação de verificação de incerteza, sensibilidade e inconsistência do estudo; resultados, limitações e recomendações. Após a análise e interpretação dos

resultados obtidos, é possível identificar pontos-chaves para melhorias ou inovações em produtos e processos para proteger o meio ambiente (PIEKARSKI et al., 2012).

2.7 Avaliação do Ciclo de Vida na cadeia de lácteos

As avaliações do ciclo vida de produtos lácteos foram iniciadas no início da década de 2000 (QUADRO 1), com o uso da metodologia para análise da cadeia produtiva de derivados do leite, tais exemplos incluem queijo, iogurte, requeijão. Estudos como de Hospido et al. (2003), Fantin et al. (2012), González e et al (2013) e Djeckic et al. (2014) apontam que a produção de leite na fazenda é a principal fase emissora de gases de efeito estufa (GEE), pois os maiores impactos em diferentes categorias se devem à fase de produção.

Nesse contexto, um dos primeiros estudos de ACV em laticínios foi o de Berlin (2002), que realizou uma análise de ACV de queijo par-maduro da Suécia, incluindo também o tratamento de efluentes no limite do sistema. Foi verificado que o componente agrícola teve maior influência nos vários parâmetros considerados (animais produtores de metano e maquinários emissores de CO₂, fertilizantes nitrogenados usados na produção de rações), sendo a queijaria (processamento do leite) o segundo maior fator. Em termos de energia, nas explorações leiteiras consome-se mais energia, principalmente os combustíveis fósseis utilizados para transportar o leite em veículos utilizados para transporte. Os principais critérios de avaliação de impacto foram: a acidificação, o aquecimento global e a eutrofização, conforme observado no estudo apresentados no Quadro 1.

Estudo de Thomassen et al. (2008b) e Cederberg e Mattsson (2000) compararam dois sistemas de produção de leite: convencional e orgânico (ou biológico) na Holanda e na Suécia. Por meio da ACV, os dois estudos tiveram como objetivo comparar dois tipos de sistemas de produção associados à cadeia produtiva do leite (convencional e orgânico). Hospido et al. (2003) examinaram o ciclo de vida da produção e processamento do leite cru para quantificar os potenciais ambientais de duas fábricas de processamento de leite (produzindo leite UHT para consumo humano) e de duas fazendas leiteiras representantes na região galega da Espanha.

O estudo de Bartl et al. (2011) apresenta o ciclo de vida do leite produzido em dois sistemas típicos de produção familiar no Peru (costeiro e montanhoso) para quantificar e comparar seus impactos ambientais. Os componentes dos dois sistemas são analisados especificamente por serem fazendas diferentes, seja em

termos de tipo de rebanho leite insumos relacionados, qualidade dos alimentos, localização geográfica ou mesmo dentro do mesmo país.

Já o estudo de Thoma et al. (2013) conseguiu uma análise do berço ao túmulo da pegada de carbono de toda a cadeia do leite, ou seja, desde a produção até o descarte final de resíduos de embalagens, para quantificar as emissões de gases de efeito estufa. A cadeia de estudo é dividida em nove etapas, incluindo produção de alimentos, produção de leite, entrega à indústria processadora, beneficiamento do leite, embalagem, distribuição, varejo, consumo e destinação final dos resíduos. No entanto, os autores analisaram essas etapas separadamente e finalmente as combinaram para fornecer uma pegada de ciclo de vida completo.

No estudo de De Léis (2013) considerando as categorias acidificação, eutrofização, ocupação do solo e demanda cumulativa de energia, usando a abordagem CML (método desenvolvido pelo Instituto de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden, Holanda) e rejeitando a hipótese, as emissões foram de 7,73 g SO₂eq, 4,07g PO₄eq, 0,71 m²a e 3,98 MJeq/kg de leite corrigido para energia respectivamente. Para Pegada de Carbono, a hipótese foi confirmada, pois o sistema de produção de leite em confinamento apresentou o melhor desempenho, produzindo 0,53 kg de CO₂ equivalente por kg de leite corrigido. Ao considerar o impacto da mudança direta do uso da terra (dLUC) na produção de caroço de algodão no Centro-Oeste do Brasil, a Pegada de Carbono foi 45%, 37% e 37%, superior para os sistemas confinado, semi confinado e a base de pasto respectivamente (DE LÉIS, 2013).

A fase de produção de leite cru nas fazendas é considerada a de maior impacto no meio ambiente, cerca de 80% a 93% das emissões. Emissões de metano (CH₄) (fermentação intestinal e fezes), dióxido de carbono (CO₂) (óleo diesel), óxido nitroso (N₂O) e amônia (NH₃), e emissões de nitrato (NO₃) de água proveniente do gerenciamento de estrume e fertilizantes. Os maiores contribuintes para os estágios de processamento são elétricos, térmicos, materiais de limpeza e embalagens (FANTIN et al., 2012; KIM et al., 2013; NIGRI et al., 2014; DJEICK et al., 2014; JUNIOR et al., 2016 e FINNEGAN et al., 2017)

As emissões da produção de leite têm o maior impacto na fazenda. No estudo, obteve-se o resultado de 8,8 kg de CO₂ eq para 1 kg de leite em termos de produção de leite apenas na fazenda foram emitidos 8,3 kg de CO₂ eq, a fase industrial obteve participação de 0,4 kg de CO₂ eq. Durante a fabricação do queijo, o maior

contribuinte para a categoria de aquecimento global foi a queima de gás (BERLIN, 2002). Já Van Midellar (2011) concluiu em seu estudo que o GEE teve um resultado de 8,5 kg CO₂ eq, a participação na produção foi de 3% em relação ao consumo de energia e utilização de gás natural. Segundo González-García et al. (2013a), as emissões totais para a categoria de acidificação potencial foram de 21% e 41%, respectivamente. Neste sentido, pesquisas González-García et al (2013d) demonstrou que o GEE para produção de agente de limpeza, entrega de insumos e produção de energia, totalizaram cerca de 49% um percentual significativo em relação aos demais fatores analisados.

Para entender as possíveis emissões de GEE, foi feito um levantamento de estudos ACV aplicados à produção de lácteos, para avaliar os impactos na produção em alguns países, que visaram à avaliação do desempenho ambiental das fazendas leiteiras. Tais estudos demonstraram que a etapa de obtenção do leite cru é a de maior impacto ambiental (CEDERBERG e MATTSSON, 2000; PHETTEPLACE et al., 2001; CEDERBERG e STADIG, 2003; DE BOER, 2003; VAN DER WERF; KANYARUSHOKI; CORSO., 2009; VAN MIDDELAAR et al., 2011; FLYSJÖ et al., 2011(a); O'BRIEN et al., 2012; DJEKIC et al., 2014; NUNES, 2017; DALLA RIVA et al., 2017; FINNEGAN et al., 2017; NUNES et al., 2020, BORGHESI et al., 2022).

A produção de ração e as emissões de animais são os principais impulsionadores da produção de leite cru, com análise de itens como: eletricidade e gás natural, as embalagens (cartão e plásticos), transporte, tratamento de águas residuais e perdas no sistema de refrigeração afetam as emissões da fazenda até o laticínio. O efeito dentro da fábrica é determinado principalmente pelo uso de eletricidade para armazenamento de mussarela, transporte de mussarela e eliminação de resíduos. O valor médio das emissões foi de 6,66 kg/eq de CO₂ e 45,1 MJ/kg de demanda cumulativa de energia/kg de mussarela produzida diretamente do leite cru, enquanto a mussarela de requeijão comprada possui emissões mais altas do que mussarela de leite cru devido ao acréscimo do transporte (DALLA RIVA et al., 2017).

O cultivo de ingredientes concentrados e a produção de leite na fazenda são os maiores contribuintes para o impacto ecológico da produção de queijo. Considerando as etapas de processamento a jusante do portão da fazenda, como fabricação de queijo, armazenamento, embalagem e varejo, o impacto nas mudanças climáticas e no uso de energia fóssil é determinado principalmente pelo

uso de energia fóssil, enquanto seu impacto no uso da terra é secundário. Reduzir o impacto da produção de leite na fazenda e os estágios anteriores relacionados, especialmente o cultivo de ingredientes concentrados, deve ser mais eficaz na redução do impacto ecológico do queijo. A minimização de perda de leite e queijo em todas as etapas após a saída da fazenda é considerado uma importante opção de melhoria para reduzir o impacto ecológico por quilo de queijo em toda a cadeia de abastecimento, (VAN MIDDELAAR et al., 2011; VERGÉ et al., 2013; DJEKIC et al., 2014). Como a produção de leite cru tem o maior impacto ambiental, estratégias de mitigação em nível de fazenda precisam ser implementadas, especialmente aquelas relacionadas à fermentação entérica e manejo de esterco (FINNEGAN et al., 2017).

Estudos de Castanheira et al. (2009), Thomassen et al. (2008); Cederberg e Mattsson (2000) Hospido et al. (2003) e Bartl et al. (2011) consideraram a alocação econômica como legítima para alocar seus coprodutos. Entre os estudos que consideram a distribuição econômica como reconhecida, o estudo de Castanheira et al. (2009) atribuem 87% ao leite e 13% à carne. Já Thomassen et al (2008) em estudo sobre a produção convencional atribuiu 91% ao leite, 8,2% aos animais e 0,8% às culturas de exportação, enquanto para a produção orgânica atribuiu 90% ao leite e 6,6% aos animais e 3,4% às culturas de exportação e estrume. O estudo de Cederberg e Mattsson (2000) fez uma alocação econômica de concentrados (rações), além de outros critérios de alocação empregados. Nos estudos de Hospido et al. (2003) e Bartl et al. (2011) não mencionaram o percentual de cada coproduto.

Estudos de Cederberg e Mattsson (2000), Basset-Mens et al. (2005) e Basset-Mens et al. (2008) assumem seus critérios de alocação com base na causalidade biológica. Esses três estudos se referiram à presença de forragem e atribuíram 85% ao leite e 15% à carne como porcentagens de alocação.

Estudos de Cederberg e Mattsson (2000) consideraram a alocação mássica como critério. Em Cederberg e Mattsson (2000) as atribuições de massa foram feitas apenas para matérias-primas de origem agrícola, enquanto em Thoma et al. (2013) foi feita alocação de massa de leite e carne. Porém, nenhum dos estudos apresentou os respectivos percentuais de alocação.

Os estudos Cederberg e Mattsson (2000) e Casey et al. (2004) consideram a alocação mássica como critério. Enquanto que no estudo Cederberg e Mattsson (2000) é feita uma alocação mássica apenas para as matérias-primas de origem

agrícola, no estudo Thoma et al. (2010) é feita alocação mássica ao leite e à carne. No entanto, nenhum dos estudos apresentam as respectivas percentagens de alocação.

Nos estudos propostos por Thoma et al. (2013a), Thoma et al. (2013b), Thoma et al. (2013c) os autores referem-se ao uso de critérios de alocação baseados na expansão do sistema, causalidade biológica, valor econômico e massa. No entanto, eles não mostram quais coprodutos estão associados a cada critério de alocação, nem os percentuais relativos.

Já a pesquisa Thomassen et al. (2008) incluem o ciclo de vida necessário para a produção de leite cru, incluindo o transporte associado à produção da matéria-prima. Remédios, sementes e máquinas foram excluídos devido ao seu pequeno impacto. Edifícios também foram excluídos devido a semelhanças entre diferentes tipos de fazendas. Estudos de Basset-Mens et al. (2005); Basset-Mens et al. (2009b); Middelaar et al. (2011) abrangem todas as etapas da produção de leite cru, do berço à fazenda, incluindo todos os processos à fazenda relacionados (produção de ração, transporte, construção, maquinário entre outros).

No processo de industrialização do leite, objeto deste trabalho, Djekic et al. (2014), realizaram a avaliação do leite pasteurizado e seus derivados como: iogurte, creme, manteiga e queijo. Sua unidade funcional (UF) definida como 1 kg de produto final, ao aplicar a abordagem ACV identificaram que as principais etapas e recursos utilizados na produção de leite que produziram maiores impactos ambientais foram as entradas de bens no portão da fábrica e o consumo de energia.

Estudos voltados para análise comparativa dos impactos associados ao processamento do leite, ou seja, à produção de leite UHT para consumo humano foram realizados por (HOSPIDO et al., 2003; CASTANHEIRA et al., 2008; THOMA et al., 2013c), as análises começaram na porta do laticínio (saída da exploração leiteira) e todas as etapas do leite industrial são integradas (desde a entrega do leite cru, até a exportação para a indústria processadora) devidamente embalado e pronto para a etapa de distribuição. Porém, as etapas de processamento subsequentes, ou seja, distribuição, consumo, disposição final dos resíduos associados, não foram consideradas.

Em termos de categorias de impacto as categorias mais utilizadas nos estudos foram: potencial aquecimento global (GWP), acidificação (AP), eutrofização (EP) presentes nos estudos voltados para exploração leiteira: Wetterich; Köpke

(2001); Cederberg; Mattsson (2002); Haas; Eide (2002); De Boer (2003); Cederberg; Stadig (2003); Hospido et al. (2003); Thomassen; De Boer (2005); Hospido; Sonesson (2005); Castanheira (2008); Thomassen et al. (2008); Thomassen et al. (2008b); Nilsson et al. (2008); Yan et al. (2011); Olszensvski (2011); Fantin et al. (2012); Doublet et al. (2013); González-García et al. (2013c); Nguyen et al. (2013); Guerci et al. (2013);) Thoma et al. (2013b), já na fabricação de queijo e outros derivados como: manteiga, creme de leite e iogurte e outros derivados, tais categorias de impacto foram utilizadas por: Berlin (2002); Haas; Wetterich; Köpke (2003); Castanheira (2008); Nilsson et al. (2010); González-García et al. (2013b); González-García et al. (2013d); Djekic et al. (2014); Nigri et al. (2014); Júnior et al. (2014); Rööös et al. (2016); Palmieri; Forleo; Salimei (2017); Dalla Riva et al. (2017); Nunes (2017); Finnegan et al. (2018); Nunes et al; (2020); Berlese et al. (2019); Ghinea; Leahu (2023).

Os maiores estudos sobre LCA de produtos lácteos são principalmente os realizados na Espanha e Itália, tais como: Hospido; Moreira e Feijoo (2003); Hospido; Sonesson (2005); Meneses et al. (2012). Hospido et al. (2003), analisaram em detalhe a produção de leite espanhola na Galiza ao longo de dois anos e assim obtiveram dados de inventário sobre rações compostas, silagem das fábricas de leite. Finalmente, sugeriram algumas mudanças no nível alimentar que reduziriam o impacto ambiental global em cerca de 20%. Palmieri et al. (2017), que se basearam na produção de queijo mussarela em uma fazenda leiteira com três tipos de alimentos diferentes. A primeira utilizou apenas palha, a segunda utilizou silagem e a terceira utilizou silagem e soro de leite líquido. O soro de leite líquido é considerado o maior poluente durante a fase de produção do queijo e para reduzir este efeito foi fornecido como alimento ao gado.

No contexto espanhol, analisou a fabricação do queijo galego San Simon da Costa, centrando-se na produção de soro de leite em pó e mencionando o aumento dos custos de eletricidade que implica em contrapartida, a redução da influência ambiental. Menciona também a importância da elaboração de estudos de ACV a partir de dados reais, que neste caso foram coletados por meio de questionários e entrevistas *in loco*. Embora o leite fosse proveniente de várias fazendas, apenas uma foi considerada, por ser um produto regional, todos os fornecedores foram considerados como tendo práticas e métodos agrícolas semelhantes. Outro ponto importante mencionado é que as pequenas operações de laticínios nem sempre são

mais ecológicas, devido aos maiores requisitos de energia em comparação com a produção industrial (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013b).

Através de análises de três laticínios (pequeno, médio e grande porte) em diferentes partes (etapas de processamento) na Noruega. Com base no gasto de energia, obteve-se o maior impacto em uma planta industrial de pequeno porte em comparação com as fábricas de médio e grande porte, visto que as pequenas fábricas têm menor capacidade de produção e isso requer maior consumo de energia, em função da baixa escala de produção (EIDE, 2002).

Análise de Hospido et al. (2003) baseada em aspectos ambientais espanhóis com foco em embalagens e gastos de energia nas caldeiras na produção industrial de leite. A combustão do combustível utilizado nas caldeiras foi responsável por cerca de 60% das emissões, já as embalagens contribuíram com aproximadamente 84% das emissões.

Segundo González-Garcia (2013b), devido à grande demanda de leite para consumo e à relevância dos impactos ambientais gerados pela indústria de laticínios, há a necessidade de investigar e determinar as consequências ambientais de sua produção. Uma dificuldade identificada no trabalho de pesquisa é que muitos resultados de ACV lácteos publicados usam diferentes unidades funcionais, limites, entre outros, o que dificulta a comparação (MENESES et al., 2012).

Em outro estudo analisaram a produção de leite UHT em Portugal, com base no estudo de diferentes tipos de leite, nomeadamente leite integral, meio-gordo, desnatado e achocolatado. Concluíram que o maior impacto no segmento fabril se deve às altas exigências de energia devido às altas temperaturas exigidas para a produção das embalagens *Tetra-Pak* (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2012).

Outra importante pesquisa realizada em Portugal foi a de Castanheira et al. (2010), que analisaram o desempenho ambiental de uma típica exploração leiteira portuguesa, detalhando a exploração leiteira, por meio da silagem de milho e azevém, palha, ração concentrada, combustível e eletricidade. Os resultados mostraram que os maiores impactos aquáticos e atmosféricos foram decorrentes da produção de rações concentradas. González-Garcia et al. (2012b) estudaram o desempenho ambiental de uma fábrica de queijo curado português e a utilização de soro de leite em pó. Como sugestões para reduzir o impacto causado, foram apontadas alternativas para reduzir o consumo de energia dentro da fábrica, como utilização combustíveis mais ecológicos no processo de tratamento térmico e

caminhões mais sustentáveis, apontando que tais alterações não acarretariam aumentos significativos de custos para o empreendimento.

Em uma ACV do processo de produção do queijo minas brasileiro, comparando diretamente os métodos de produção tradicionais e industriais. Os resultados mostraram que o processo artesanal teve um impacto menor, principalmente em termos de energia, justificando esses resultados por não haver processo de pasteurização durante a produção e por haver menos refrigeração. O soro de leite também foi usado como alimentação para os animais para reduzir drasticamente o impacto ambiental (NIGRI et al., 2014).

No Quadro 1 é apresentado um resumo das aplicações da ACV em plantas de processamento de laticínios em algumas partes do globo entre 2000 e 2023.

Quadro 1: Estudos utilizando a ACV na planta de processamento em Laticínios (2000-2023).

Ano	País	Autores	Título	Produto Avaliado	Unidade Funcional	Alocação	Impacto Ambiental
2000	Suécia	Cederberg; Mattsson.	Life cycle assessment of milk production- a comparison of conventional and organic farming.	Leite	1000 kg	E–M	GWP, AP, EP, POFP, POCP
2001	EUA	Phetteplace et al.	Greenhouse gas emissions from simulated beef and dairy livestock systems in the United States.	Leite	1 Kg leite/ano	–	GWP, POCP
2001	Alemanha	Haas; Wetterich; Köpke.	Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. Agriculture, Ecosystems and Environment.	Leite	1 Kg	–	AP, EP, GWP, CED, UW,
2002	Suécia	Berlin.	Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese.	Queijo	1 Kg	E-EX	GWP, CE, AT, EP, POFP
2002	Noruega	Eide.	Life cycle assessment (LCA) of industrial milk production.	Leite	1,033 Kg	Biofísica	AP, EP, GWP
2003	Espanha	Hospido, Moreira e Feijoo.	Simplified life cycle assessment of Galician milk production.	Leite	1 litro de leite	E	AP, EC, EP, GWP, LC, POFP
2003	Suécia, Holanda e Alemanha	De Boer.	Environmental impact assessment of conventional and organic milk production.	Leite	1 Kg	E - B	AP, EP, GWP
2003	Suécia	Cederberg; Stadig.	System Expansion and Allocation in Life Cycle Assessment of Milk and Beef Production.	Leite	1Kg de leite, 1 Kg de carne sem osso.	E - B- EX	AP, EP, GWP, CED
2005	Irlanda	Casey; Holden.	Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system.	Leite	1 Kg	E	GWP
2005	Espanha	Hospido; Sonesson.	The environmental impact of mastitis: a case study. of dairy herds.	Leite	1000 litros	E	EP, POP, POFP, ADP, AP, GWP
2005	Holanda	Thomassen ; De Boer.	Evaluation of indicators to assess the environmental impact of dairy production systems.	Leite	1 tonelada	E	AP, EP, GWP
2006	Europa	Olesen et al.	Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms.	Leite	1 Kg	E	GWP

2008	Portugal	Castanheira		Leite, Queijo, Leite Fermentado	1,2 ton de leite	M	GWP, POFP, AP, EP, ADP
2008	Holanda	Thomassen et al.	Attributional and consequential LCA of milk production.	Leite	1 Kg	E – M - EX	GWP, AP, EP, DF, LU
2008	Holanda	Thomassen et al. (b)	Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands.	Leite	1 Kg	E	GWP, AP, EP, DF, LU
2009	Nova Zelândia	Basset- Mens et al.	Uncertainty of global warming potential for milk production on a New Zealand farm and implications for decision making.	Leite	1 Kg	B	GWP
2009	Nova Zelândia	Basset- Mens et al. (b)	Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand.	Leite	1 Kg	E	GWP, AP, EP, LU, CE
2009	França	Van Der Werf; KanyaruSH okl; Corso	An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment.	Leite	1000 Kg	E	AP, EP,TETP, GWP100
2010	Reino Unido, Alemanha, França	Nilsson et al.	Comparative life cycle assessment of margarine and butter consumed in the UK, Germany and France	Manteiga, Margarina	500 g	E	AP, EP, GWP, LC, POFP
2010	Portugal	Castanheira et al.	The environmental performance of milk production on a typical Portuguese dairy farm.	Leite	1 tonelada	E	AP, EP, GWP100, ADF, POCP
2011	Peru	Bartl et al.	Life cycle assessment of milk produced in two smallholder dairy systems in the highlands and the coast of Peru.	Leite	1 Kg	E	AP, EP, GWP
2011	Holanda	Van Middelaa r et al.	Eco-efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese.	Queijo semiduro	1Kg	E	CE, GWP, LC
2011	EUA, Nova Zelândia	O'Brien et al.	The effect of methodology on estimates of greenhouse gas emissions from grass-based dairy systems.	Leite	1 Kg	B	GWP
2011	Mundo	Tan et al.	GHG emissions and energy use from a multi-product dairy processing plant.	Leite Fluído	1 Kg	E-M	CE, GWP
2011	EUA	Heller e Keoleian.	Life cycle energy and greenhouse gas analysis of a large-scale vertically integrated organic dairy in the United States.	Leite fluido orgânico	1 litro	E-M – Físico Químico	CE, GWP
2011	Europa	Yan et al.	An evaluation of life cycle assessment of European milk production.	Leite	1 Kg	E –M- B - EX	GWP, AP, EP, ODP

2011	Nova Zelândia Suécia	Flysjö et al. (a)	The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden	Leite	1 Kg	E- M	GWP
2011	Nova Zelândia Suécia	Flysjö et al. (b)	How does co-product handling affect the carbon footprint of milk? Case study of milk production in New Zealand and Sweden.	Leite	1 Kg	E –M- B- P- EX	GWP
2011	Mundo	Gerber et al.	Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems.	Leite	1 Kg	B	GWP
2011	Suécia	Henriksson et al.	Variation in carbon footprint of milk due to management differences between Swedish dairy farms.	Leite	1 Kg	M	GWP
2011	Dinamarca	Kristensen et al.	Effect of production system and farming strategy on greenhouse gas emissions from commercial dairy farms in a life cycle approach.	Leite	1 Kg	E – M- B- EX	GWP
2011	Brasil	Olszensvski.	Avaliação do ciclo de vida da produção de leite em sistema semi extensivo e intensivo: estudo aplicado.	Leite	1000 Kg	E	ADP, AP, EP, GWP100, ODP, HT, MEP, TETP, US, CED
2011	Irlanda	Geraghty.	Resource Efficiency in Ireland's Dairy Processing Sector.	Vários Produtos	1 Tonelada	M- Físico Química	CE, GWP, WC
2011	Mundo	Hagemann et al.	Benchmarking of greenhouse gas emissions of bovine milk production systems for 38 countries.	Leite	1 Kg	E	GWP
2011	Europa	Crosson et al.	) A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems.	Leite e carne	1 Kg e leite 1 Kg de carna	E, M, EX	GWP
2011	Mundo	Milani et al.	Invited review: Environmental impacts of dairy processing and products: a review.	Leite	-	E – M- B- EX	-
2012	Espanha	Meneses et al.	Environmental assessment of the milk life cycle: The effect of packaging selection and the variability of milk production data.	Leite	1litro engarrafado	E	AP, GWP
2012	Irlanda	O'Brien et al.	A life cycle assessment of seasonal grass-based and confinement dairy farms.	Leite	1 tonelada sólidos de leite, ha total para exploração de leite,	E-M	AP, GWP, US, NRE

					ha agrícola		
2012	EUA	Belflower et al.	A case study of the potential environmental impacts of different dairy production systems in Georgia	Leite	1 Kg	E	GWP
2012	França	Acosta-Alba et al.	Exploring sustainable farming scenarios at a regional scale: an application to dairy farms in Brittany.	Leite	1 Kg, 1 ha	E	IPCC/ IFSM
2012	Itália	Fantin et al.	Life cycle assessment of Italian high-quality milk production. A comparison with an EPD study.	Leite	1 Litro embalado	E-M	AP, EP, GWP, OLD, POFP
2012	Portugal	González-García et al.(a).	Environmental life cycle assessment of a dairy product: the yoghurt.	logurte	1 ton	M	ADP, AP, CED, EP, GWP, LC, OLD, POFP
2013	EUA	Nutter et al.	Greenhouse gas emission analysis for USA fluid milk processing plants: processing, packaging, and distribution.	Leite	1 Kg	M	GWP
2013	Romênia	Doublet et al.	Life Cycle Assessment of Romanian Beef and Dairy Products.	Leite	1 Kg	M	ADP, AP, EP, FD, GWP, HT, LC
2013	Brasil	DE LÉIS.	Desempenho ambiental de três sistemas de produção de leite no sul do Brasil pela abordagem da avaliação do ciclo de vida.	Leite	1 Kg	E-M-P	AP, EP, US, CED
2013	EUA	Thoma et al. (a).	Regional analysis of greenhouse gas emissions from USA dairy farms: A cradle to farm-gate assessment of the American dairy industry circa 2008.	Leite	1 Kg	E –M -B	GWP
2013	Canáda	Vergé et al.	Carbon footprint of Canadian dairy products: calculations and issues.	Vários Produtos	–	Físico-Químico	GWP
2013	Portugal	González-García et al. (b).	Environmental life cycle assessment of a Galician cheese: San Simon da Costa.	Queijo Galego	1 Kg	E	ADP, AP, CED, EP, GWP, OLD, POFP
2013	Portugal	González-García et al. (c).	Using Life Cycle Assessment methodology to assess UHT milk production in Portugal.	Leite UHT	1 Kg	ECM E-M	ADP, AP, CED, EP, GWP, OLD, POFP, TEP, MEP, HT, FEP

2013	Portugal	González-García et al. (d).	Environmental performance of a Portuguese mature cheese-making dairy mill.	Queijo Maduro	1 Kg	E-M	ADP, AP, EP, GWP, OLD, LC, POFP, CED
2013	EUA	Kim et al.	Life cycle assessment of cheese and whey production in the USA.	Queijo, Mussarela, soro de leite	1000 Kg	M -FQ	GWP, EM, EAD, HT, ET, POFP, C
2013	EUA	Thoma et al. (b).	A biophysical approach to allocation of life cycle environmental burdens for fluid milk supply chain analysis.	Leite	1 kg	E - P	GWP
2013	EUA	Thoma et al. (c).	Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa 2008.	Leite	1 Kg	B	GWP
2013		Nguyen et al.	Effect of dairy production system, breed and co-product handling methods on environmental impacts at farm level.	Leite	1 Kg	E –B –P - EX	GWP, US, CED, AP, EP
2013	Dinamarca Alemanha e Itália	Guerce et al.	Parameters affecting the environmental impact of a range of dairy farming systems in Denmark, Germany and Italy.	Leite	1 Kg	B	GWP, CED, AP, EP, NRE
2014	Irã	Daneshi et al.	Greenhouse gas emissions of packaged fluid milk production in Tehran.	Leite	1 Kg FPCM	M	GWP
2014	Sérvia	Djekic et al.	Environmental life-cycle assessment of various dairy products.	Leite, iogurte creme, iogurte	1 Kg	M	FQ GWP, AP, EP, OLD, POFP, HT
2014	Brasil	Nigri et al.	Assessing environmental impacts using a comparative LCA of industrial and artisanal production processes: “Minas Cheese” case.	Queijo Minas	1 Kg	E	HT, RPI, RPO, GWP, OLD, AP, EP, US, CR
2014	Holanda	Kramer et al.	LCA of Dutch semi-skimmed milk and semi-mature cheese	Leite semidesnatado, queijo meia cura	1Kg	E	CC, AT, FE, ME, US, FD
2016	Brasil	Júnior et al.	Life cycle assessment of cheese production process in a small-sized dairy industry in Brazil.	Queijo, manteiga, requeijão,	1 Kg	E	GWP, OLD, AT, EP, POFP,

				iogurte			FMP, FD, DF
2016	Suécia	Röös et al.	Producing oat drink or cow's milk on a Swedish farm - Environmental impacts considering the service of grazing, the opportunity cost of land and the demand for beef and protein.	Leite, bebida da aveia	880 toneladas	E, AP	AP, EP, GWP, TETP
2017	Itália	Palmieri; Forleo; Salimei.	Environmental impacts of a dairy cheese chain including whey feeding: An Italian case study.	Queijo mussarela	123 g	AP, E, M	GWP, AP, EP
2017	Itália	Dalla Riva et al.	Environmental life cycle assessment of Italian mozzarella cheese: Hotspots and improvement opportunities.	Queijo Mussarela	1 Kg	E – M-	GWP, ODP, AP, EP, ME, FEP, POF, CED, US,
2017	Irlanda	Finnegan et al.	Global warming potential associated with dairy products in the Republic of Ireland.	Vários Produtos	1 Kg	E, M	GWP
2018	Portugal	Nunes.	Análise do Ciclo de Vida de produtos lácteos: caso de estudo do queijo da Beira Baixa.	Leite e queijo de ovelha	1 kg de leite cru, 1 kg de queijo	–	AC, EP, AP, ME
2018		Lopes.	O processamento de leite envasado sob a ótica da Avaliação do Ciclo de Vida.	Leite	1 Kg	E	PWC, AP, EP
2018	Irlanda	Finnegan et al.	A review of environmental life cycle assessment studies examining cheese production.	Queijo fresco, maduro e semi-duro	1 Kg	E, M, AP, FQ	GWP, AP, EP
2019	Itália	Berlese et al.	Environmental sustainability assessment of buffalo mozzarella cheese production chain: A scenario analysis.	Leite, Mucarela da búfala	1 Kg	E, AP	GWP, AP, EP
2020	Brasil	Cabral et al.	Environmental Life Cycle Assessment of goat cheese production in Brazil: a path towards sustainability.	Leite ,queijo de Cabra	1 L de leite, 1 Kg de cabra	E	FEP, GWP, LU, FD
2020	Portugal	Nunes et al.	Life-Cycle Assessment of Dairy Products—Case Study of Regional Cheese Produced in Portugal.	Leite e queijo de ovelha	1 Kg de leite cru, 1 Kg de queijo	–	AC, EP, AP, ME
2020	Nova Zelândia	Tarighaleslami et al.	Environmental life cycle assessment for a cheese production plant towards sustainable energy transition: Natural gas to biomass vs. natural gas to geothermal.	Queijo	1 Kg	AP	DF, AC, MEP, FEP, TETP, AP
2021	Europa	Asunis et al.	Environmental life cycle assessment of polyhydroxyalkanoates production from cheese whey.	Soro de leite	1 Tonelada de soro	E-P	ODP, IR, POCP, HT, ME, LU, WC, FD

2022	Itália	Borghesi et al.	Life cycle assessment of packaged organic dairy product: A comparison of different methods for the environmental assessment of alternative scenarios	Queijo Parmigiano	1 Kg	E	GWP, WC, CE
2022	França	Cortesi et al.	Explaining the Differences between the Environmental Impacts of 44 French Artisanal Cheeses	Queijos diversos	1 Kg	P	CC, ODP, IR, POCP, AP, EP, ME, TE, WC, US
2023	Romênia	Ghinea; Leahu	Life cycle assessment of sheep cheese production in a small dairy factory from Romanian rural area.	Queijo de ovelha	1 Kg	E	GWP, AP, EP, HT, ADF, FD

Alocação Econômica (E); Alocação por Massa (M); Alocação Proteica (P); Alocação Física (AP); Alocação Físico Química (FQ); Alocação Expansão do Sistema (EX); Alocação Biológica (B); Potencial de depleção abiótica (ADP); Alterações Climáticas (CC); Fator de depleção abiótica (ADF); Potencial de aquecimento global (GWP); Potencial acidificação (AP); Potencial eutrofização (EP); Demanda energia acumulada (CED); Água Subterrânea (UW); Uso da terra (LU); Oxidação fotoquímica (PO); Uso de energia não renovável (NRE); Radiação ionizante (IR); Consumo de energia (CE); Depleção de água doce (FD); Toxicidade humana (HT); Depleção da camada de ozônio (OLD); Potencial fotoquímico da criação de ozônio (POCP); Potencial de destruição do ozônio (ODP); Potencial formação de foto-oxidantes (POFP); Consumo de água (WC); Esgotamento de água (WD); Carcinogênicos (CR); Respiração de partículas inorgânicas (RPI); Respiração de partículas orgânicas (RPO); Uso e ocupação do solo (US); Ecotoxicidade aquática marinha (MEP); Eutrofização Marinha (ME) Eutrofização de água doce (FE); Eutrofização terrestre (TE); Ecotoxicidade de água doce (FEP); Formação de material particulado (FMP); Potencial de ecotoxicidade terrestre (TETP); Depleção fóssil (FD).

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa.

CAPÍTULO 3

3. Material e métodos

3.1 Introdução

Nesse capítulo são apresentadas as metodologias de ACV do presente estudo, tais como a definição da unidade funcional e as fronteiras e limites do sistema estudado e o inventário do ciclo de vida. Para tal, são apresentados os cálculos e coletas de dados para obtenção do inventário e a metodologia utilizada para a obtenção dos mesmos.

3.2 Caracterização da empresa produtora de queijo mussarela

A presente pesquisa teve como base o estudo do processo produtivo do queijo mussarela em um laticínio localizado no município de Jussara, no estado de Goiás. Tal empreendimento é de pequeno porte regulamentado pelo (Decreto estadual Nº 9.710/2020), que define a fabricação de produtos de laticínios em capacidade instalada (litros de leite/dia) micro 500 a 3.000, pequeno 3.000 a 30.000, médio 30.000 a 150.000 e grande 150.000 acima). Em termos de classificação de potencial poluidor é de classe I, empreendimentos enquadrados na classe I e II sua regularização ambiental é obtida por meio Autorização Ambiental de Funcionamento (AFF), para as demais classes (3 a 6) é exigido o licenciamento ambiental padrão (GOIÁS, 2020).

Composto por seis funcionários (um queijeiro, um ricoteiro, quatro auxiliares de produção), sua bacia de captação de leite é composta por 46 pontos de coleta nos municípios de Jussara, Itapirapuã, Britânia, Fazenda Nova, Novo Brasil, Itapirapuã, Montes Claros e Santa Fé de Goiás, localizados no estado de Goiás, o leite é oriundo de produtores rurais familiares e a captação é feita pelo laticínio em um caminhão tanque com capacidade de 4300 litros.

Os produtores familiares no Brasil são caracterizados conforme a Lei nº 11.326/2006, é considerado agricultor familiar aquele que exerce atividades econômicas no meio rural e atende a alguns requisitos básicos, tais como: a propriedade rural não ultrapassa 4 módulos fiscais (no caso específico o município de Jussara-GO, cada módulo fiscal equivale a 45 (há), ou seja, são propriedades de até 180 (há) (BRASIL, 2023); utiliza principalmente mão de obra própria da

família para Atividades econômicas da propriedade e a maior parte do rendimento familiar provém de atividades agropecuárias realizadas no estabelecimento rural (BRASIL, 2006). Em termos de produção de leite a média produzida pelos produtores fornecedores do laticínio é em torno 180 litros/dia.

A caracterização da empresa está disposta no Anexo III, que contempla as exigências da Instrução Normativa nº 3/2019, o registro de estabelecimentos que processam produtos de origem animal deve ser registrado no Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (DIPOA) com apresentação elementos informativos e documentais do estabelecimento (BRASIL, 2019).

O processo produtivo do queijo começa com a captação do leite cru nas fazendas produtoras, nas etapas iniciais o leite cru é recebido na fábrica, passando por filtração, após é iniciada a fabricação do queijo, pasteurização, adição de coagulante, corte, prensagem e armazenagem, na Figura 13 são apresentadas as etapas de produção do queijo mussarela, conforme visita *in loco* no laticínio estudado. Os processos que ocorrem em uma fábrica típica de processamento de laticínios incluem receber e filtrar/clarificar o leite cru; separação de creme; pasteurização ou outro tratamento térmico; homogeneização; processamento adicional específico do produto, como secagem por pulverização para leite em pó, coagulação para queijo e fermentação para iogurte; embalagem e armazenamento (CHUNG et al., 2022).

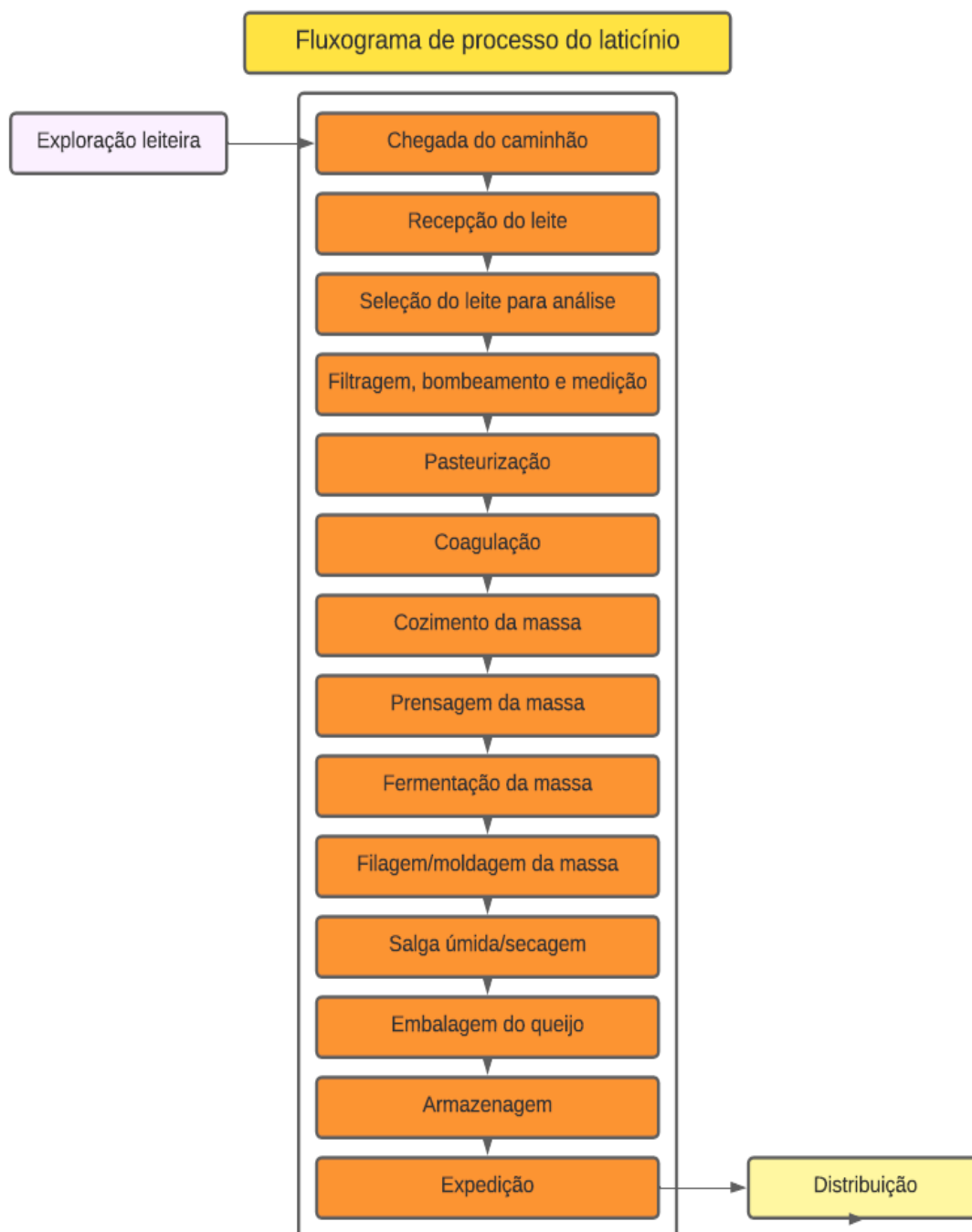


Figura 13: Processo produtivo do queijo mussarela.
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.1 Recepção do leite

A matéria prima é o leite bovino cru, proveniente das fazendas locais, contendo 46 tanques de coletas, oriundos de produtores rurais familiares, a bacia de captação já foi inserida na área geográfica abordada no capítulo 01 (FIGURA 7). O leite é transportado até o laticínio por meio de caminhão tanque com capacidade de 4300 L, que percorre distância média de 110 Km/dia, com 8 horas

de trabalho, com consumo médio de 4,5 L de diesel por Km/rodado, portanto não há entrega direta dos produtores no laticínio. O laticínio está localizado no município de Jussara – GO (FIGURA 14) com latitude ($15^{\circ}59'00.0''\text{S}$) e longitude ($50^{\circ}47'05.7''\text{W}$), situado a 402 metros de altitude (Google Maps, 2023).



Figura 14: Mapa de localização do laticínio.
Fonte: IBGE (2023).

Essa etapa é executada por motoristas com treinamento e capacitação apropriados. Antes de coletar, os motoristas adotam os seguintes procedimentos: verificam a higiene do local (sala do tanque de leite), temperatura do leite, volume de captação, realizam o teste de análise do alizarol (78 %), tal teste tem como objetivo estimar a estabilidade térmica do leite ou verificar se leite encontra-se com a acidez acima ou abaixo do recomendado. A coleta é feita com a introdução de um mangote (limpo e higienizado) no tanque de coleta, após o leite ser coletado, faz-se a retirada do mangote, tal procedimento fica sob responsabilidade dos motoristas e do produtor que conferem os resultados no ponto de coleta. No momento da captação, se a temperatura ou a análise de alizarol estiverem fora dos padrões estabelecidos pela empresa, o leite não é coletado, sendo recomendado seu descarte por parte do produtor.

Em média o volume de processamento do laticínio é de 10 mil litros/dia de dezembro a maio, porém, no período de estiagem que ocorre de junho a novembro, o volume de processamento reduz para a média de 5.500 litros/dia.

3.2.2 Seleção do leite para análise

Após a recepção do leite, são retiradas amostras para análises físico químicas de pesquisas, com avaliação das seguintes variáveis: acidez, densidade, crioscopia, pH alizarol, EST (extrato seco total), ESD (extrato seco desengordurado), gordura, antibiótico, pesquisas de neutralizantes e reconstituintes de densidade, posterior a aprovação do leite o mesmo é direcionado via bomba sanitária para filtragem.

3.2.3 Filtragem, bombeamento e medição

Nessa etapa o leite filtrado e clarificado, no intuito de remover as impurezas, tais como: pelos de animais e outras sujidades.

3.2.4 Pasteurização

Após a filtragem passa para o processo de pasteurização, com o aquecimento do leite a 72-75 °C, por 15 a 20 segundos e resfriado a 32-34 °C neste mesmo tempo, com coeficiente de gordura entre 3 a 3,5%, sendo distribuído para o tanque de fabricação/queijomatic. Se a temperatura da pasteurização não for atingida, o leite será reprocessado através de uma nova pasteurização.

3.2.5 Coagulação

Nessa etapa adiciona-se solução de cloreto de cálcio, coalho e fermento, com aquecimento a 32 °C no tanque quando ocorre a coagulação em torno de 30 minutos, após esse processo, obtém-se a coalhada que é cortada e agita-se lentamente por 10 minutos. Comprovando-se o ponto ideal da coagulação munindo-se de objeto cortante (aço inox) realiza-se o corte de parte da massa, devendo está se romper em fenda retilínea. Com utilização de liras metálicas (fio de aço inox horizontais e verticais) executa-se o corte da massa, fragmentando-a, visando obtenção de grãos miúdos de aproximadamente 0,5 cm homogêneos.

3.2.6 Cozimento da massa

Após isso deve-se aquecer o tanque, com vapor na camisa, a uma temperatura de 40 a 45 °C é necessário continuar mexendo por mais 40 minutos para se obter o ponto da massa, sendo cortada em grãos médios, verifica-se o ponto da massa está em conformidade e segue-se para prensagem.

3.2.7 Prensagem da massa

Nessa etapa os grumos (amontoado de pequenas partículas) já cozidos são prensados para haja formação de blocos de massa, que são cortados e enviados para a prateleira de fermentação.

3.2.8 Fermentação da massa

Os blocos de massa ficam em descanso em torno de 12 horas nas prateleiras até atingirem o pH ideal para que seja feita a filagem.

3.2.9 Filagem e moldagem da massa

Após a constatação do pH ideal, a massa é cortada e filada (processo de sovar a massa para que a mesma atinja um aspecto alongado, parecido com fibras) com água quente à 70-80 °C, em seguida é feita a moldagem da massa, tais processos são feitos de forma simultânea por meio de fôrmas/monoblocos padronizados em tamanho e forma, nessa etapa os queijos adquirem formas propriamente dito.

3.2.10 Salga e secagem

Esse processo começa após os queijos adquirirem consistência, sendo retirados das fôrmas e introduzidos em tanques contendo salmoura, onde ficam submersos de 12 a 24 horas com temperatura em torno de 10 °C a depender do tamanho das peças, encerrado o tempo de salga, os queijos são enviados para prateleiras de secagem, onde permanecem em torno de 12 horas para que sejam eliminados ao máximo a quantidade da água contida nos mesmos, ou seja, é um período de secagem.

3.2.11 Embalagem do queijo

As embalagens são sacos plásticos inodoros e são fechadas a vácuo, após o fechamento das embalagens, os queijos são mergulhados em um tanque com água quente entre 80-90 °C, pra que haja o encolhimento da embalagem e a mesma adquira o aspecto de queijo, com formato de paralelepípedo, no caso do queijo industrializado retrato nesse estudo.

3.2.12 Armazenagem

Após a secagem os queijos são embalados e enviados para a câmara fria de estocagem com temperatura máxima de 4 °C.

3.2.13 Expedição

A expedição é a etapa final do processo produtivo dos queijos, ou seja, os produtos já estão prontos para serem enviados ao mercado consumidor, para separação são utilizadas caixas plásticas de polietileno com temperatura entre 4 a 8 °C, para distribuição são direcionados aos caminhões com isolamento térmico, dotados com sistema de refrigeração que mantem as temperaturas similares ao local de armazenagem.

3.3 Definição da Metodologia

Assim, foi elaborada uma análise dos impactos ambientais de acordo com dados obtidos referente a fase de beneficiamento do leite, registrados em planilhas eletrônicas do Excel (Microsoft Excel®), conforme informações coletadas junto aos proprietários do laticínio.

A compilação e quantificação de entradas e saídas serão realizadas através da coleta de dados primários e secundários. Os dados primários foram coletados em entrevistas nos locais de estudo com assinatura do TCLE (TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO) Anexo IV, obtidos a partir de levantamentos ou medições diretas e valores que fazem parte dos registros de produção do laticínio, por outro lado, os dados secundários foram obtidos na base de dados Ecoinvent (*Pré Consultants*). Para as análises energéticas e de emissões foi utilizado o software SimaPro.

O queijo é uma forma estratégica de conservar o leite, representando um alimento de alto valor nutricional, pois contém proteínas EAA (aminoácidos essenciais), minerais, vitaminas e gordura do leite, possui grande valor econômico e sua produção e comércio internacional estão aumentando. Recentemente, as consequências ambientais da produção de leite estão afetando no nível de política e desenvolvimento de novas tecnologias de produção, além dos valores econômicos, nutricionais e sociais. (DALLA RIVA et al., 2017).

Neste sentido, apesar das diferenças de produção e limites entre os vários produtos lácteos analisados, todos os estudos apontam para um denominador comum de que os maiores impactos ambientais ocorrem principalmente nos subsistemas de exploração leiteira (fazendas), respeitados os limites da fronteira, ou seja, produção de leite e leite em pó (NIGRI, 2012; DJEICK et al., 2014; FANTIN et al., 2012; KIM et al., 2013; NIGRI et al., 2014; Junior et al., 2016; FINNEGAN et al., 2017; DALLA RIVA et al., 2017; NUNES, 2018). O processamento de lácteos é outra etapa estratégica na produção de laticínios, que provoca impactos ambientais consideráveis (FINNEGAN et al., 2017b, ÜÇTUG, 2019).

Observa-se que o sistema de beneficiamento e transformação de leite é composto por quatro fases: a primeira fase é a produção primária relacionada a obtenção do leite bovino cru nas explorações agrícolas, segue-se a unidade fabril com transformação da matéria-prima, neste caso específico o queijo, a fase seguinte engloba a distribuição que integra a venda de produtos ao mercado consumidor e, finalmente, o consumo dos produtos pelos consumidores que gera preocupação relativa a destinação final dos mesmos. Neste estudo foi realizada uma análise dos potenciais impactos ambientais na transformação do leite cru em queijo mussarela, utilizando-se a ferramenta de ACV, tendo como fronteiras do sistema a abordagem do portão ao portão (*gate-to-gate*).

Coletou-se os dados primários a partir de aplicação de pesquisa de campo e elaboração de inventário no laticínio estudado. Com mensuração das categorias de impacto conforme apresentado no Quadro 02.

Quadro 02: Categorias de Impacto ambiental

Categoria de impacto do ciclo de vida	
CC: mudanças climáticas, kg de equivalentes de CO ₂ .	CED: demanda de energia acumulada, MJ.

AT: acidificação terrestre, kg de equivalentes SO ₂ .	EP: eutrofização de água doce, kg de equivalentes de P.
---	--

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.4 Categorias de potenciais impactos ambientais

Neste estudo foram consideradas as seguintes categorias de impactos ambientais: mudanças climáticas, acidificação terrestre, eutrofização de água doce e demanda de energia acumulada. Tais categorias já utilizadas nos estudos de (EIDE, 2002; FANTIN et al., 2012; SANTOS et al., 2016; DE ALMEIDA FILHO, 2020).

3.4.1 Mudanças Climáticas

O potencial de mudanças climáticas pode ser analisado através de cálculos que resultam no montante de emissões de gases de efeito estufa (GEE) como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), a partir de diferentes condições e manejos aos quais os animais são submetidos no decorrer do processo produtivo. As mudanças climáticas alteram a temperatura, o padrão de precipitação, o nível do mar, entre outros efeitos.

Em algumas regiões os efeitos das mudanças climáticas podem ser benéficos, resultando em aumento de produtividade agrícola, como por exemplo, em alguns países com latitudes elevadas. No entanto, em outras regiões as consequências podem ser negativas: extinção de parte da fauna e da flora, variações na produção agrícola, alterações no volume de precipitações (enchentes e secas), redução na disponibilidade de água potável, aumento do nível do mar e maior incidências de doenças infecciosas (BARTHOLOMEU, 2006). Ademais, as mudanças climáticas também podem provocar o aumento da incidência da radiação infravermelha na superfície terrestre, devida a crescente emissão de CO₂, N₂O, CH₄, cujo potencial de aquecimento global é expresso em quilos de produto (Kg de CO₂eq/Kg de produto) (HANSEN, 2013).

3.4.2 Acidificação terrestre

A acidificação terrestre é causada pelo desequilíbrio químico, resultante da redução do (pH) do solo, da emissão de nitrogênio (N) e enxofre (S) para atmosfera, com unidade de análise (Kg SO₂ eq), (LOPES et al., 2018).

Podem ocorrer emissões de substâncias inorgânicas para o solo e água, tais como: fosfatos, nitratos e sulfatos que provocam a acidificação no solo e nos corpos d'água. Na bovinocultura leiteira os principais elementos que contribuem para a acidificação são amônia (NH₃), nitratos (NO_x) e sulfatos (SO₂), com diferentes potenciais de liberação de íons H⁺ (DIAS, 2011). Ao longo da cadeia de produção de lácteos, a fase de produção do leite cru contribui em média com 97% do potencial de acidificação, sendo a amônia responsável por 79% e os nitratos e sulfatos contribuem em torno de 5% a 12% respectivamente (GUIGNARD et al., 2009).

3.4.3 Eutrofização de água doce

A eutrofização ocorre devido ao aumento de nutrientes em meios aquáticos, com o crescimento populacional de microrganismos e, como consequência, tem-se a diminuição da taxa do oxigênio necessário para sobrevivência de peixes a outros organismos, com unidade de análise (Kg PO₄ eq) (NIGRI, 2012 e LOPES et al., 2018).

A eutrofização é um processo impactante causado pelo excesso de material orgânico, geralmente não tratados, lançados em corpos d'água ou em solos de alta drenagem que conduzem estes componentes até as águas subterrâneas, reduzindo a proporção de oxigênio do meio (DE LUCA et al., 2017).

3.4.4 Demanda de energia acumulada

Soma da energia oriunda de recursos da natureza para funcionamento de um sistema produtivo, constitui-se a demanda acumulada de energia, seja de recursos não renováveis ou renováveis (SEÓ et al., 2015). No caso específico da fase de beneficiamento engloba o consumo de energia elétrica no resfriamento, caldeira, armazenagem, iluminação, sistema de ar comprimido, motores elétricos e refrigeração, combustível na pasteurização e diesel no transporte de insumos.

Essa categoria engloba o consumo de energia, unidade de mensuração (MJeq/kg ECM).

3.5 Delineamento de pesquisa

Inicialmente realizou-se uma revisão sistemática sobre o tema elaborado. Para tanto, foi necessário a separação dos subitens da bovinocultura leiteira com ênfase na produção de queijo. Desta forma, os assuntos foram divididos em: indicadores de impactos ambientais relacionados à produção de queijos, para então relacioná-los ao estudo da ACV. No caso da indústria de transformação do leite (laticínio) foi considerada uma UF de 1 kg de queijo mussarela produzido.

3.5.1 Fronteiras/Limites e Descrição dos Sistemas

O presente estudo foi baseado numa abordagem portão a portão (*gate-to-gate*), com análise da indústria de transformação. Neste sentido, foi feita a análise da indústria de transformação do leite para queijo até a distribuição para o mercado consumidor, na Figura 15 são apresentadas as fronteiras do sistema.

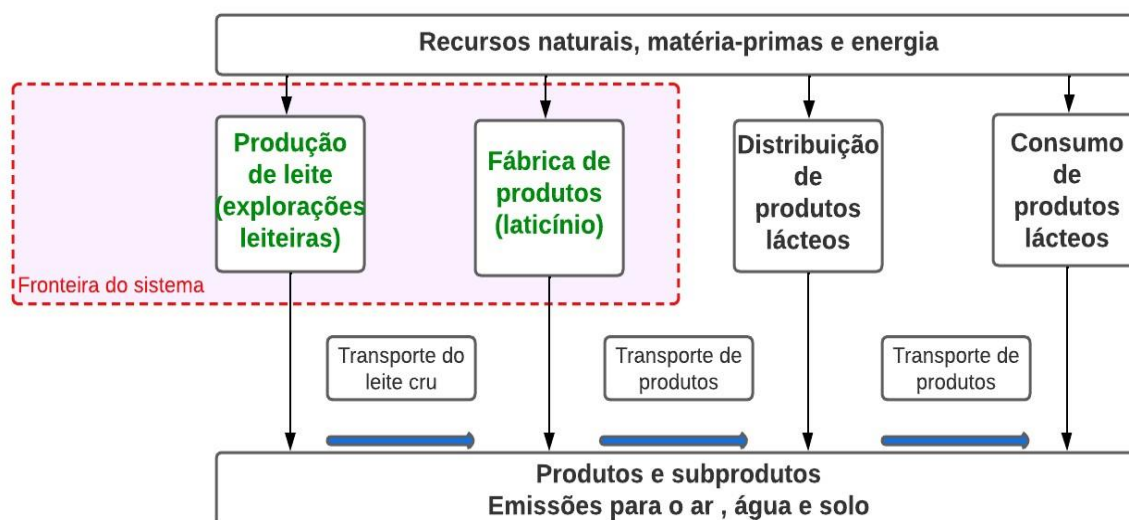


Figura 15: Fronteira do sistema em análise.

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A saída de possíveis subprodutos (creme e manteiga) não foram incluídos nos limites do sistema, portanto, os fatores de alocação foram usados para determinar o processo atribuível a queijo em vez de seus subprodutos.

3.6 Inventário do ciclo de vida (ICV)

Na elaboração do Inventário do Ciclo de Vida, foi realizada a compilação e quantificação das entradas e saídas do produto durante seu ciclo de vida, ou seja, quantificar a energia, matérias-primas e materiais secundários, produtos e coprodutos, emissões atmosféricas, emissões para água e solo, resíduos sólidos e demais dejetos gerados durante o ciclo de vida do produto, processo ou atividade. Tratados, os dados do inventário são utilizados para avaliar os impactos ambientais oriundos do ciclo de vida do produto (NBR ISO 14040, 2009).

As análises dos impactos ambientais foram realizadas de acordo com dados obtidos referentes as fases de produção e beneficiamento do leite e registrados em planilhas eletrônicas do Excel, conforme informações coletadas junto aos proprietários do laticínio.

A mensuração de entradas e saídas foram realizadas através da coleta de dados primários e secundários. Os dados primários foram coletados em entrevistas no local de estudo, obtidos a partir de levantamentos ou medições diretas e valores que fazem parte dos registros de produção do laticínio.

Os dados referentes à captação ou coleta anual do leite foram extraídos de planilhas de controle de entradas e recebimentos de leite ao longo de 2022 (janeiro a dezembro) totalizando o recebimento de 2.172.841 L de leite utilizados para fabricação de queijo mussarela.

Os demais insumos utilizados na produção de queijo mussarela foram água com um consumo de aproximadamente 1.800.000 L anuais, fermento láctico 21.728 Kg, cloreto de sódio e de cálcio, 9000 Kg e 700 Kg respectivamente, coalho 87L, as embalagens plásticas utilizadas para conservação e venda totalizaram 5.432 Kg. No que diz respeito aos agentes de limpeza, foram contabilizados ácido nítrico 1200 L, hipoclorito de sódio 600 L e detergente 600 L. Tais itens foram inventariados com base nas planilhas e anotações colhidas junto a equipe de produção, com acompanhamento das planilhas disponibilizadas.

O consumo anual de energia elétrica fornecida pela rede foi 44.543 kWh, para estimar o consumo de energia associado às diferentes atividades do laticínio foi realizada uma auditoria elétrica sistemática dos aparelhos elétricos relatando a potência de cada dispositivo e sua rotina de utilização (horas por dia e dias por ano) com estabelecimento de média de consumo. Além disso, os dados

resultantes e as cobranças de eletricidade foram comparados para avaliar a precisão da estimativa. O consumo de óleo diesel foi de 9000 L, utilizados no abastecimento do caminhão.

Em relação ao consumo da energia térmica no laticínio foi realizada a medição em relação a quantidade de m³ de madeira consumida, o consumo foi de 2 m³ diário, totalizando 720 m³ ao ano, convertido em M J, com o consumo anual de 8715 M/J. Para mensurar a massa da madeira foi considerado que o metro cubico de lenha possui 650 Kg (STRAPASSON, 2004). Na Figura 16 são apresentados todos os itens que compõem o sistema de produção do laticínio, assim como suas fronteiras já apresentadas na Figura 15.

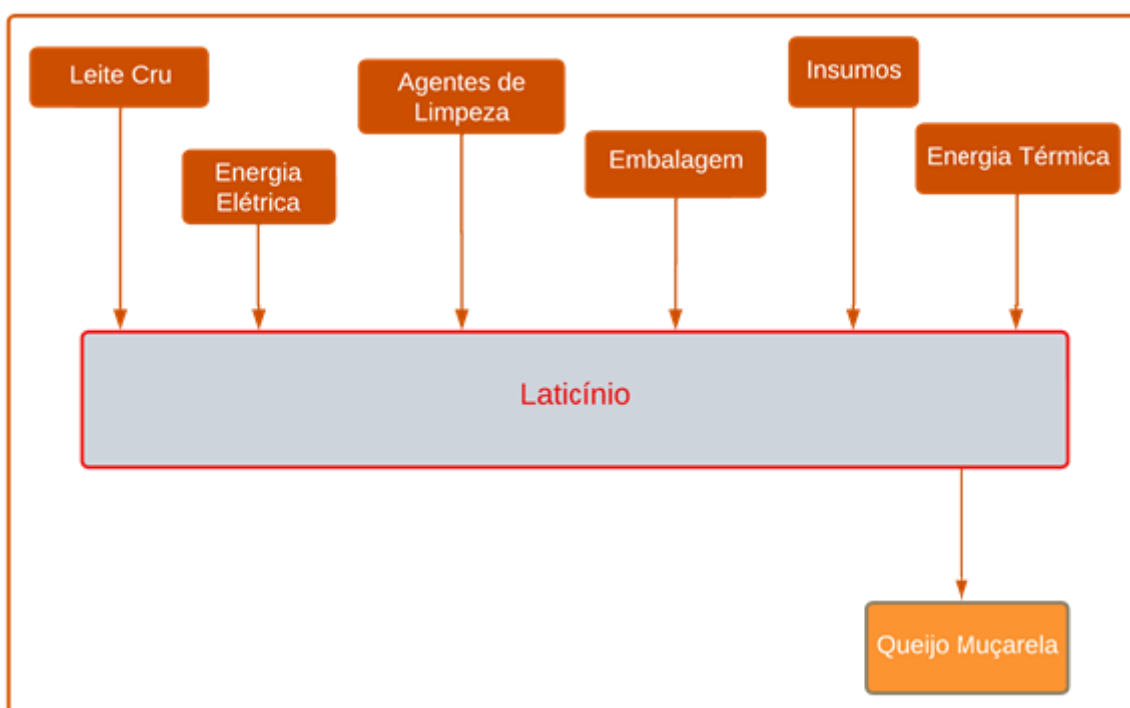


Figura 16: Fronteira do sistema de produção do laticínio com representação dos fluxos.
Fonte: Dados da Pesquisa.

O soro de leite, produto derivado do leite, não foi contabilizado, pois é reciclado aos produtores locais para ser utilizado como ração animal e, portanto, não causa impacto ambiental na fábrica. As águas residuais não foram incluídas no estudo em função da dificuldade de mensuração da quantidade gerada ao final o processo produtivo. As máquinas e equipamentos elétricos inventariados no laticínio estão disponíveis no Anexo II.

3.7 Método de viabilidade econômica para implementação de energia solar

No intuito de propor soluções aos possíveis impactos ambientais no laticínio foi feito um estudo de viabilidade econômica para implementação de painéis de energia solar fotovoltaica, em substituição do uso da energia elétrica proveniente de rede (energia hidrelétrica). Em suma, um estudo de viabilidade econômica visa avaliar o orçamento de instalação de um empreendimento, seu tempo de vida útil e de retorno do investimento.

Para tal estudo foi utilizado as seguintes ferramentas contábeis na coleta de dados, conforme (DE ALMEIDA, 2017):

Etapa 1: estudo da irradiação solar na região do laticínio: (levantamento de dados da média anual de irradiação solar e cálculo da média mensal);

Etapa 2: cálculo do investimento inicial: (cálculo da potência instalada, custo de aquisição de equipamentos, cálculo dos custos ao *Balance of System* e custos relativos e execução);

Etapa 3: simulação do uso dos painéis ao longo da vida útil (cálculo da geração anual e perda esperada, cálculo do valor de venda da energia gerada e receita bruta anual);

Etapa 4: projeção econômica (taxa mínima de atratividade, lucro operacional bruto e líquido, cálculo do FCFE (fluxo de caixa livre para o acionista);

Para obtenção dos possíveis retornos sobre o investimento inicial ou total do sistema, foram calculados a partir da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback* descontado. Para elaboração da viabilidade econômica foram utilizados os seguintes cálculos:

Payback: o objetivo é descobrir quantos ciclos o projeto trabalha para acumular um valor de retorno igual ao investimento inicial, relacionando o valor do investimento inicial com o valor do fluxo de caixa do período analisado. Calculado conforme as Equações 1(simples) e 2 (descontado):

$$1) \quad PBs = \frac{I}{FC}$$

$$2) \quad I = \sum_{t=1}^T \frac{FC}{(1+k)^t}$$

sendo: I, o investimento de custeio do sistema [dado em R\$]; FC, o fluxo de caixa anual [dado em R\$]; k, a taxa de desconto [dado em %]; t, o *payback* descontado [dado em número de períodos] (AYRÃO, 2018; DE ALMEIDA, 2017).

Valor Presente Líquido (VPL): cálculo do valor presente dos fluxos de caixa gerado pelo projeto durante toda a sua vida útil. Calculado conforme a equação:

$$VPL(n) = -FC_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

sendo: t, o período [em anos]; VPL, o valor presente líquido no período *n* [dado em R\$]; FC₀, o investimento inicial do projeto [dado em R\$]; FC_t, o fluxo de caixa no período *n* [dado em R\$]; *i*, a taxa de inflação [dado em %].

Os critérios de avaliação são os seguintes:

- i) VPL > 0: projeto aprovado;
- ii) VPL = 0: projeto economicamente indiferente;
- iii) VPL < 0: projeto rejeitado (AYRÃO, 2019; DE ALMEIDA, 2017).

Taxa interna de retorno (TIR): Esta é a taxa de desconto que torna o VPL nulo, portanto o valor presente da entrada fluxo de caixa é igual ao investimento inicial. Calculada conforme a equação:

$$0 = -FC_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \leftrightarrow$$

$$\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} = FC_0$$

sendo: t, o período [dado em anos]; FC₀, o investimento inicial do projeto [dado em R\$]; FC_t, o fluxo de caixa no período *n* [dado em R\$]; TIR, a taxa interna de retorno [dado em %]. Os critérios de avaliação são os seguintes:

- i) TIR > TMA: projeto aprovado;
- ii) TIR < TMA: projeto rejeitado;
- iii) TMA – Taxa Mínima de Atratividade, ou Custo Capital, a taxa de retorno obtida para manter o valor de mercado da ação [expresso em %] (AYRÃO, 2019; DE ALMEIDA, 2017).

CAPÍTULO 4

4. Análise e discussão de resultados

Os dados da Tabela 5 são referentes aos dados primários das entradas de insumos como: quantidade de litros de leite captados pelo laticínio e insumos (água, energia elétrica, energia térmica, embalagens, materiais de limpeza), tais dados primários são referentes ao ano de 2022 (no período de janeiro a dezembro) e foram coletados *in loco* no laticínio com visitas nos meses de janeiro a junho de 2023. Tais informações foram obtidas através de que questionário exposto no Anexo I.

Tabela 5: Entradas de insumos de produção de janeiro a dezembro de 2022.

Materiais de entrada	Especificação ou Unidade	Quantidade
Leite	Litro de leite cru/ano	2.172.841
Ácido láctico	Kg/ano	2173
Cloreto de Sódio	Kg/ano	9000
Água	L/ano	1.800.000
Coalho	L/ano	87
Cloreto de Cálcio	Kg /ano	720
	Agentes de Limpeza	
Ácido nítrico	L/ano	1200
Hipoclorito de Sódio	L/ano	600
Detergente	L/ano	600
	Energia de entrada para a fábrica do laticínio	
Eleticidade	kWh/ano	44.543
Energia Térmica	M J/ano	8715,10464
Óleo Diesel	L/ano	9000
	Embalagem	
Plástico	Kg /ano	5.432,10

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Para padronização dos dados em unidade funcional (UF) de 1 kg de leite corrigido (Fat Protein Corrected Milk) FPCM, conforme a International Dairy Federation (IDF, 2015), tal fator de correção é utilizado para a padronização dos resultados, com o intuito de viabilizar comparações entre produtos e estudos realizados no Brasil e no mundo, conforme exposto na Equação 1 descrita abaixo. O leite cru brasileiro possui uma variação no teor de gordura de 3,5% a 4,5% e no teor de proteína de 3,2% a 3,5% (NORO, 2001). No estudo realizado o teor de proteína foi de 3,6% e o teor de gordura foi de 4,2% (conforme mensurado no laticínio). O desempenho das saídas funcionais serviu de referência para as entradas e saídas (NBR ISO 14040, 2001).

Equação 1: $FPCM \text{ (kg/yr)} = \text{Production (kg/yr)} \times [0.1226 \times \text{Fat (\%)} + 0.0776 \times \text{Protein (\%)} + 0.2534]$.

Sendo;

$$\text{FPCM} = 2.224.554,61 \cdot 0,1226 \cdot 4,2\% + 0,0776 \cdot 3,6\% + 0,2534$$

$$\text{FPCM} = 2.224.554,61 [0,0051492 + 0,0027936 + 0,2534]$$

$$\text{FPCM} = 2.224.554,61 \cdot 1,07456$$

$$\text{FPCM} = 2.390.417,40$$

Conforme as informações colhidas na pesquisa, são necessários 10Kg de leite para a produzir 1Kg de queijo mussarela corrigidos pelo FPCM. Apresenta-se abaixo o cálculo referente a unidade funcional utilizada no estudo:

1 Kg de Queijo Mussarela

$$\text{FPCM} = 1,0238 \cdot 10$$

$$\text{FPCM} = 10,238.$$

Onde:

1,0238 é referente ao peso de um litro de leite convertido para quilo.

10 é referente a quantidade de quilos de leite para produção de 1 Kg de queijo mussarela corrigido pelo FPCM.

Os dados coletados e convertidos são descritos em unidade funcional (UF) de 1 kg de queijo corrigido FPCM, conforme a (TABELA 6).

Tabela 6: Materiais e energia referentes ao processamento de 1 kg de queijo mussarela embalado corrigido pelo FPCM.

Entradas	Unidades/ Kg FPCM	Qualidade Dados	Fonte
Leite cru	10,238 Kg	Calculado	Primário
Ácido láctico	0,0093 Kg	Calculado	Primário
Cloreto de Sódio	0,0385 Kg	Calculado	Primário
Água	7,709 L/Kg	Calculado	Primário
Coalho	0,00037 L/Kg	Calculado	Primário
Cloreto de Cálcio	0,00308 L/Kg	Calculado	Primário
Ácido nítrico	0,00513 L/Kg	Calculado	Primário
Hipoclorito de Sódio	0,00256 L/Kg	Calculado	Primário
Detergente	0,00256 L/Kg	Calculado	Primário
Eleticidade	0,19077 kWh/Kg	Calculado	Primário
Energia Térmica	0,03732 MJ/kg	Calculado	Primário
Embalagem Plástica	0,0235 Kg	Calculado	Primário
Óleo Diesel	0,03413 Kg	Calculado	Primário

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Para mensuração dos dados acima, foram utilizados dados primários (coletados *in loco*) dos insumos do processo produtivo: leite, ácido, água, energia e óleo diesel foram convertidos em UF, todas as entradas foram divididas por unidade FPCM/kg para as respectivas unidades. Para transparência dos dados, foram utilizados os valores coletados de cada máquina e equipamento, como as

etapas do processamento, para evitar possíveis erros nas análises obtidas, no intuito de se obter transparência e credibilidade nos resultados.

Para a avaliação do impacto ambiental foi utilizado o software Simapro 9.2.0.2 (*Pré Sustainability*, 2023). O software tem a opção de utilizar dados primários ou secundários realizados em outros estudos (ICV) e disponíveis no banco de dados. O software Simapro 9.2.0.2 modela diferentes categorias de impactos de acordo com o método utilizado, cada método é associado a um fator de conversão que converte as emissões em impactos ambientais.

O método utilizado neste estudo foi o (ReCiPe Midpoint (H) V1.12 / World Recipe H), modelo hierárquico (H). ReCiPe é uma atualização do método CML. Este método foi escolhido devido às vantagens da categoria de ponto médio e os mecanismos de impacto. Tal método possibilita associar a emissões aos indicadores de impacto ambiental. Para mensurar os processos selecionados no Simapro 9.2.0.2 foi elaborada uma tabela com os processos significativos no ciclo de vida no processamento do queijo mussarela (TABELA 7).

Tabela 7: Insumos selecionados no software SimaPro 9.2.0.2 referentes aos impactos no processamento de 1 kg de queijo mussarela embalado corrigido pelo FPCM.

Item	Processo	Base de dados
Leite Cru	Raw milk, at dairy farm/BR	Ecoinvent 3.7
Ácido Láctico	Lactic acid {GLO} market for Alloc Rec, S	Ecoinvent 3.7
Cloreto de sódio	Sodium chloride, powder {GLO} market for Alloc Rec, S	Ecoinvent 3.7
Água	Tap water {GLO} market group for Alloc Rec, U	Ecoinvent 3.7
Cloreto de Cálcio	Calcium chloride {GLO} market for Alloc Rec, S	Ecoinvent 3.7
Ácido Nítrico	Nitric acid, in water (60% HNO ₃) (NPK 13.2-0-0), at plant/RER Mass	Ecoinvent 3.7
Hipoclorito de Sódio	Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {GLO} market for Alloc Rec, S	Ecoinvent 3.7
Detergente	Soap {GLO} market for Alloc Rec, S	Ecoinvent 3.7
Eletricidade	Electricity, medium voltage {GLO} market group for Alloc Rec, U	Ecoinvent 3.7
Energia Térmica	Calor, distrital ou industrial, exceto gás natural {GLO} produção de calor, cavacos de madeira pós-consumo, em forno 300kW Alloc Rec, S	Ecoinvent 3.7
Embalagem Plástica	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Alloc Rec, S	Ecoinvent 3.7
Óleo Diesel	Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} transport, freight, lorry, all sizes, EURO4 to generic market for Alloc Rec, S	Ecoinvent 3.7

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da base de dados Ecoinvent 3.7 (2023).

O item Coalho não foi considerado em função da pouca ou quase nenhuma representatividade de impacto.

Em relação as categorias de impacto ambiental, foram selecionadas quatro categorias de impacto: mudanças climáticas, acidificação terrestre, eutrofização de água doce e demanda de energia acumulada conforme dispostas na (TABELA 8). A escolha das categorias de impacto se deu em função do levantamento de informações na parte da revisão de literatura e por conta do consumo significativo de água e energia no processo produtivo em estudo.

Tabela 8: Categorias de impacto selecionadas para a avaliação ambiental na produção de queijo mussarela.

Categoria de Impacto	Descrição	Fator de Caracterização
Mudanças Climáticas	Mudanças ao longo do tempo, como a temperatura da camada de ar e os oceanos perto da superfície da terra e sua precipitação, causas de nebulosidade e outros fenômenos climáticos causados pela ação antrópica.	Kg CO ₂ eq
Acidificação Terrestre	Desequilíbrio químico, resultante da redução (pH) do solo, devido à emissão de nitrogênio (N) e enxofre (S) para a atmosfera.	Kg SO ₂ eq
Eutrofização de água doce	Presença de grande quantidade de nutrientes, de fósforo (P), em massa de água doce, com elevado aumento da biomassa e redução do nível de oxigênio.	Kg PO ₄ eq
Demanda de energia acumulada	Contabiliza toda a energia utilizada como energia primária, energia encontrada na natureza que não passou por um processo de transformação, como o petróleo, que é extraído e convertido em energia secundária, como a eletricidade ou o óleo combustível.	MJeq/Kg

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para análise do ICV (Inventário do Ciclo de Vida) deste estudo foram analisadas as etapas de classificação e caracterização, consideradas obrigatórias na realização de ACV, conforme as normas da ISO (2006). As demais etapas: normalização, agrupamento, ponderação e avaliação não foram incluídas, visto que os dados contidos nas mesmas não agregam valor em relação ao objetivo do estudo. Em relação as etapas de classificação de caracterização foram selecionadas quatro categorias de impacto: mudanças climáticas, acidificação terrestre, eutrofização de água doce e demanda de energia acumulada. A Tabela 9 apresenta os impactos ambientais globais de todo o ciclo de vida referente à produção de 1 Kg de queijo mussarela processado corrigido pelo FPCM.

Tabela 9: Resultados da Avaliação Ambiental na industrialização de 1Kg de queijo mussarela.

Categoria de Impacto	Unidade	Queijo mussarela processado
Mudanças Climáticas	Kg de CO ₂ eq	10,07
Acidificação Terrestre	Kg SO ₂ eq	0,11

Eutrofização de água doce	Kg PO ₄ eq	0,01
Demanda de energia acumulada	MJeq/Kg	18,88

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da base de dados Ecoinvent 3.7 (2023).

Note-se, pelos resultados apresentados que as categorias mudanças climáticas (10,07 Kg de CO₂ eq) e demanda de energia acumulada (18,88 Kg MJ eq) são as categorias de impacto com maiores contribuições em valores absolutos, em função dos impactos na exploração leiteira e a geração e distribuição de energia e uso da água, visto que a energia elétrica utilizada no processo é de origem de usinas hidrelétricas, como também a energia térmica de origem de queima de lenha.

Com o objetivo de demonstrar a contribuição relativa de cada item nas categorias de impacto foi elaborada a Tabela 10. Nota-se de forma global que os processos para a produção de leite são indubitavelmente o principal fator de contribuição para impacto ambiental da produção de queijo mussarela no presente estudo.

Tabela 10: Contribuições CC, AT, ET, CED no processamento do queijo mussarela.

Item	CC	AT	ET	CED
Leite Cru	9,8499	0,1069	0,0136	13,5493
Ácido Láctico	0,0392	0,0001	1,11E-05	0,8175
Cloreto de sódio	0,0104	6E-05	7,28E-06	0,1539
Água	0,0042	1,94E-05	2,28E-06	0,0655
Cloreto de Cálcio	0,0027	2,51E-05	1,29E-06	0,0335
Ácido Nítrico	0,0073	7,06E-07	4,99E-09	0,0247
Hipoclorito de Sódio	0,0024	1,25E-05	1,42E-06	0,0372
Detergente	0,0165	3,97E-05	2,12E-06	0,2415
Eletricidade	0,0366	0,0001	1,06E-05	1,1753
Energia Térmica	0,0001	4,54E-06	1,09E-07	0,0480
Embalagem Plástica	0,0674	0,0002	8,48E-06	2,2170
Óleo Diesel	0,0311	0,0001	2,66E-06	0,5178
Total	10,0678	0,1076	0,0137	18,8812

CC – Mudanças Climáticas; AT – Acidificação Terrestre; ET – Eutrofização de água doce; CED- Demanda de Energia Acumulada.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da base de dados Ecoinvent 3.7 (2023).

Na Tabela 11 são apresentados os percentuais de contribuição de impacto de cada insumo de produção nas categorias de mudanças climáticas, acidificação terrestre, eutrofização de água doce e demanda de energia acumulada.

Tabela 11: Percentuais de contribuição de impacto de cada insumo de produção nas categorias CC, AT, ET, CED no processamento do queijo mussarela.

Item	CC	AT	ET	CED
Leite Cru	97,84%	99,35%	99,27%	71,76%
Ácido Láctico	0,39%	0,09%	0,08%	4,33%
Cloreto de sódio	0,10%	0,06%	0,05%	0,82%

Água	0,04%	0,02%	0,02%	0,35%
Cloreto de Cálcio	0,03%	0,02%	0,01%	0,18%
Ácido Nítrico	0,07%	0,00%	0,00%	0,13%
Hipoclorito de Sódio	0,02%	0,01%	0,01%	0,20%
Detergente	0,16%	0,04%	0,02%	1,28%
Elettricidade	0,36%	0,09%	0,08%	6,22%
Energia Térmica	0,00%	0,00%	0,00%	0,25%
Embalagem Plástica	0,67%	0,19%	0,06%	11,74%
Óleo Diesel	0,31%	0,09%	0,02%	2,74%
Total	100%	100%	100%	100%

CC – Mudanças Climáticas; AT – Acidificação Terrestre; ET – Eutrofização de água doce; CED- Demanda de Energia Acumulada.

Fonte: Dados da pesquisa (elaborado pelo autor).

Em relação a categoria de mudanças climáticas os itens com maiores contribuições foram leite cru com 97,84% e embalagem plástica com 0,67%, já na categoria acidificação terrestre os itens leite cru com 99,35% e embalagem plástica com 0,19% na categoria eutrofização de água doce o item leite cru contribui com 99,27% o que representou quase a totalidade da categoria, em relação a categoria demanda de energia acumulada os itens que mais contribuíram foram: leite cru com 71,76%, embalagem plástica com 11,74%, eletricidade com 6,22% e ácido láctico com 4,33%.

4.2 Análise das mudanças climáticas

Na categoria de impacto mudanças climáticas a produção de queijo mussarela por UF foi responsável por 10,07 Kg de CO₂ eq. É possível verificar na Figura 17, os itens que mais contribuíram para estas emissões foram o leite cru com 97,84% o que faz desse item o maior poluente em função da exploração leiteira para sua produção, em seguida a embalagem plástica com 0,67%, sendo os demais itens que compõem o processo apresentaram contribuições irrelevantes.

No processo de produção de leite cru estão incluídos todos os processos de inerentes às culturas de exploração de leiteira como: fabricação de rações, emissões dos dejetos e da fermentação entérica dos animais, conforme os estudos apresentados por Haas; Wetterich; Köpke (2001); Cederberg; Mattsson (2002); Eide (2002); De Boer (2003); Cederberg; Stadig (2003) Hospido et al. (2003); De Boer (2005); Hospido; Sonesson (2005); Castanheira (2008); Thomassen et al. (2008); Thomassen; Fantin et al. (2012); Doublet et al. (2013);

González-García et al. (2013c); Nguyen et al. (2013); Guerci et al. (2013); Thoma et al. (2013b).

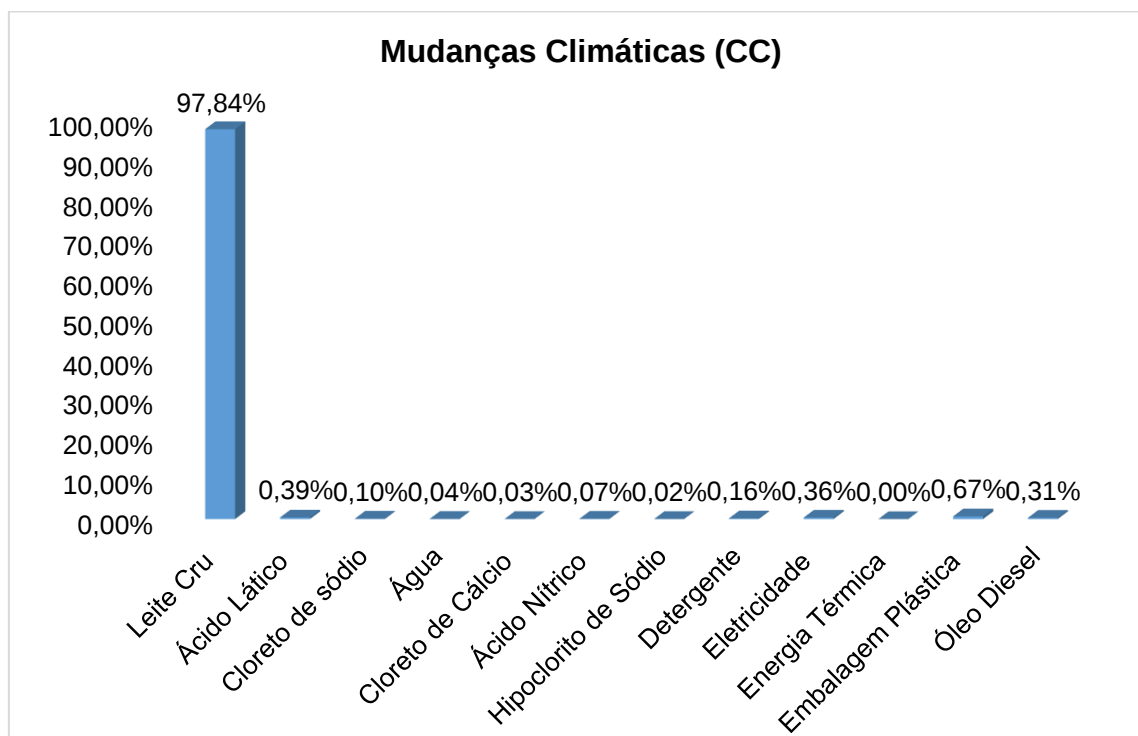


Figura 17: Processos de inventário com maiores emissões de kg CO₂ eq.

Fonte: Dados da pesquisa (elaborador pelo autor).

4.3 Análise da acidificação terrestre

Referente a categoria acidificação terrestre na produção de queijo mussarela por UF foi responsável por 0,11 Kg SO₂ eq. Na Figura 18 os itens que mais contribuíram foram o leite cru com 99,35%, seguido pela eletricidade embalagem plástica com 0,19%, os demais itens com contribuições irrelevantes.

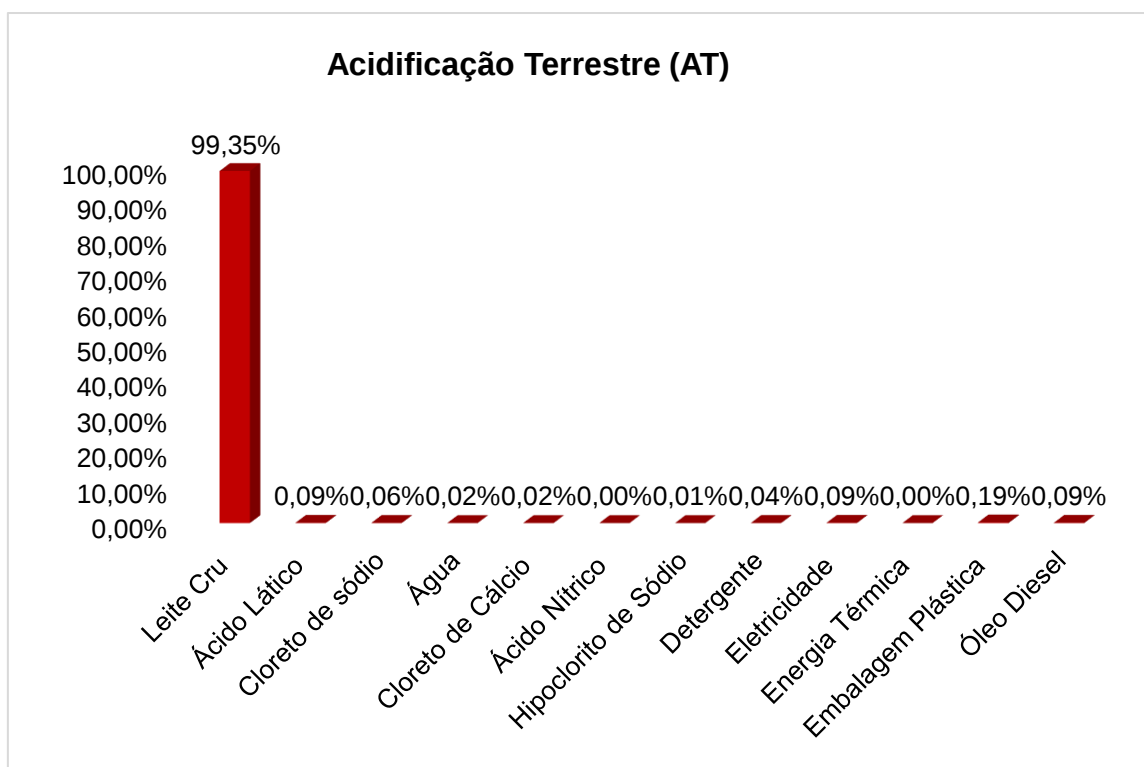


Figura 18: Processos de inventário com maiores emissões de Kg SO₂ eq.

Fonte: Dados da pesquisa (elaborador pelo autor).

4.4 Análise da eutrofização de água doce

A categoria eutrofização de água doce, foi responsável por 0,01 Kg PO₄ eq, sendo os itens leite cru com 99,27% das emissões totais, os demais itens não contribuíram de forma significativa, conforme a Figura 19.

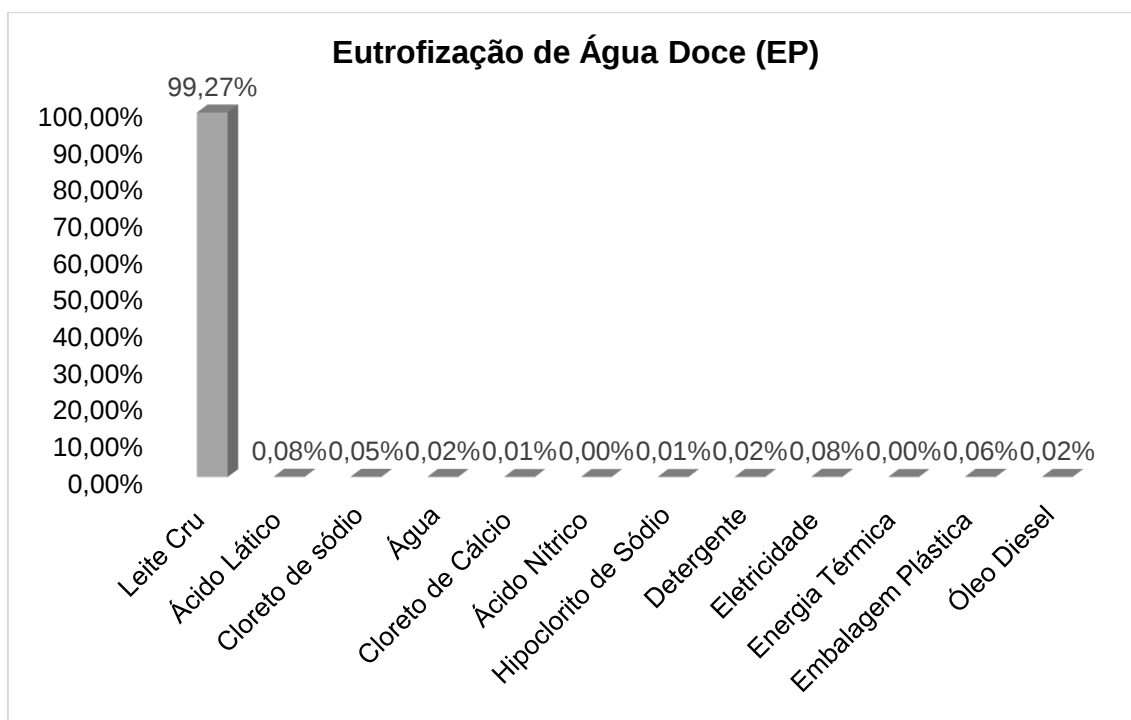


Figura 19: Processos de inventário com maiores emissões de Kg PO₄ eq.

Fonte: Dados da pesquisa (elaborador pelo autor).

4.5 Análise da demanda de energia acumulada

A categoria demanda de energia acumulada foi responsável 18,88 MJeq/Kg de queijo mussarela, os itens mais significativos para tal resultado foram: leite cru com 71,76%, embalagem plástica com 11,74%, eletricidade com 6,22%, ácido láctico com 4,33% e óleo diesel com 2,74%, conforme exposto na Figura 20.

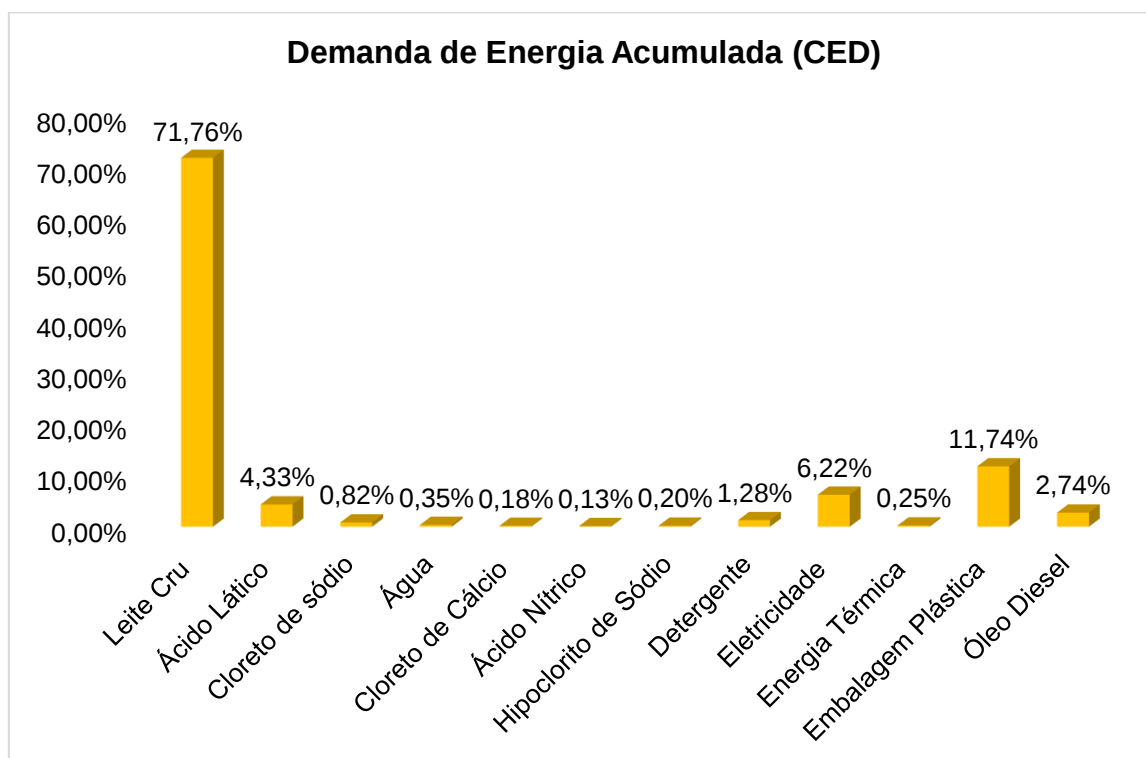


Figura 20: Processos de inventário com maiores emissões de MJeq/Kg.

Fonte: Dados da pesquisa (elaborador pelo autor).

4.6. Análise de resultados obtidos com estudos semelhantes

Existem diversos estudos de ACV voltados para produtos lácteos, em específico para a produção de queijos, no entanto com realidades diferentes do presente estudo. Essa seção é dedicada a discussão e análises de resultados de variados estudos em diversas partes do globo, tais fontes já foram levantadas no Quadro 1 de revisão da literatura, porém, para melhor análise de resultados a preferência foi dada para estudos que utilizaram o método (ReCiPe Midpoint), limitando as fronteiras portão a portão (*gate-to-gate*) e do berço ao portão (*cradle-to-gate*) com resultados para os mesmos parâmetros do presente estudo:

mudanças climáticas, acidificação terrestre, eutrofização de água doce e demanda de energia acumulada.

4.6.1 Mudanças Climáticas

Em termos de contribuições para as mudanças climáticas, Kramer et al. (2014) apontaram que a média dos estudos efetuados apresentam contribuição por parte da exploração leiteira entre 75 a 99% de CO₂eq, sendo a fase que mais contribui para emissões, quando se trata de processamento de produtos lácteos, no estudo apresentado pelos autores, a contribuição foi 86% na Holanda.

Em estudo apresentado por Nunes et al. (2020) em Portugal, a exploração leiteira apresentou contribuição de 93% referente a produção de leite de ovelha e cabra. Já dados apresentados por Dalla Riva et al. (2017) sobre produção de mussarela na Itália a contribuição foi de 83%, valor similar ao apresentado no estudo Kim et al. (2013) sobre mussarela realizado nos Estados Unidos de 85%.

Os dados apresentados sobre produção de queijo semiduro por Berlin et al. (2002) na Suécia as contribuições foram de 94%, valor similar ao apresentado por Van Middelaar et al. (2011) na Holanda de 92% referente a exploração leiteira. Estudos apresentados por González-García et al. (2013b) referente a produção de queijo galego em Portugal a contribuição foi de 89%, já dados apresentados por Cortesi et al. (2022) sobre a produção de diferentes queijos artesanais produzidos na França contribuição foi de 97%.

Já em estudo apresentado por Santos Jr. et al. (2017) a contribuição da exploração leiteira foi de 97% numa de análise similar ao presente estudo, visto que a pesquisa foi realizada no estado da Bahia num laticínio de pequeno porte, que contempla a realidade brasileira no que refere as condições climáticas, de pastagens, de manejo e do tamanho e características das propriedades, visto que no estudo, a coleta do leite cru foi realizada em pequenas propriedades, tal situação similar no presente estudo, com as mesmas características e com contribuição da exploração leiteira em 98%.

Nota-se que em todos os estudos há uma similaridade conforme Figura 21, visto que independentemente do tipo de processo produtivo, produto ou mesmo região do globo a exploração leiteira é que mais contribui para as mudanças climáticas.

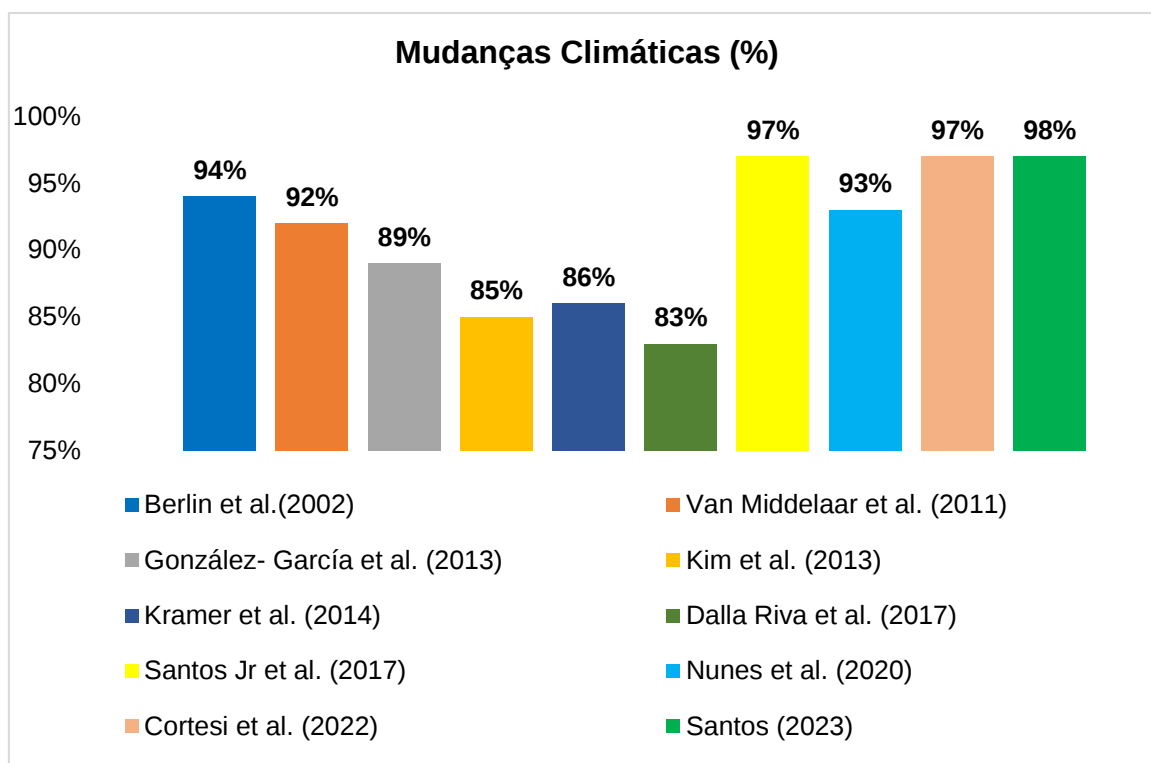


Figura 21: Comparação de (%) das Mudanças Climáticas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Figura 22 é possível verificar os valores das emissões de alguns estudos realizados sobre processamento de queijo. O presente estudo apresentou emissão de 10,07 Kg de CO₂ eq. por UF para mudanças climáticas, valores abaixo da média de alguns estudos já realizados como os de: González- García et al. (2013) com emissão de 10,44 Kg de CO₂ eq. por UF, Santos Jr et al. (2017) 14,45 Kg de CO₂ eq. por UF, Nunes et al. (2020) 14,96 Kg de CO₂ eq. por UF e Cortesi et al. (2022) 13,45 Kg de CO₂ eq. por UF. Com valores similares aos apresentados por Berlin et al. (2002) 8,80 Kg de CO₂ eq. por UF, Van Middelaar et al. (2011) 8,50 Kg de CO₂ eq. por UF e Kramer et al. (2014) 8,70 Kg de CO₂ eq. por UF e acima dos apresentados por Kim et al. (2013) 7,28 Kg de CO₂ eq. por UF e Dalla Riva et al. (2017) 6,89 Kg de CO₂ eq. por UF que apresentou os menores valores de emissões relacionadas às mudanças climáticas.

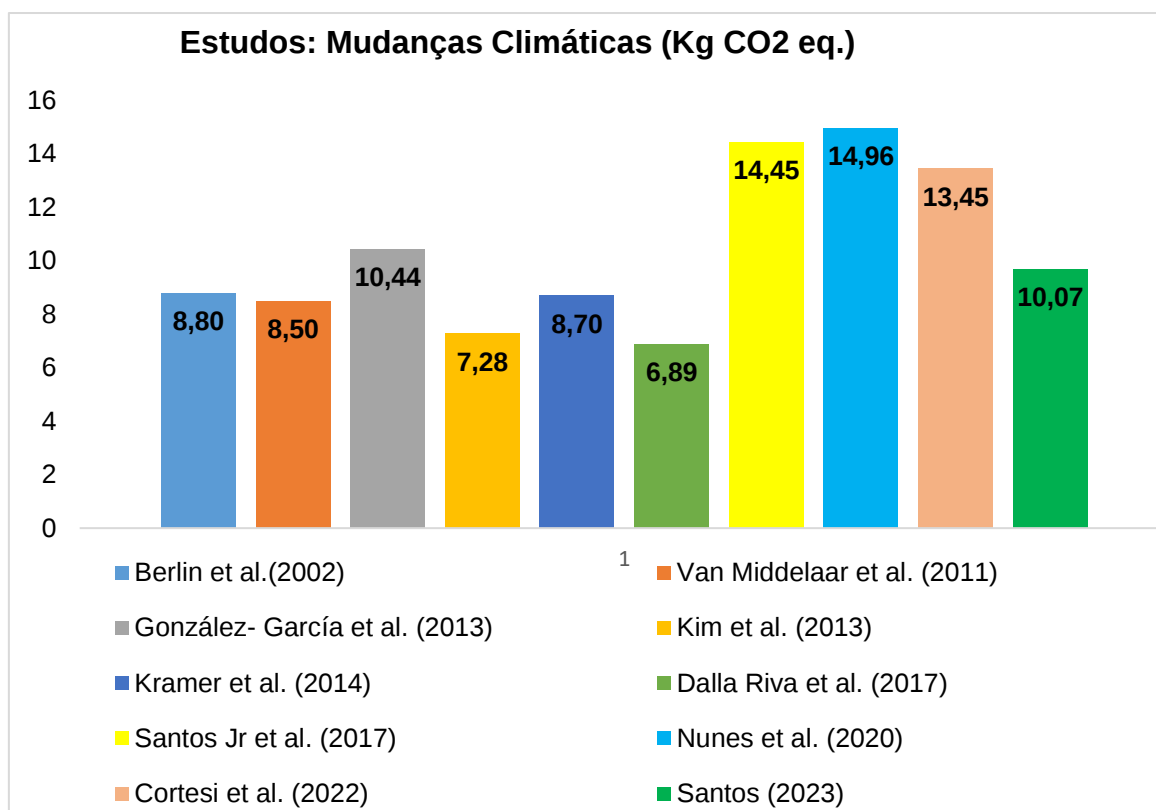


Figura 22: Comparação de resultados de Alterações Climáticas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.6.2 Acidificação Terrestre

No que refere a categoria de acidificação terrestre a exploração leiteira possui maior participação, conforme os estudos de Berlin et al. (2002) com peso total de 99,26%, valor similar aos encontrados por Santos Jr et al. (2017) de 99%, concomitante ao valor encontrado neste estudo de 98,35%. Em termos de comparação, o presente estudo apresenta valores similares aos estudos apresentados por Kramer et al. (2014) de 97%, Nunes et al. (2020) de 96% e Dalla Riva et al. (2017) com 95% de contribuição. Já os estudos de González-García et al. (2013b) com 89% González-García et al. (2013d) com 91% e Cerbasi et al. (2022) 92%, apresentaram contribuições inferiores, porém, com participação expressiva, visto que em todos os estudos as contribuições da exploração leiteira ficaram com média a 90% de participação na categoria acidificação.

Tais percentuais da produção animal justificados pelo estrume e chorume e os fertilizantes aplicados nas culturas forrageiras. O estudo de Kramer et al. (2014) demonstra que cerca de 65% das emissões provêm da gestão de estrume

e cerca de 33% referente aos fertilizantes de culturas utilizadas para alimentação animal.

Na Figura 23 é possível observar a similaridade dos estudos apresentados, no intuito de comparar os resultados e entender os efeitos da exploração leiteira dentro e fora da porteira, visto que seus efeitos vão até o processamento de diversos tipos de queijos, seja no Brasil ou no exterior, isso denota a importância de se diminuir os impactos antes, durante e após o sistema produtivo.

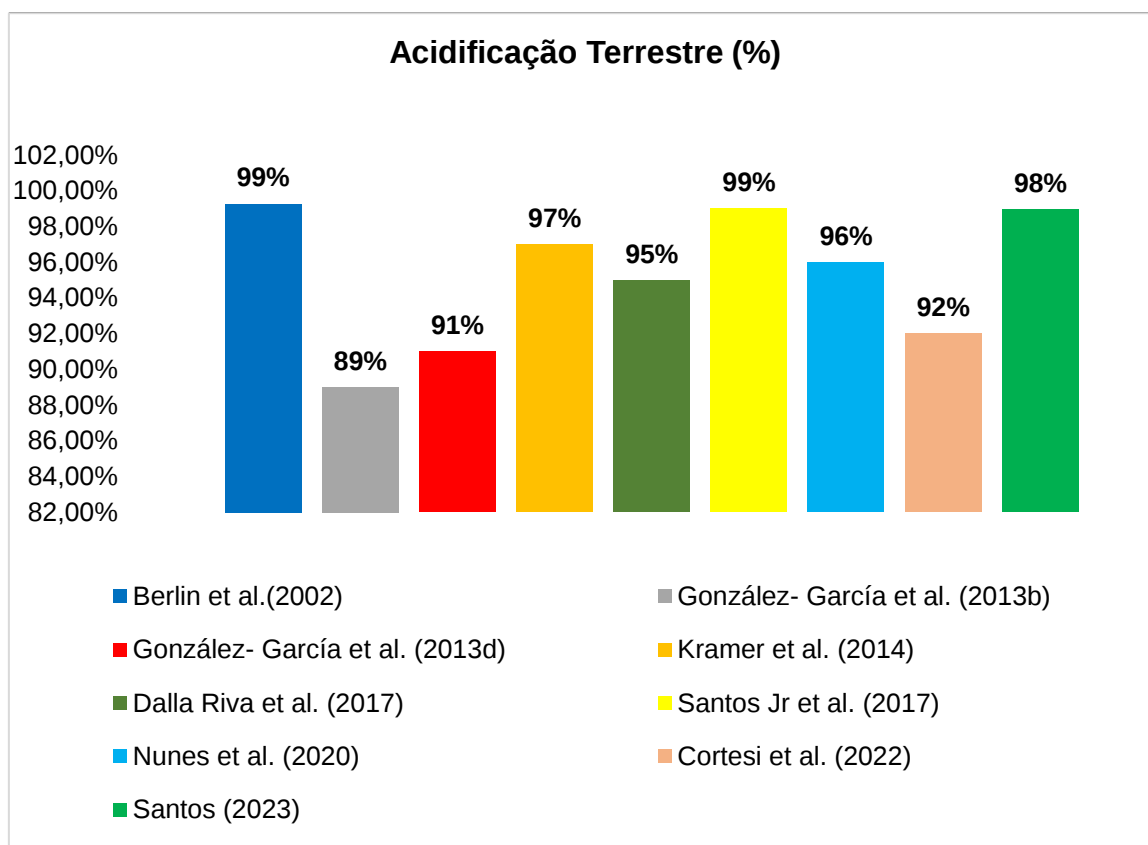


Figura 23: Comparação de (%) Acidificação Terrestre.
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Figura 24 são apresentados os resultados das contribuições da exploração leiteira na categoria acidificação terrestre. O presente estudo apresentou 0,11 Kg de SO₂ eq. por UF, valor similar aos apresentados nos estudos González-García et al. (2013b) de 0,11 Kg de SO₂ eq., Cerbasi et al. (2022) 0,12 Kg de SO₂ eq., Nunes et al. (2020) 0,09 Kg de SO₂ eq., valor inferior em cerca de 50% aos apresentados nos estudos de Santos Jr et al. (2017) de 0,20 Kg de SO₂ eq., Kramer et al. (2014) de 0,19 Kg de SO₂ eq., González-García et al. (2013d) 0,18 Kg de SO₂ eq. Já os resultados apresentados por Berlin et al. (2002) 0,14 Kg de SO₂ eq., foram de 33% superiores aos resultados encontrados

no presente estudo, os resultados apresentados por Dalla Riva et al (2017), foram insignificantes para serem discutidos.

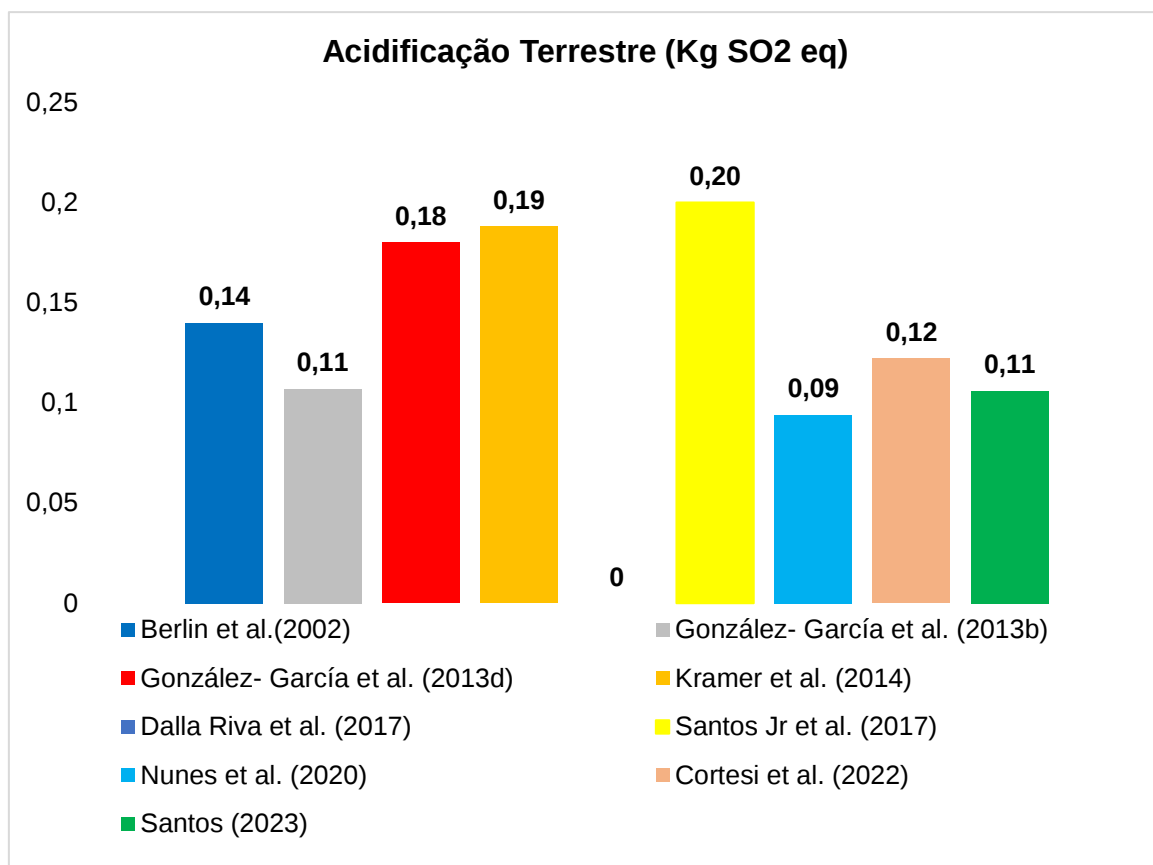


Figura 24: Comparação de resultados Acidificação Terrestre.
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.6.3 Eutrofização de Água Doce

Referente a categoria de eutrofização de água doce é importante salientar que poderão existir diferenças significativas nos resultados, quando há inclusão do soro da queijaria nas fronteiras do sistema de produção analisado, neste estudo especificamente o soro não foi incluído na fronteira, em função do seu aproveitamento como alimentação para os animais, coletado pelos produtores locais, com uso similar ao estudo apresentado por (NIGRI et al., 2014).

Neste sentido o estudo apresentado Santos Jr et al. (2017), elaborado nas mesmas condições deste estudo, ou seja, o soro não foi considerado como águas residuais, pois também é transportado para explorações vizinhas para utilização como alimentação animal e, portanto, não considerado no estudo, visto que 99% das emissões relacionadas a eutrofização de água doce foram oriundas da exploração leiteira. Resultados similares aos encontrados por Berlin et al. (2002)

99%, sendo os fatores que contribuíram para tal percentual foram as emissões de amônia e nitrato, visto que a amônia evaporou do estrume dos animais e o nitrato foi lixiviado no solo, tal processo depende de como o esterco é distribuído nas pastagens, o manejo do solo e da quantidade de fertilizantes utilizada.

Nunes et al. (2020), apresentou percentual de 99% da base de dados integrada no cultivo das culturas analisadas no estudo, a fertilização orgânica e química foram responsáveis por 94% das emissões totais, o restante foi oriundo da fermentação entérica e dejetos dos animais. Dalla Riva et al. (2017) 99% e em Cortesi et al. (2022) 99%, as contribuições foram oriundas dos cultivos da soja e milho, ingredientes para rações concentradas, pesticidas para produção de ração, metais pesados contidos nos fertilizantes, resultados semelhantes aos apresentados por Eide (2002) e Ledgard et al. (2016).

O presente estudo também apresentou o mesmo percentual de 99%, não sendo possível apontar os fatores que contribuíram para tal resultado, em função que as fronteiras de análise foi o processamento do queijo.

Estudos apresentados por González-García et al. (2013b) com 89%, González-García et al. (2013d) com 86%, as contribuições oriundas da produção de ração (forragens), fermentação entérica, emissões de amônia dos estrumes e a combustão proveniente das máquinas agrícolas. Dados apresentados por Kramer et al. (2014) com 85%, neste caso específico foi apontado que a fertilização química foi responsável por aproximadamente 88% das emissões totais na exploração leiteira e cerca de 10% relacionados a fertilização por meio de estrumes. Dados apresentados por Kim et al. (2013) com percentual de 86%, com as emissões resultantes do metano entérico, manejo de estrumes, escoamento e fosfato e nitrogênio e pesticidas utilizadas nas pastagens, nota-se que a média de percentual foi similar em todos os estudos, com algumas variações em função das metodologias apresentadas nos estudos conforme apresentado na Figura 25.

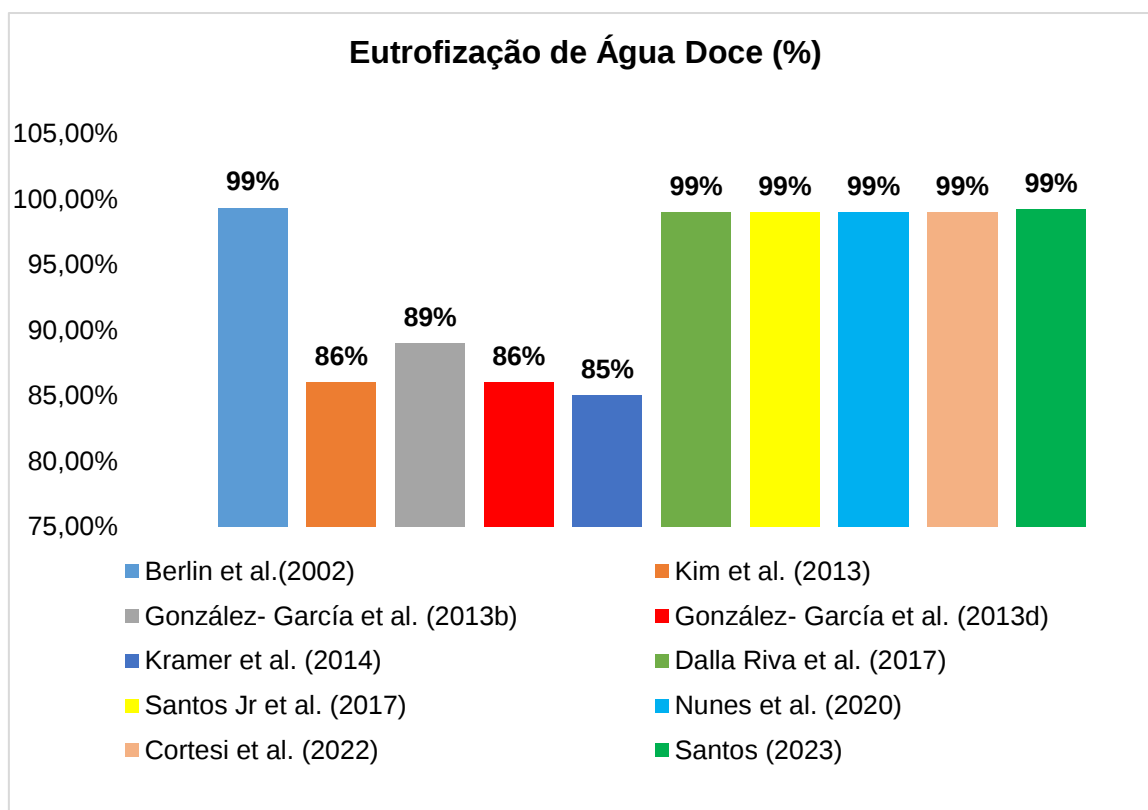


Figura 25: Comparação (%) Eutrofização de Água Doce.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Figura 26 é possível observar que o presente estudo apresentou valores total de emissão de 0,01 Kg PO₄ eq, valores similares aos encontrados por Santos Jr et al. (2017) 0,02 Kg PO₄ eq, González-García et al. (2013b) 0,06 Kg PO₄ eq e González- García et al. (2013d) 0,06 Kg PO₄ eq. Já os resultados obtidos nos estudos de Kramer et al. (2014) 0.00035 Kg PO₄ eq e Nunes et al. (2020) 0,0023 Kg PO₄ eq e Dalla Riva et al. (2017) 1.14E-03 Kg PO₄ eq, foram abaixo dos encontrados no presente estudo.

Os resultados apresentados nos estudos por Berlin et al. (2002) 2,13 Kg PO₄ eq, Cortesi et al. (2022) 0,45 Kg PO₄ eq, Kim et al. (2013) 7,84 Kg PO₄ eq foram acima dos resultados encontrados no presente estudo (provocada escoamento de fósforo nos campos agrícolas e emissões de águas residuais no processamento do soro), visto que é importante salientar que tais diferenças são observadas em função dos métodos utilizados em cada estudo e as fronteiras dos sistemas analisados.

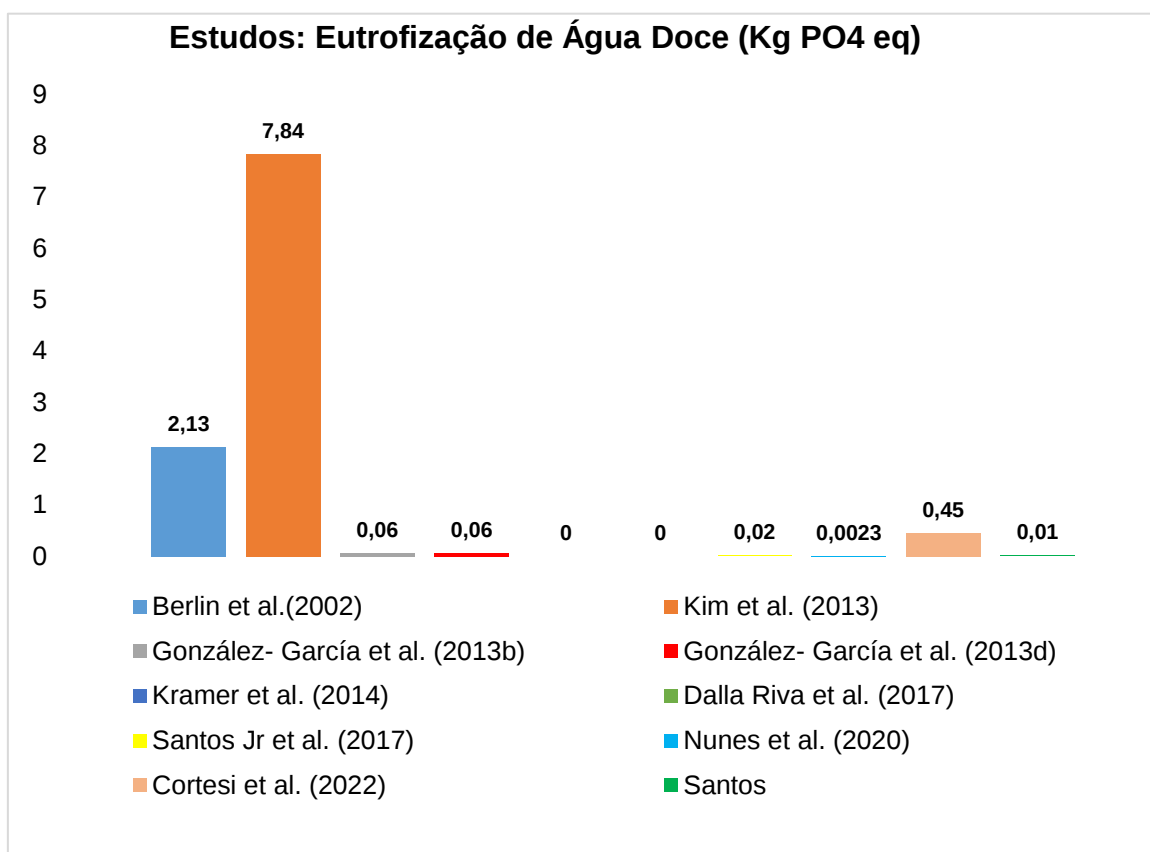


Figura 26: Comparação de resultados Eutrofização de Água Doce.
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.6.4 Demanda de Energia Acumulada

A categoria demanda de energia acumulada (CED), foram feitas alterações significativas para discussão de resultados, visto que apenas quatros autores dos estudos levantados no Quadro 1, realizaram estudos utilizando a categoria de impacto, para que a discussão fosse realizada, optou-se por autores já citados em outras categorias, para o devido alinhamento da discussão.

Para compor a participação do leite cru na categoria demanda de energia acumulada (CED), foram utilizados dados apresentados por DE LÉIS et al. (2013), oriundos de estudos de desempenho ambiental de três sistemas de produção de leite no sul do Brasil, o valor de referência de 13,63 MJeq/Kg do sistema semi confinado, aproximadamente 98% dos impactos relacionados à demanda energética foram relacionados à alimentação animal, a produção de bagaço de cevada foi responsável por 61%, a produção de silagem 22%, a produção de ração 10%, pastagens, 3% e outros insumos, 4%. Tal referência foi utilizada, visto

que tal sistema é similar ao utilizado pelos produtores de leite que fornecem para o laticínio, objeto deste estudo.

Na categoria demanda de energia acumulada (CED), o valor encontrado no estudo foi 18,88 MJeq/Kg, sendo os itens que contribuíram para a categoria foram leite cru com 71,76% embalagem plástica com 11,74%, eletricidade com 6,22%, valores similares dos estudos de González-García et al. (2013b) com 23,88 MJeq/Kg, os itens que contribuíram para tal resultados foram a exploração leiteira com 63% e produção de óleo combustível e sua combustão na caldeira com 26%.

Os estudos de Dalla Riva et al. (2017) apresentaram valores superiores em relação ao estudo, com 35,07 MJeq/Kg, os autores não detalharam os itens que compuseram tal resultados, somente apontaram que as atividades pós-portaria do laticínio contribuíram como 50% e o uso da energia, embalagem e atividades de transporte contribuíram com 35%, tais resultados comungam com os resultados González- García et al. (2013d) com 37,63 MJeq/Kg, sendo que o resultado foi afetado pelas contribuições das necessidades energéticas (eletricidade da rede, óleo combustível) com 74%, visto que ambos são originários de fonte não renováveis, já o transporte do queijo contribuiu com 7%.

Já os resultados de Kim et al. (2013) com, 8,83 MJeq/Kg, valor abaixo dos demais estudos apresentados, tais autores não detalharam os percentuais que compuseram os resultados, somente elencaram que os itens: eletricidade, embalagens plásticas e transporte do queijo foram os itens de maior impacto. Os resultados foram sintetizados na Figura 27.

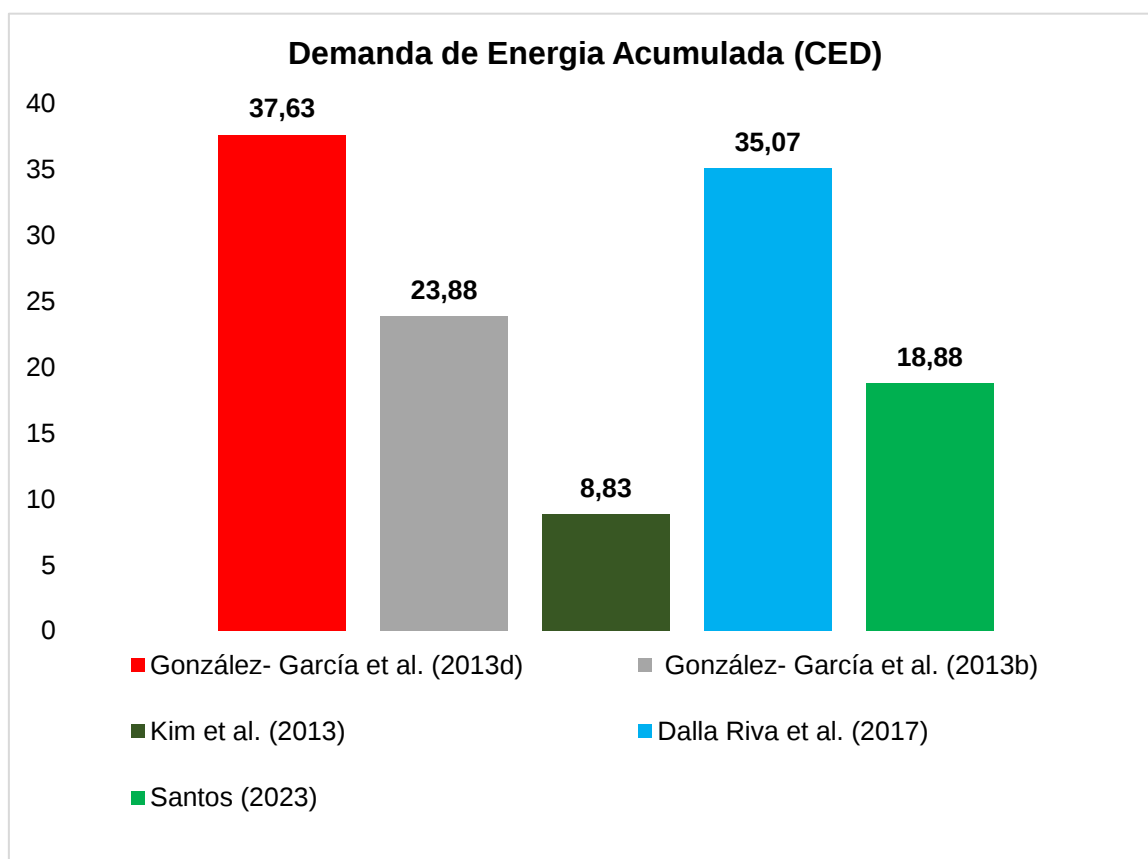


Figura 27: Comparação de resultados Demanda de Energia Acumulada.
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.6.5 Considerações sobre as categorias de impacto

No que diz respeito às mudanças climáticas o presente estudo apresentou resultados similares aos demais estudos já elaborados em outras partes do globo com percentuais entre 75% a 99% referentes à exploração leiteira, visto é a fase que mais contribui para as emissões, em termos de valores das emissões o estudo está na média em comparação a outros estudos discutidos e apresentados no tópico 5.6.1.

Na categoria acidificação terrestre os resultados foram abaixo da média da maioria dos estudos analisados, tais emissões são influenciadas pela gestão dos estrumes na exploração leiteira, fabricação de rações e fertilização do solo, é notável o peso da exploração leiteira na composição do impacto, visto que o percentual médio apresentado em todos os estudos analisados foi de 95%, com emissão média de 0,118 Kg de SO₂ eq. por UF.

Relativo à eutrofização de água doce, apesar de não ter incluído os efluentes do laticínio na sua fronteira, o resultado final foi semelhante aos outros estudos foram incluídos ou descartados. Quanto a categoria demanda acumulada

de energia houve diferenças significativas em função do local onde os estudos foram realizados, visto que tais discrepâncias dependem a origem das fontes de energia de cada estudo, no caso específico do estudo foram relacionados ao uso da fonte de energia para produção da alimentação animal: produção de bagaço de cevada, produção de silagem e ração.

Considerando que os processos que ocorrem nas explorações leiteiras são de longe os mais poluentes de todas as categorias de impacto, pode-se concluir que mais importante do que analisar os produtos é a avaliação do ciclo de vida das mais diversas culturas alimentares das dietas dos animais, para que os produtores possam tomar decisões com maior consciência para minimizar os impactos ambientais.

Medidas de mitigação de impactos que podem ser incentivadas (empreendidas) pelo laticínio no intuito de diminuir o impacto ambiental dentro propriedades fornecedoras de leite, com a criação de um cargo ou mesmo um departamento com a disponibilização de um profissional com conhecimento técnico para orientar os produtores na implementação melhorias como: mudanças no manejo dos animais, implementação de rotação das forrageiras (entrada e saída dos animais no pastejo) para obter melhora qualidade nutricional das forrageiras, melhoria no sistema de adubação, melhor conservação do solo, melhoria genética do rebanho (mesma quantidade de animais, porém, com maior produtividade), uso racional de água e energia, bem-estar animal, criação de bonificação no valor do leite para produtores que utilizam a energia fotovoltaica em seus processos produtivos que pode contribuir para diminuição das emissões totais. Tais melhorias podem proporcionar ganhos econômicos nos processos e produtos e isso deve ser utilizado no marketing institucional para promover seu portfólio de produtos.

Observa-se que a contribuição das emissões do laticínio é relativamente baixa em escala global, cenários alternativos para implementação de painéis fotovoltaicos podem contribuir para redução dos impactos no médio e longo prazo.

CAPÍTULO 5

5. Viabilidade econômica da implementação de painéis de energia solar fotovoltaica

Através das análises dos resultados apresentados na (TABELA 11), foi possível observar que a participação do leite cru (exploração leiteira) foi representativa em todas as categorias, CC (97,84%), AT (99,35%), ET (99,27%) e CED (71,76%), porém, observando o objetivo do estudo, que é análise do sistema de produção (laticínio), tal variável é exógena e não controlável pela empresa, no sentido de mitigação de seus impactos ambientais, visto que a exploração leiteira é controlada por sua cadeia de fornecedores.

Nesse sentido a contribuição da eletricidade na categoria CED foi de 6,26%, nas mudanças climáticas de 0,36%, acidificação terrestre 0,09% e eutrofização de água doce de 0,08%, totalizando 6,79% em todas as categorias analisadas. Sendo uma decisão da empresa a mudança da matriz energética de fonte oriunda de hidrelétricas para a energia solar fotovoltaica, há duas vantagens na substituição: a diminuição do impacto ambiental e os ganhos com redução de gastos com energia no sistema de produção. Na tabela 12 é apresentado o comparativo de geração de impacto da energia elétrica gerada por hidrelétrica e a energia solar fotovoltaica.

Tabela 12: Comparação de impacto entre energia elétrica (hidrelétrica) X energia elétrica (fotovoltaica).

Categoria de Impacto	Unidade	Energia Elétrica (hidrelétrica)	Energia Elétrica (fotovoltaica)	Diferença	Percentual
Mudanças Climáticas	Kg de CO2 eq	10,0678	10,0452	0,0226	0,22%
Acidificação Terrestre	Kg SO2 eq	0,1076	0,1075	5,20726E-05	0,01%
Eutrofização de água doce	Kg PO4 eq	0,0137	0,0137	-1,93465E-06	0,00%
Demanda de energia acumulada	MJeq/Kg	18,8812	18,6609	0,2203	1,17%

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da base de dados Ecoinvent 3.7 (2023).

É possível observar na comparação que a categoria demanda de energia acumulada o percentual foi maior com 1,17% de redução de impacto, nas demais categorias a redução foi pouco significativa.

No laticínio analisado são utilizadas duas fontes de energia distintas: eletricidade e energia térmica. A primeira é para todos os departamentos, ou seja,

todos os equipamentos que suportam a produção do queijo mussarela, três tanques de expansão, uma desnatadeira, um pasteurizador, três bombas de água quente e fria, compressores, uma queijomatic, dreno prensa, filadeira de mussarela, moldadeira de massas, exaustores de parede, câmara fria de salga e secagem, bombas para captação de água e sistema de refrigeração de forma geral.

As fontes de geração de energia continuam a evoluir, principalmente na mitigação de impactos ambientais. Dentre os diferentes tipos de energia renovável, a energia solar fotovoltaica vem evoluindo ao longo dos anos (ODS 7: energia acessível e limpa), pesquisas quanto a sua viabilidade econômica tornam-se primordiais quando se deseja a implementação de um sistema ou de uma usina fotovoltaica (DE ALMEIDA, 2017).

O consumo anual de energia elétrica foi obtido a partir das faturas correspondentes do fornecedor de energia elétrica (Equatorial Goiás) no período de janeiro a dezembro de 2022. A Figura 28 apresenta o consumo mensal da indústria, destacando que o consumo total de energia no ano foi de 44.543 kWh, com média mensal de 3711 kWh, com o valor médio de 0,713448 kWh, totalizando o desembolso de R\$ 31.779,11 referente ao custo com energia no ano de 2022 (EQUATORIAL ENERGIA, 2022).

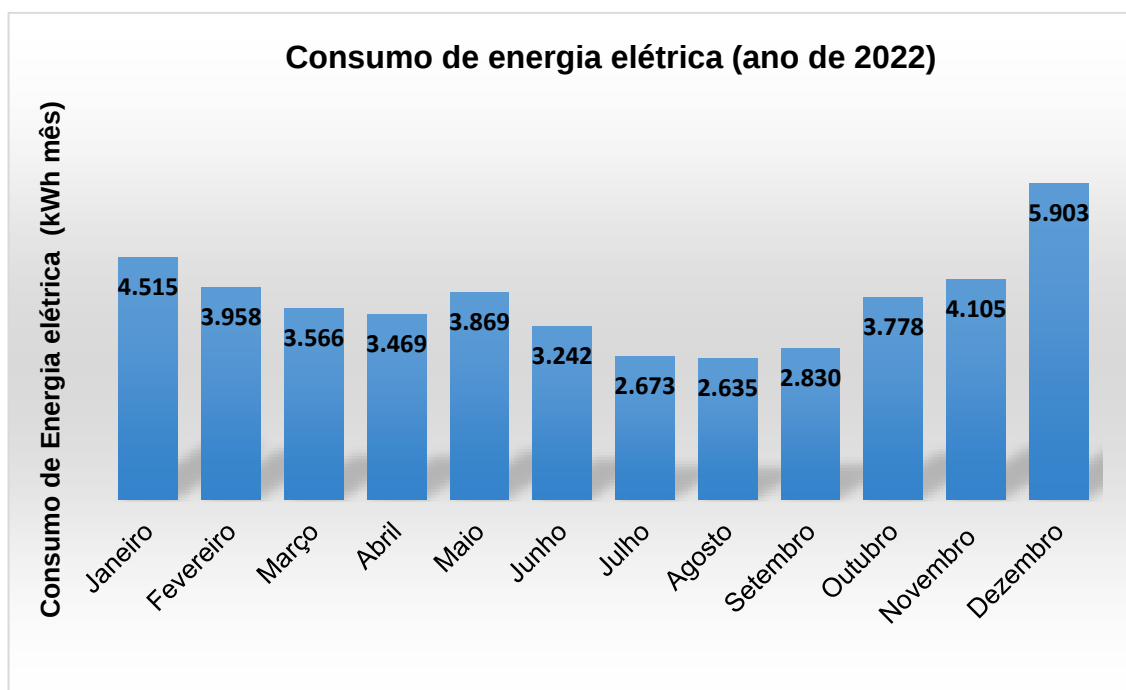


Figura 28: Consumo de energia elétrica (janeiro a dezembro de 2022).
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Diante aos dados apresentados e a importância da mitigação do percentual de impacto relacionado ao consumo de energia elétrica foi elaborado um estudo de viabilidade econômica para substituição da matriz energética de fonte oriunda de hidrelétricas para a energia solar fotovoltaica. Para tanto foram realizadas pesquisas em três empresas (A, B, C) instaladoras de sistema de energia fotovoltaica atuantes na região, no intuito de coletar informações sobre a demanda energética do laticínio. Foi utilizada uma taxa de desempenho médio de 80% de eficiência dos painéis fotovoltaicos (sistema instalado), apontada pelos fabricantes e etiquetados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) (PEREIRA et al., 2017; DE ALMEIDA et al., 2017; DE OLIVEIRA 2019).

O estudo foi realizado sob a ótica da produção de energia, considerando o custo médio para operação e instalação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica, com capacidade de 54.063 kWh/ano, visto que demanda média da empresa foi de 44.543 kWh, considerando a eficiência de 80% dos painéis fotovoltaicos, com recorte temporal de período de 25 anos, no município de Jussara-GO. O estudo foi realizado em quatro etapas:

5.1 Etapa 1: estudo da irradiação solar na região do laticínio

Para o estudo de irradiação solar na região, foi utilizado o site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB), com o uso programa Sun Data 3.0. (CRESESB, 2023), para geração dos dados foram utilizadas as coordenadas geográficas de localização do ponto de instalação. O laticínio está localizado no município de Jussara – GO, conforme consta na (FIGURA 14), com latitude (15°59'00.0"S) e longitude (50°47'05.7"W), situado a 402 metros de altitude (Google Maps, 2023). Os dados de irradiação média incidente na região são ilustrados na Tabela 13.

Tabela 13: Irradiação solar média na região de Jussara-GO.

Mês	Irradiação (kWh/m ² /dia)	Mês	Irradiação (kWh/m ² /dia)
Janeiro	5,50	Julho	4,70
Fevereiro	5,65	Agosto	5,39
Março	5,33	Setembro	5,38
Abril	5,34	Outubro	5,58
Maio	4,92	Novembro	5,43
Junho	4,59	Dezembro	5,48

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do (CRESESB, 2023).

Mesmo em áreas com recursos solares uniformes, a escolha de onde instalar painéis fotovoltaicos de forma eficiente pode ser um fator determinante no seu desempenho. A eficiência de um sistema fotovoltaico pode ser afetada pela integração com elementos arquitetônicos, pela presença de elementos de sombreamento ou superfícies reflexivas próximas e pela capacidade de troca de calor com o ambiente (PINHO E GALDINO, 2014).

Para melhor estimar a radiação incidente no plano do painel, é necessário obter informações sobre os elementos de sombreamento atuais e potenciais, bem como sobre as superfícies reflexivas próximas, incluindo o solo (PINHO E GALDINO, 2014). Na Figura 29 são apresentados as médias de irradiação solar na região no ano de 2023.

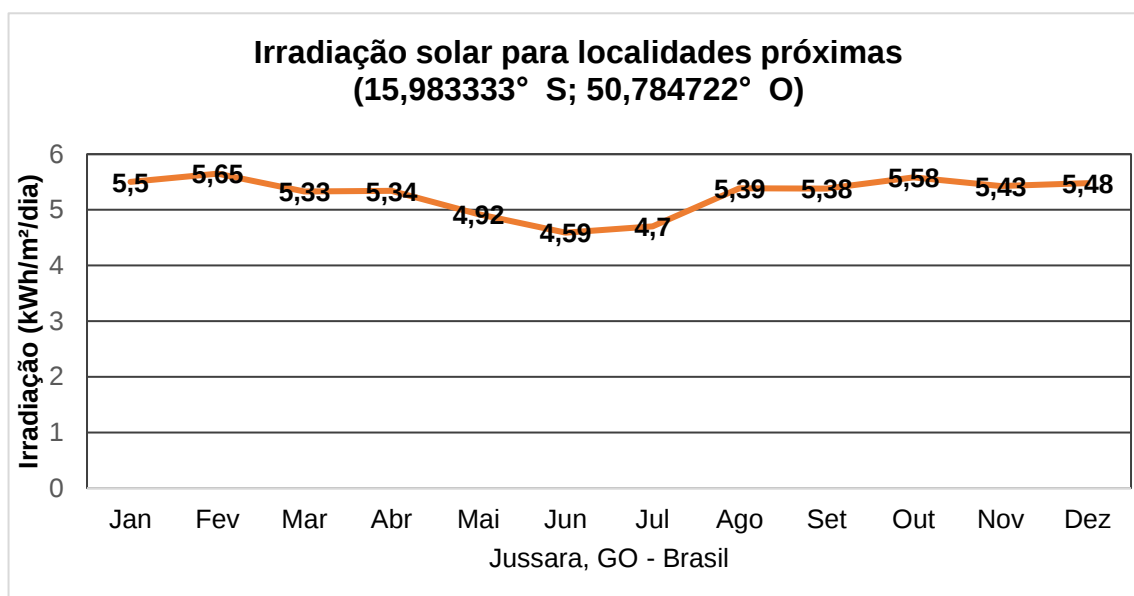


Figura 29: Irradiação solar média na região de Jussara-GO.
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do (CRESESB, 2023).

Para definir a viabilidade de implementação do sistema fotovoltaico foi realizada uma estimativa de geração mensal de energia durante o ano de 2023, com média mensal de 4505 kWh conforme apresentado na tabela 14, que atende a demanda média mensal de 3711 kWh apresentada na Figura 29. Para tanto o sistema foi dimensionado para uma com capacidade total de aproximadamente 54.063 kWh/ano, salientando que os painéis possuem eficiência média de 80%.

Tabela 14: Estimativa de geração mensal de energia do sistema (kWh)

Mês	Quantidade	Mês	Quantidade
Janeiro	4.374	Julho	4.441
Fevereiro	4.516	Agosto	5.131

Março	4.366	Setembro	4.773
Abril	4.441	Outubro	4.615
Maior	4.399	Novembro	4.333
Junho	4.316	Dezembro	4.358

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

5.2 Etapa 2: cálculo do investimento inicial

A estimativa de investimento inicial foi realizada com bases nos custos dos equipamentos e materiais para a instalação dos painéis fotovoltaicos, visando considerar o pior cenário, adotou-se o maior valor apresentado pelas empresas A, B e C, sendo a empresa B a que apresentou valores superiores. Com base nas informações fornecidas e dados obtidos por meio de cálculos, o sistema proposto para o local é composto dos seguintes itens e equipamentos, conforme consta na Tabela 15.

Tabela 15: Equipamentos e materiais do sistema proposto.

Potência instalada		Sistema proposto		54.063kWh/ano
		Materiais		Quantidade
PAINEL SOLAR JA JAM72S30-550W DEEP BLUE 144 CEL MONO				63
HALF CELL 21,3% DE EFICIÊNCIA.				
INVERSOR SOLAR GROWATT ON GRID MIN25000TL-X 25KW				1
TRIFÁSICO				
STRINGBOX BRASSUNNY SB09B - 4E/4S SECCIONADORA NO				1
INVERSOR				
CABO SOLAR 6MM < PRETO				115
CABO SOLAR 6MM < VERMELHO				115
CONECTOR MC4 MULTI-CONTACT UR PV-KBT4/6II-UR				10
ACOPLADOR FEMEA				
CONECTOR MC4 MULTI-CONTACT UR PV-KST4/6II-UR				10
ACOPLADOR MACHO				
JUNÇÃO PARA PERFIL DE ALUMÍNIO				Incluso
ESTRUTURA DE ALUMÍNIO ADEQUADO AO TELHADO DE BARRO				Incluso
MATERIAL ELÉTRICO				Incluso
SERVIÇOS DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA				Incluso
PROJETO SOLAR FOTOVOLTAICO				Incluso
ART DE PROJETO E EXECUÇÃO				Incluso
ACOMPANHAMENTO JUNTO À EQUATORIAL				Incluso
MONITORAMENTO DO SISTEMA VIA WEB				Incluso
KIT FIXAÇÃO				16
ESTRUT. P/ 4 PAINÉIS PARAF. ESTRUTURAL FIBROC. MADEIR.				16
Total do Investimento				R\$ 89.773,00

Fonte: Dados da pesquisa (elaborado pelo autor).

A proposta de instalação contemplou todos os serviços necessários para entrega do sistema instalado, dentro dos padrões de segurança e normas técnicas. O serviço de execução segue os padrões de qualidade e segurança, com a homologação da concessionária para o efetivo funcionamento, seguindo as

normas técnicas, conforme determina a resolução 482/2012 da ANEEL. Também são observadas as normas NR10 e NR35 na mão de obra de instalação.

Com os seguintes serviços: instalação dos painéis fotovoltaicos; estrutura; instalação do(s) inversor(es); projeto elétrico completo; cabos e fios elétricos; solicitação de acesso à Equatorial; quadro de distribuição e proteção; sistema de monitoramento de geração de energia. O valor total do investimento proposto foi de R\$89.773,00, tendo como referência o levantamento de custos realizado em dezembro de 2023.

5.3 Etapa 3: simulação do uso dos painéis ao longo da vida útil

O primeiro passo para analisar a viabilidade econômica de um projeto envolve investigar o investimento total necessário para instalar um sistema fotovoltaico no laticínio estudado, conforme apresentado na Tabela 15, o investimento para instalação foi de R\$ 89.773,00.

A viabilidade foi analisada ao longo de um período de operação de 25 anos, ou seja, o período de tempo correspondente à vida útil dos módulos fotovoltaicos indicado pelos fabricantes. Os fabricantes citam uma degradação anual do desempenho dos componentes equivalente a 2,5% no primeiro ano de operação e 0,7% em anos consecutivos. Ou seja, o retorno financeiro do sistema diminuirá ano a ano devido à redução da geração de energia (FERREIRA, 2021). Tal redução foi considerada como desconto no valor presente líquido (VPL) e na taxa interna de retorno (TIR).

5.4 Etapa 4: análise de investimento

O custo de operação e manutenção de um sistema de energia solar fotovoltaica, representa em média 0,5% do custo do investimento inicial ao ano (PORTAL SOLAR, 2023). Para a análise estimou-se o valor de 0,5% do custo de aquisição do sistema, para a manutenção do anual, com o valor de R\$ 448,86, com taxa de reajuste de 10% ao ano, considerando o recorte temporal de 25 anos.

A tarifa do kWh da concessionária Equatorial Energia no momento da projeção de instalação do sistema foi de R\$ 0,80, incluído taxas (EQUATORIAL ENERGIA, 2023). Para a previsão para os próximos anos, com base no histórico de reajustes tarifários e nas revisões periódicas propostas, considerou-se um

reajuste médio anual de 10,68%, sem levar em conta revisões especiais (FERREIRA, 2021). Para análise foi considerado o desconto de 50 kWh mensais, referente ao custo de disponibilidade do sistema elétrico.

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) considerada foi 11,75% a.a, levando em conta a taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia) com referência a dezembro de 2023 (BANCO CENTRAL, 2023). A Tabela 16, apresenta os parâmetros considerados para análise.

Tabela 16: Parâmetros da análise econômica do sistema.

Investimento inicial	R\$ 89.773,00
Degradação do rendimento dos módulos no 1º ano	2,5%
Degradação anual do rendimento dos módulos	0,7%
Percentual de operação e manutenção do sistema	0,5%
Reajuste anual da operação e manutenção do sistema	10%
Tarifa de energia elétrica	0,80
Reajuste anual da tarifa	10,68%
Custo de oportunidade (TMA) a.a.	11,75% a.a. (2023)
Desconto do custo de disponibilidade do sistema elétrico a.a.	600 kWh

Fonte: Dados da pesquisa (elaborado pelo autor).

Os cálculos da viabilidade econômica foram realizados através de uma planilha de Excel (Microsoft Excel®), em consideração aos parâmetros apresentados na Tabela 15. A receita da energia produzida é apresentada na Tabela 17.

Tabela 17: Receita de energia produzida com projeção para 25 anos.

Período	Energia Produzida (*) (kWh)	Energia Produzida C/ Desconto (**) (kWh)	Tarifa Elétrica Equatorial (***) R\$/kWh	Receita de Energia Produzida
Ano 0				
Ano 1	54.063,00	53.463,00	0,80	42.290,40
Ano 2	52.711,43	52.111,43	0,89	46.141,54
Ano 3	52.342,45	51.742,45	0,98	50.707,85
Ano 4	51.976,05	51.376,05	1,08	55.726,03
Ano 5	51.612,22	51.012,22	1,20	61.240,79
Ano 6	51.250,93	50.650,93	1,33	67.301,26
Ano 7	50.892,17	50.292,17	1,47	73.961,43
Ano 8	50.535,93	49.935,93	1,63	81.280,65
Ano 9	50.182,18	49.582,18	1,80	89.324,13
Ano 10	49.830,90	49.230,90	1,99	98.163,52
Ano 11	49.482,09	48.882,09	2,21	107.877,59
Ano 12	49.135,71	48.535,71	2,44	118.552,86
Ano 13	48.791,76	48.191,76	2,70	130.284,45
Ano 14	48.450,22	47.850,22	2,99	143.176,87
Ano 15	48.111,07	47.511,07	3,31	157.344,97
Ano 16	47.774,29	47.174,29	3,67	172.914,98
Ano 17	47.439,87	46.839,87	4,06	190.025,58

Ano 18	47.107,79	46.507,79	4,49	208.829,21
Ano 19	46.778,04	46.178,04	4,97	229.493,37
Ano 20	46.450,59	45.850,59	5,50	252.202,14
Ano 21	46.125,44	45.525,44	6,09	277.157,80
Ano 22	45.802,56	45.202,56	6,74	304.582,64
Ano 23	45.481,94	44.881,94	7,46	334.720,96
Ano 24	45.163,57	44.563,57	8,25	367.841,21
Ano 25	44.847,42	44.247,42	9,14	404.238,39
Total	1.222.339,58	1.221.739,58		4.065.380,64

(*) Degradação do painel fotovoltaico de 2,5% no primeiro ano e de 0,7% para os anos consecutivos.

(**) Desconto de 50kWh ao mês referente ao custo de disponibilidade do sistema elétrico.

(***) Estimativa de reajuste tarifário médio 10,68 % ao ano.

Fonte: Elaborador pelo autor (2023).

Nota-se que a produção da energia reduz ao longo dos anos, visto que do primeiro para o segundo ano houve queda de 2,5% no rendimento dos painéis, já nos anos seguintes a queda foi 0,7% de degradação no rendimento, conforme recomendação dos fabricantes.

Para composição do fluxo de caixa anual resultante das receitas apresentadas na Tabela 16, foram descontados os valores referentes à manutenção anual com reajuste de 10% ao ano considerando o recorte temporal de 25 anos.

Para análise da viabilidade econômica do sistema foram traçadas duas análises, sendo a primeira considerando o desembolso total para a implementação do sistema R\$ 89.773,00 (TABELA 17) e outra com financiamento de 50% do investimento R\$ 44.886,50 conforme a (TABELA 18).

Tabela 18: Fluxo de caixa com projeção para 25 anos.

Período	Manutenção anual	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo de Caixa Descontado (R\$)	Payback descontado (R\$)
Ano 0		-R\$ 89.773,00	-R\$ 89.773,00	-R\$ 89.773,00
Ano 1	448,86	41.841,54	R\$ 37.442,09	-R\$ 52.330,91
Ano 2	493,75	45.647,79	R\$ 36.553,14	-R\$ 15.777,76
Ano 3	543,12	50.164,73	R\$ 35.946,44	R\$ 20.168,68
Ano 4	597,43	55.128,60	R\$ 35.349,79	R\$ 55.518,47
Ano 5	657,18	60.583,61	R\$ 34.763,02	R\$ 90.281,49
Ano 6	722,89	66.578,36	R\$ 34.185,97	R\$ 124.467,46
Ano 7	795,18	73.166,25	R\$ 33.618,48	R\$ 158.085,94
Ano 8	874,70	80.405,95	R\$ 33.060,39	R\$ 191.146,33
Ano 9	962,17	88.361,96	R\$ 32.511,54	R\$ 223.657,87
Ano 10	1.058,39	97.105,13	R\$ 31.971,78	R\$ 255.629,65
Ano 11	1.164,23	106.713,36	R\$ 31.440,97	R\$ 287.070,62
Ano 12	1.280,65	117.272,21	R\$ 30.918,95	R\$ 317.989,57
Ano 13	1.408,71	128.875,74	R\$ 30.405,58	R\$ 348.395,15

Ano 14	1.549,59	141.627,28	R\$ 29.900,71	R\$ 378.295,85
Ano 15	1.704,55	155.640,43	R\$ 29.404,21	R\$ 407.700,06
Ano 16	1.875,00	171.039,98	R\$ 28.915,93	R\$ 436.615,99
Ano 17	2.062,50	187.963,08	R\$ 28.435,74	R\$ 465.051,73
Ano 18	2.268,75	206.560,46	R\$ 27.963,51	R\$ 493.015,23
Ano 19	2.495,62	226.997,75	R\$ 27.499,10	R\$ 520.514,33
Ano 20	2.745,19	249.456,95	R\$ 27.042,38	R\$ 547.556,71
Ano 21	3.019,71	274.138,09	R\$ 26.593,24	R\$ 574.149,95
Ano 22	3.321,68	301.260,97	R\$ 26.151,53	R\$ 600.301,49
Ano 23	3.653,84	331.067,12	R\$ 25.717,15	R\$ 626.018,64
Ano 24	4.019,23	363.821,98	R\$ 25.289,96	R\$ 651.308,60
Ano 25	4.421,15	399.817,24	R\$ 24.869,85	R\$ 676.178,45
Total	44.144,06	4.021.236,58	R\$ 765.951,45	R\$ 676.178,45

Fonte: Elaborador pelo autor (2023).

A partir dos cálculos efetuados e expostos na Tabela 17, constatou-se que o VPL obtido ao final do fluxo de caixa descontado foi maior que zero, ou seja, proporciona a empresa uma economia de R\$ 676.176,45 sobre o investimento ao final dos 25 anos analisados.

Levando em consideração o parâmetro selecionado para a TMA deste estudo de 11,75% a.a. e o percentual final de TIR ao longo de 25 anos é de 56,42 %, pode-se concluir que o retorno financeiro do investimento do sistema fotovoltaico estudado é superior ao retorno de um investimento em renda fixa, tendo como parâmetro a taxa SELIC no ano de 2023 de 11,75% a.a.

O período de retorno do investimento calculado pelo *payback* descontado, aponta a recuperação no curto prazo do investimento inicial de R\$ 89.773,00, num período de 2,43 anos ou 2 anos cinco meses e quatro dias de funcionamento do sistema, após esse período haverá economia nas faturas de energia. Considerando o aumento da tarifa de energia elétrica, observa-se o VPL e a TIR positivos são maiores que TMA considerada.

Por fim, denota-se que o investimento viável, pois o VPL é positivo, ou seja, maior que zero, a TIR é maior que a TMA (Selic) e o investimento é recuperado em 2,43 anos, bem inferior à vida útil dos equipamentos. Como se observa no fluxo de caixa descontado, o valor vai diminuindo até o final, considerando que a geração de energia tem uma redução pela degradação dos equipamentos. Além disso, a taxa de reajuste da tarifa de energia é menor que a taxa SELIC considerada na análise.

5.4.1 Análise de viabilidade com financiamento

Para a análise de viabilidade com financiamento foi utilizada a mesma geração de receita do sistema conforme a (TABELA 16). Outros parâmetros foram acrescentados como: custo efetivo do investimento, valor da prestação de incidente sobre 50% do investimento, valor do investimento inicial com recursos próprios e valor do investimento inicial financiado conforme a (TABELA 19).

Tabela 19: Parâmetros da análise econômica com financiamento.

Investimento inicial	R\$ 89.773,00
Degradação do rendimento dos módulos no 1º ano	2,5%
Degradação anual do rendimento dos módulos	0,7%
Percentual de operação e manutenção do sistema	0,5%
Reajuste anual da operação e manutenção do sistema	10%
Tarifa de energia elétrica	0,80
Reajuste anual da tarifa	10,68%
Custo de oportunidade (TMA) a.a.	11,75% a.a. (2023)
Desconto do custo de disponibilidade do sistema elétrico a.a.	600 kWh
Custo Efetivo de 50% do investimento financiado em 60 meses	2%a.m.
Valor da Prestação incidente sobre 50% do investimento	R\$ 1.291,30
Valor do investimento inicial com recursos próprios (50%)	R\$ 44.886,50
Valor do investimento inicial financiado	R\$ 44.886,50

Fonte: Dados da pesquisa (elaborado pelo autor).

Para elaboração da análise com financiamento foi considerado o financiamento de 50% do investimento no sistema R\$ 44.886,50, com financiamento em 60 meses, com taxa de juros de 2% a.m., prestação de R\$ 1291,30, totalizando o montante de R\$ 15.495,60 em cinco anos Na Tabela 20 são apresentados os cálculos.

Tabela 20: Fluxo de caixa com projeção para 25 anos com financiamento.

Período	Manutenção anual	Financiamento	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo de Caixa Descontado (R\$)	Payback descontado (R\$)
Ano 0			-R\$ 89.773,00	-R\$ 44.886,50	-R\$ 44.886,50
1	448,86	15.495,60	26.825,94	R\$ 24.005,32	-R\$ 20.881,18
2	493,75	15.495,60	30.152,19	R\$ 24.144,81	R\$ 3.263,63
3	543,12	15.495,60	34.669,13	R\$ 24.842,79	R\$ 28.106,42
4	597,43	15.495,60	39.633,00	R\$ 25.413,64	R\$ 53.520,06
5	657,18	15.495,60	45.088,01	R\$ 25.871,61	R\$ 79.391,67
6	722,89		66.578,36	R\$ 34.185,97	R\$ 113.577,64
7	795,18		73.166,25	R\$ 33.618,48	R\$ 147.196,12
8	874,70		80.405,95	R\$ 33.060,39	R\$ 180.256,50
9	962,17		88.361,96	R\$ 32.511,54	R\$ 212.768,04
10	1.058,39		97.105,13	R\$ 31.971,78	R\$ 244.739,83
11	1.164,23		106.713,36	R\$ 31.440,97	R\$ 276.180,80
12	1.280,65		117.272,21	R\$ 30.918,95	R\$ 307.099,75

13	1.408,71	128.875,74	R\$ 30.405,58	R\$ 337.505,32
14	1.549,59	141.627,28	R\$ 29.900,71	R\$ 367.406,03
15	1.704,55	155.640,43	R\$ 29.404,21	R\$ 396.810,24
16	1.875,00	171.039,98	R\$ 28.915,93	R\$ 425.726,16
17	2.062,50	187.963,08	R\$ 28.435,74	R\$ 454.161,90
18	2.268,75	206.560,46	R\$ 27.963,51	R\$ 482.125,41
19	2.495,62	226.997,75	R\$ 27.499,10	R\$ 509.624,51
20	2.745,19	249.456,95	R\$ 27.042,38	R\$ 536.666,89
21	3.019,71	274.138,09	R\$ 26.593,24	R\$ 563.260,13
22	3.321,68	301.260,97	R\$ 26.151,53	R\$ 589.411,66
23	3.653,84	331.067,12	R\$ 25.717,15	R\$ 615.128,81
24	4.019,23	363.821,98	R\$ 25.289,96	R\$ 640.418,77
25	4.421,15	399.817,24	R\$ 24.869,85	R\$ 665.288,63
Total	44.144,06	4.021.716,58	R\$ 710.175,13	R\$ 665.288,63

Fonte: Elaborador pelo autor (2023).

A partir dos cálculos efetuados constatou-se que o VPL obtido ao final do fluxo de caixa descontado foi maior que zero, ou seja, proporciona a empresa uma economia de R\$ 665.288,63 sobre o investimento ao final do período analisado.

Levando em consideração o parâmetro selecionado para a TMA de 11,75% a.a. e o percentual final de TIR ao longo de 25 anos é de 44,97%, pode-se concluir que o retorno financeiro do investimento do sistema fotovoltaico, mesmo com financiamento parcial é superior ao retorno de um investimento em renda fixa, tendo como parâmetro a taxa SELIC no ano de 2023 de 11,75% a.a.

Considerando que o valor desembolsado no ano zero é apenas 50% do investimento e que o fluxo de caixa gerado será reduzido nos 5 anos em que haverá o pagamento do financiamento. O VPL foi de R\$ 665.288,63, a TIR de 44,97%, o *Payback* descontado é 1,86 ou 1 ano 10 meses e 12 dias.

Desta forma, o investimento viável, pois o VPL é positivo, ou seja, maior que zero, a TIR é maior que a TMA (Selic) e o investimento é recuperado em menos de 2 anos. (1,86 anos). Como se observa no fluxo de caixa nos 5 primeiros anos foi menor em função do pagamento do financiamento de 50% do investimento Inicial. Por isso, o prazo de retorno (*Payback*) é menor, pois o desembolso inicial é apenas 50% do Investimento.

6 CONSIDERAÇÕES

Considerando que os processos nas explorações leiteiras são significativamente mais poluentes do que outras categorias de impacto, é evidente

que, no futuro, a avaliação do ciclo de vida de diversas culturas de alimentação animal se tornará mais crucial do que a simples análise dos produtos. Isso permitirá que os consumidores façam escolhas mais conscientes, visando minimizar o impacto ambiental. Além disso, melhorias como o aumento da produtividade dos rebanhos leiteiros, a redução das emissões por animal e o planejamento estratégico da distribuição de fertilizantes e gestão do estrume podem contribuir significativamente para a redução das emissões totais.

Os objetivos da pesquisa foram alcançados com sucesso, uma vez que foi possível mensurar o impacto ambiental no processo de fabricação de queijo mussarela diretamente no local de produção. O inventário foi elaborado de forma abrangente, considerando todos os insumos necessários para o processamento do queijo. As visitas e coletas de dados desempenharam um papel crucial na obtenção de informações que permitiram uma análise o mais próxima possível da realidade observada. Além disso, as emissões totais encontram-se dentro da média em comparação com estudos realizados em diversas regiões ao redor do mundo.

As categorias de impacto avaliadas no estudo satisfazem os objetivos propostos, pois permitiram a mensuração dos resultados e demonstraram estar em concordância com outros estudos prévios. Embora o estudo de viabilidade econômica tenha indicado ganhos econômicos superiores às reduções de impacto ambiental, ele ainda desempenhou um papel crucial ao fornecer um ponto de referência para possíveis reduções nas emissões a médio e longo prazo.

Dado que a contribuição da produção de queijo para as emissões é relativamente baixa em escala global, a alternativa de instalação de painéis fotovoltaicos e térmicos também resultou em reduções pouco significativas em termos de impacto ambiental na operação do laticínio. No entanto, do ponto de vista econômico, a implementação desses painéis trará uma redução significativa nos custos de produção. Isso ocorre porque os ganhos obtidos com a utilização de energia fotovoltaica podem ser direcionados para expandir as atividades da empresa, compensando assim os investimentos feitos e contribuindo para a viabilidade econômica a longo prazo.

Dessa forma, ao obter resultados sobre as emissões do processo produtivo, o laticínio pode e deve utilizar esses dados como um fator estratégico para promover a regionalização e aumentar a produção. Isso pode ser feito desde

que as emissões sejam reduzidas e não haja impactos ambientais significativos. Essa abordagem não só fortalece a sustentabilidade da operação, mas também pode melhorar a imagem da empresa e atender às demandas dos consumidores por produtos locais e ecologicamente sustentáveis.

6.1 Sugestões para estudos futuros

De forma complementar aos resultados obtidos, sugere-se apontamentos para pesquisas futuras:

- Replicar o estudo em outros laticínios do estado;
- Ampliar o horizonte do berço ao túmulo (da extração dos insumos até a disposição final);
- Replicar o estudo com ampliação das fronteiras (com a inclusão dos efluentes e águas residuais);
- Efetuar outros estudos de ACV para diferentes produtos lácteos em comparação de impactos entre produtos na mesma categoria;
- Analisar a produção de queijo em nível regional, para melhor caracterização em função das diferenças nos sistemas de produção;
- Desenvolver pesquisas que possam ampliar a fronteira do sistema de produtos lácteos em nível nacional;
- Utilizar maior número de laticínios para mensurar o desempenho ambiental.

7 REFERÊNCIAS

ABÍN, R., LACA, A., LACA, A., DÍAZ, M. Avaliação ambiental da produção intensiva de ovos um estudo de caso espanhol. **J. Limpo**. Prod. 179, 160-168. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618300751>. Acesso em: 23 de março de 2023.

ACOSTA-ALBA, I., LOPÉZ-RIDAURA, S., VAN DER WERF, H. M. G., LETERME, P., CORSON, M. S. (2012). Exploring sustainable farming scenarios at a regional scale: an application to dairy farms in Brittany. **Journal of Cleaner Production**, 28: 160-167. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652611005002>. Acesso em: 21 de março de 2023.

AGOSTINHO, F; OLIVEIRA, M W; PULSELLI, F M; ALMEIDA, C M V B; GIANNETTI, B F. Emery accounting as a support for a strategic planning towards

a regional sustainable milk production. **AGRICULTURAL SYSTEMS**, vol. 176, Nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102647>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

ASSIES, J. A. Introduction paper to SETAC-Europe workshop on environmental life cycle analysis of products. In Life-Cycle Assessment, Proceedings of a SETAC-Europe workshop on Environmental Life Cycle Assessment of Products, December 2- 3 1991, **Leiden; SETAC-Europe**: Brussels, Belgium, 1992.

ASSIS, A.G. Sistemas de produção de leite no Brasil. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Circular Técnica 85**. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG, 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/595700/1/CT85SistprodleiteBrasil.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO (ABIA). **Números do Setor – Faturamento**. Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação, 2019. Disponível em: <https://www.abia.org.br/vsn/anexos/faturamento2019.pdf>. Acesso em: 08 agosto de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14040**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14044**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e diretrizes. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009, 21p.

AYRÃO, Vinicius. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Rio de Janeiro, out. 2018. 102f. Disponível em: <https://www.leonardo-energy.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Estudos-Fotovoltaicos-Vinicius-Ayrao.pdf>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxas de juros básicas – Histórico**. BANCO CENTRAL, 2023. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. Acesso em: 20 de dezembro de 2023.

BARTHOLOMEU, D. B. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. (2006). 165 f. Tese (doutorado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://esalqlog.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/2015/08/tese-Daniela.pdf>. Acesso em: 16 de julho de 2023.

BARTL, K., GÓMEZ, C. A., NEMECEK, T. (2011). Life cycle assessment of milk produced in two smallholder dairy systems in the highlands and the coast of Peru. **J Clean Prod.** 19:1494-1505. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652611001260>. Acesso em: 20 de março de 2023.

BASSET-MENS, C., KELLIHER, F. M., LEDGARD, S., COX, N. (2009). Uncertainty of global warming potential for milk production on a New Zealand farm and implications for decision making. **Int J Life Cycle Ass**, 14:630–8. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-009-0108-2>. Acesso em: 16 de março de 2023.

BASSET-MENS, C., LEDGARD, S., BOYES, M. (2009b) Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. **Ecol Econ.** 68: 1615–25. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800907005757>. Acesso em: 16 de março de 2023.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A. M., (2004) - The Hitch Hiker's Guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application. **Studentlitteratur AB**, 2004. 544p. Disponível em https://www.researchgate.net/profile/WalterKloepffer/publication/246960098_The_Hitch_Hikers_Guide_to_LCA_An_orientation_in_LCA_methodology_and_application/links/545e72940cf2c1a63bfc1ea5/The-Hitch-Hiker-s-Guide-to-LCA-An-orientation-in-LCA-methodology-and-application.pdf. Acesso em: 17 de fevereiro de 2023.

BELFLOWER, J. B., BERNARD, J. K., GATTIE, D. K., HANCOCK, D. W., RISSE, L. M., ROTZ, C. A. (2012). A case study of the potential environmental impacts of different dairy production systems in Georgia. **Agricultural Systems.** 108: 84–93. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X12000133>. Acesso em: 21 de março de 2023.

BERLESE, M., CORAZZIN, M., BOVOLenta, S. (2019). Environmental sustainability assessment of buffalo mozzarella cheese production chain: A scenario analysis. **Journal of Cleaner Production**, 238, 117922. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619327921>. Acesso em: 21 de março de 2023.

BERLIN, J., Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. **International Dairy Journal.** v. 12, p. 939-953, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694602001127>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2023.

BETON, A. DIAS, D. FARRANT, L. GIBON, T.; LE GUERN, Y. (2014). Environmental Improvement Potential of textiles (**IMPRO Textiles**). Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014. Disponível em: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC85895>. Acesso em: 15 de junho de 2023.

BORELLI, B.M.; LACERDA, I.C.A.; PENIDO, F.C.L.; ROSA A.C. Traditional Cheeses Produced in Brazil: Characterisation, Production Technologies and Health Implications. In: PERKINS, E. (Ed.). **Food microbiology fundamentals, challenges and health implications**. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2016. cap.7, p.161-189. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=clSSDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA161&dq=BORELLI,+B.M.%3B+LACERDA,+I.C.A.%3B+PENIDO,+F.C.L.%3B+ROSA+A.C.+Traditional+Cheeses+Produced+in+Brazil:+Characterisation,+Production+Technologies+and+Health+Implications.+In:+PERKINS,+E.+\(Ed.\).+Food+microbiology+fundamentals,+challenges+and+health+implications.+New+York:+Nova+Science+Publishers,+Inc.,+2016.+cap.7,+p.161-189.&ots=cN0m3VDvKq&sig=1F21TtPVtVWSt5s-sDJtdidlccl#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=clSSDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA161&dq=BORELLI,+B.M.%3B+LACERDA,+I.C.A.%3B+PENIDO,+F.C.L.%3B+ROSA+A.C.+Traditional+Cheeses+Produced+in+Brazil:+Characterisation,+Production+Technologies+and+Health+Implications.+In:+PERKINS,+E.+(Ed.).+Food+microbiology+fundamentals,+challenges+and+health+implications.+New+York:+Nova+Science+Publishers,+Inc.,+2016.+cap.7,+p.161-189.&ots=cN0m3VDvKq&sig=1F21TtPVtVWSt5s-sDJtdidlccl#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 31 de março de 2023.

BORGHESI, G., STEFANINI, R., VIGNALI, G. (2022). Life cycle assessment of packaged organic dairy product: A comparison of different methods for the environmental assessment of alternative scenarios **Journal of Food Engineering**, 318, 110902. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877421004283>. Acesso em: 31 de março de 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. ANEEL, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2024.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. CONAMA, Brasília 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 20 de janeiro de 2024.

_____. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. **Caderno de Caracterização Estado de Goiás/** Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. - Brasília: Codevasf, 2021. 60 p.: il. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/caderno-de-caracterizacao-estado-de-goias.pdf>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2023.

_____. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). **Módulos Fiscais no Brasil. INCRA, 2023**. Disponível em: <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/modulo-fiscal>. Acesso em: 31 de janeiro de 2024.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 364, de 04 de setembro de 1997**. Aprova os Regulamentos Técnicos Para Fixação de Identidade e Qualidade de Queijo Mozzarella (Muzzarella ou Mussarela). Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/inspleite/files/2016/03/Portaria-n%C2%B0-364-de-4-de-setembro-de-1997.pdf>. Acesso em: 17 de dezembro de 2023.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Valor Bruto da Produção Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/vbp-e-estimado-em-r-689-97-bilhoes-para-2020/202003VBPelaspeyresagropecuariapdf.pdf>. Acesso em: 08 agosto de 2022.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 3, DE 14 de março de 2019**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos/animal/empresario/IN03_2019RegistrodeEstabelecimentos.pdf/view. Acesso em: 08 janeiro de 2024.

_____. **Lei nº 11.326**, de 24 de julho de 2006: Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Diário Oficial da União. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20042006/2006/lei/l11326.htm. Acesso em: 31 de janeiro de 2023.

BROEKEMA, Roline; KRAMER, Gerard. LCA of Dutch semi-skimmed milk and semi-mature cheese. **Blonk Consultants, Netherlands**, 2014. Disponível em: <https://website-production-s3bucket-1nevfd7531z8u.s3.eu-west-1.amazonaws.com/public/website/download/919fd091-1ff7-485f-844b-241d14b7b510/FrieslandCampina-LCA-milk-cheese-C0.5.pdf>. Acesso em: 21 de agosto de 2023.

CABRAL, Caroline Ferreira Soares et al. A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COMO FERRAMENTA DE SUSTENTABILIDADE NA PRODUÇÃO DO QUEIJO DE CABRA. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 2, n. 3, p. 94-120, 2021. Disponível em: <https://revistascientificas.ifrj.edu.br/index.php/alimentos/article/view/1868>. Acesso em: 22 de março de 2023.

CABRAL, CFS., VEIGA, LBE., ARAÚJO, MG, DE SOUZA., SLQ; (2020). Environmental Life Cycle Assessment of goat cheese production in Brazil: apath towards Sustainability. **Lwt**, 129, 109550. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820305399>. Acesso em: 21 de março de 2023.

CANELLADA, F. et al. Environmental impact of cheese production: A case study of a small-scale factory in southern Europe and global overview of carbon footprint. **Science of The Total Environment**, v. 635, p. 167–177, set. 2018. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.045>. Acesso em: 15 de maio de 2023.

CASEY, J.W.; HOLDEN, N.M., 2005. Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. **Agricultural Systems**. 86 (1), 97-114. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X0400174X>. Acesso em: 05 de abril de 2023.

CASTANHEIRA, É. G. Avaliação do Ciclo de Vida dos produtos lácteos fabricados em Portugal continental. **Programa de Pós-Graduação em Energia e Gestão do Ambiente Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro**, 2008. Disponível em: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/573/1/2008001740.pdf>. Acesso em: 26 de janeiro de 2023.

CASTANHEIRA, É. G., DIAS, A.C., ARROJA, L., AMARO, R. (2010). The environmental performance of milk production on a typical Portuguese dairy farm. **Agr Syst**, 103:498-507. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X10000727>. Acesso em: 20 de março de 2023.

CASTRO, Millades de Carvalho et al. **Cadeia Produtiva do Leite em Goiás: uma análise para o território estrada de ferro**. 2014. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/handle/ri/13751>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2023. CEDERBERG, C., MATTSON, B. (2000) Life cycle assessment of milk production- a comparison of conventional and organic farming. **J Clean Prod**. 8:49-60. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965269900311X>. Acesso em: 15 de março de 2023.

CEDERBERG, C., STADIG, M. (2003). System Expansion and Allocation in Life Cycle Assessment of Milk and Beef Production. *Int. J. Life Cycle Asses*, 8 (6), 350-356. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02978508>. Acesso em: 15 de março de 2023.

CHEHEBE, J.R.B. **Análise do ciclo de vida de produtos**: Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998, 104 p.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. Rio de Janeiro: CRESEB, 2023. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 25 de dezembro de 2023.

CHUNG, M.M.S., BAO, Y., ZHANG, B.Y., LE, T.M., HUANG, J.Y. (2022). Life Cycle Assessment on Environmental Sustainability of Food Processing. **Annual Review of Food Science and Technology**, 13, 217-237. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-food-062420-014630>. Acesso em: 06 de maio de 2023.

COMEX. **Exportação e Importação Geral**. Brasília: Ministério da Economia 2023. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 13 de março de 2023.

CONSOLI, F., ALLEN, D., BOUSTEAD, I., OUDE, N. DE FAVA, J., FRANKLIN, W., QUAY, B., PARRISH, R., PERRIMAN, R., POSTLETHWAITE, D., SEGUIN,

J., VIGON, B., Eds.; Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'; 1st ed **SETAC-Europe**: Brussels, Belgium, 1993. Disponível em: https://cdn.ymaws.com/www.setac.org/resource/resmgr/books/lca_archive/guidelines_for_life_cycle.pdf. Acesso em: 14 de março de 2023.

CROSSON, P., SHALLOO, L., O'BRIEN, D.; LANIGANC, G.J., FOLEYD, P.A., BOLAND, T. M., KENNY, D. A. (2011) A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. **Animal Feed Science and Technology**: V.166– 167; 29– 45. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840111001209>. Acesso em: 20 de março de 2023.

DA ROCHA, D. T.; CARVALHO, Glauco Rodrigues; DE RESENDE, J. C. Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária. **Embrapa Gado de Leite-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1124858>. Acesso em: 30 de março de 2023.

DALLA RIVA, A. et al. Environmental life cycle assessment of Italian mozzarella cheese: Hotspots and improvement opportunities. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 10, p. 7933–7952, out. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12396>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030217307191>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2023.

DANESHI, A., ESMAILI-SARI, A., DANESHI, M., BAUMANN, H. (2014). Greenhouse gas emissions of packaged fluid milk production in Tehran. **Journal of Cleaner Production**, 80, 150-158. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614005344>. Acesso em: 21 de março de 2023.

DE ALMEIDA FILHO, Geraldo Francisco et al. Avaliação do ciclo de vida do queijo mussarela de um laticínio na região norte do Brasil. **Revista Produção Online**, v. 20, n. 1, p. 316-339, 2020. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/3614>. Acesso em: 22 de março de 2023.

DE ALMEIDA, R. R. G et al. Proposição de uma metodologia para análise de viabilidade econômica de uma usina fotovoltaica. **Revista Principia—Divulgação Científica e Tecnológica Do IFPB**, v. 1, p. 84-92, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/1355>. Acesso em: 03 de novembro de 2023.

DE BOER, I. J. (2003). Environmental impact assessment of conventional and organic milk production. **Livestock Production Science**, 80, 69-77. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301622602003226>. Acesso em: 15 de março de 2023.

DE LÉIS, C. M. D. (2013). **Desempenho ambiental de três sistemas de produção de leite no Sul do Brasil pela abordagem da Avaliação do Ciclo de**

Vida. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/123127>. Acesso em: 20 de junho de 2023.

DE LÉIS, C. M. et al. Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, p. 44-60, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0813-3>. Acesso em: 21 de junho de 2023.

DE LUCA, Stella Quaglia Junqueira et al. Estudo da eficiência de um sistema de tratamento de efluentes líquidos de suinocultura. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 14, n. 1, 2017. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=3438&article=1485&mode=pdf>. Acesso em: 17 de março de 2023.

DE OLIVEIRA, Guilherme Nippes. **ANÁLISE DE CUSTOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE E ISOLADOS**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10029138.pdf>. Acesso em: 05 de dezembro de 2023.

DIAS, S. I. L. **Análise de estudos de avaliação de ciclo de vida para os laticínios**. 2011. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro. 2011. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/44d0678b1c2c09201eca69a920d54b0c/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em: 22 de março de 2023.

DJEKIC, I.; MIOCINOVIC, J.; TOMASEVIC, I.; SMIGIC, N.; TOMIC, N. (2014). Environmental life-cycle assessment of various dairy products. **Journal of Cleaner Production**, v. 68, p. 64-72. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652613009086>. Acesso em: 21 de março de 2023.

DOUBLET, G., JUNGBLUTH, N., STUCKI, M., SCHORI, S. (2013). Life Cycle Assessment of Romanian Beef and Dairy Products. Harmonized environmental sustainability in the European food and beverage chain (**SENSE**). Disponível em: https://esu-services.ch/fileadmin/download/doublet-2013-SENSE_Deliverable-2_1-LCAbeefdairy.pdf. Acesso em: 20 de março de 2023.

EIDE, M. H. (2002). Life Cycle Assessment (LCA) of industrial milk production. **The international Journal of Life Cycle Assessment**. V. 7, n.2, p. 115-126. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02978855>. Acesso em: 15 de março de 2023.

ELCOCK, D. **Life-cycle thinking for the oil and gas exploration and production industry**. US Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory (September), 2007. Disponível em: http://www.evs.anl.gov/pub/dsp_detail.cfm?PubID=2154. Acesso em: 14 fevereiro de 2023.

EMBRAPA. **Anuário do leite 2021.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1132875/anuario-leite-2021-saude-unica-e-total>. Acesso em: 09 de maio de 2022.

_____. **Anuário do leite 2022.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1144110/anuario-leite-2022-pecuaria-leiteira-de-precisao>. Acesso em: 10 maio de 2023

_____. **Anuário do leite 2023.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1154264/anuario-leite-2023-leite-baixo-carbono>. Acesso em: 17 de novembro de 2023.

EQUATORIAL ENERGIA. **Levantamento de custos do kWh de energia em Goiás no ano de 2022.** EQUATORIAL ENERGIA, 2023. Disponível em: <https://equatorialgoias.com.br/Index.aspx>. Acesso em: 11 de dezembro de 2023.

EQUATORIAL ENERGIA. **Levantamento de custos do kWh de energia em Goiás no ano de 2023.** EQUATORIAL ENERGIA, 2023. Disponível em: <https://equatorialgoias.com.br/Index.aspx>. Acesso em: 11 de dezembro de 2023.

FANTIN, V.; BUTTOL, P.; PERGREFFI, R.; MASONI, P. Life cycle assessment of Italian high-quality milk production. A comparison with an EPD study. **Journal of Cleaner Production**, 28, 150-159. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261100388X>. Acesso em: 20 de março de 2023.

FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nations.** FAO STAT - Livestock Primary. Roma, Italy, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>. Acesso em: 08 de agosto de 2022.

FAO. 2006. **Codex Standard (262–2006) for Mozzarella.** Disponível em: http://www.fao.org/input/download/standards/10749/CXS_262e.pdf. Acesso em: 27 de fevereiro de 2023.

FAO. O setor lácteo global: fatos. 2016. Rep., FAO, Roma. Disponível em <https://www.fao.org/3/cb2992en/cb2992en.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

FEIL, AA; SCHREIBER, D.; HAETINGER, C.; HABERKAMP, Â.M.; Kist, JI; REMPEL, C.; MAEHLER, AE; GOMES, MC; DA SILVA, GR Sustentabilidade na Indústria de Laticínios: Uma Revisão Sistemática da Literatura. **Sci. Poluir. Res.** 2020, 27, 33527-33542.

FERREIRA, Josiane Taiene. **Viabilidade econômica do uso da energia fotovoltaica: estudo de caso em edificação residencial unifamiliar.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/39213>. Acesso em: 10 de dezembro de 2023.

FINNEGAN, W. et al. A review of environmental life cycle assessment studies examining cheese production. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, n. 9, p. 1773–1787, nov. 2017. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-017-1407-7>. Acesso em: 23 de março de 2022.

FINNEGAN, W., YAN, M., HOLDEN, NM., GOGGINS, J. (2018). A review of environmental life cycle assessment studies examining cheese production. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 23, 1773-1787. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-017-1407-7>. Acesso em: 21 de março de 2023.

FINNEGAN, W.; GOGGINS, J.; CLIFFORD E.; ZHAN X. (2015). Global Warming Potential Associated with Dairy Products in the Republic of Ireland. **Journal of Cleaner Production**. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615011142>. Acesso em: 20 de março de 2023.

FINNEGAN, W.; GOGGINS, J.; CLIFFORD E.; ZHAN X. Global Warming Potential Associated with Dairy Products in the Republic of Ireland. **Journal of Cleaner Production**. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615011142>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2023.

FINNVEDEN, Göran et al. Desenvolvimentos recentes na avaliação do ciclo de vida. **Revista de gestão ambiental**, v. 91, n. 1, pág. 1-21, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479709002345>. Acesso em: 30 de janeiro de 2023.

FLYSJÖ, A. et al. How does co-product handling affect the carbon footprint of milk? Case study of milk production in New Zealand and Sweden. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [S.l.], v. 16, n. 5, p. 420-430, abr. 2011. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0283-9>. Acesso em: 20 de março de 2023.

FLYSJÖ, A., HENRIKSSON, M., CEDERBERG, C., LEDGARD, S., ENGLUND, J-E. (2011a) The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. **Agr Syst**, 104:459–69. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X11000412>. Acesso em: 20 de março de 2023.

FOX, P. F.; GUINEE, T. P.; COGAN, T. M.; McSWEENEY, P. L. H. **Fundamentals of cheese science**. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland. 2000. 544 p. GASPAR, João Filipe Pires. **Análise energética do ciclo de vida de produtos frutícolas**. 2016. Tese de Doutorado. Disponível em: https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/7813/1/5150_10202.pdf. Acesso em: 17 de fevereiro de 2023.

GERAGHTY, R. Resource Efficiency in Ireland's Dairy Processing Sector. 2011. **Enterprise IRELAND**. Disponível em: <https://www.leanbusinessireland.ie/includes/documents/Resource%20Efficiency%20Dairy%20Processing%20Ireland%20TOTAL%20JUNE%202011.pdf>. Acesso em: 20 de março de 2023.

GERBER, P., VELLINGA, T., OPIO, C., STEINFELD, H. (2011). Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. **Livestock Science**, 139: 100-108. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871141311000953>. Acesso em: 20 de março de 2023.

GHINEA, C., LEAHU, A. (2023). Life cycle assessment of sheep cheese production in a small dairy factory from Romanian rural area. **Environmental Science and Pollution Research**, 30 (3), 6986-7004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X21003780?via%3Dihub>. Acesso em: 23 de março de 2023.

GOHARI, A. et al. Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. **Science Of The Total Environment**, [S.l.], v. 442, p. 405-419, jan. 2013. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.029>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

GOIÁS. **Agro em dados**. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Seapa). 2020. Disponível em: <https://www.agricultura.go.gov.br/files/Agro-em-Dados-2020/AGROEMDADOS-JUNHO.pdf>. Acesso em: 03 de março de 2023.

GOIÁS. **Agro em dados**. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Seapa). 2022. Disponível em: [https://www.agricultura.go.gov.br/files/2022/AGROEMDADOS-FEVEREIRO\(2\).pdf](https://www.agricultura.go.gov.br/files/2022/AGROEMDADOS-FEVEREIRO(2).pdf). Acesso em: 03 de março de 2023.

GOIÁS. **Agro em dados**. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Seapa). 2023. Disponível em: <https://www.agricultura.go.gov.br/files/2023/AgroEmDados23/FEVEREIRO-AGROEMDADOS.pdf>. Acesso em: 03 de março de 2023.

GOIÁS. **Decreto Nº 9.710, de 03 de setembro de 2020**. Secretaria de Estado da Casa Civil (SECC). 2020. Disponível em: <https://legisla.casacivil.go.gov.br/api/v2/pesquisa/legislacoes/103356/pdf>. Acesso em: 19 de janeiro de 2024.

GONÇALVES, N. P.; MADERI, T. R.; SANTOS, P. F. Avaliação das práticas ambientais em indústrias de laticínios – estudo de caso. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 13, n. 2, 2017. Disponível em: http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1553. Acesso em: 23 março de 2022.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S., CASTANHEIRA, É. G., DIAS, AC., ARROJA, L. (2013a). Environmental life cycle assessment of a dairy product: the yoghurt. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 18, 796-811. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-012-0522-8>. Acesso em: 21 de março de 2023.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S., CASTANHEIRA, É. G., DIAS, AC., ARROJA, L. (2013c). Using Life Cycle Assessment methodology to assess UHT milk production in Portugal. **Science of the Total Environment**, 442, 225-234. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969712013174>. Acesso em: 21 de março de 2023.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S., CASTANHEIRA, É. G., DIAS, AC., ARROJA, L. (2013d). Environmental performance of a Portuguese mature cheese-making dairy mill. **Journal of Cleaner Production**, 41, 65-73. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612005422>. Acesso em: 21 de março de 2023.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S., CASTANHEIRA, EG, DIAS, AC, ARROJA, L., 2013. Desempenho ambiental exploração de uma fábrica de laticínios de queijo curado português. **J. Limpo**. Prod. 41.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S., HOSPIDO, A., MOREIRA, MT, FEIJOO, G., ARROJA, L. (2013b). Avaliação ambiental do ciclo de vida de um queijo galego: San Simon da Costa. **Journal of Cleaner Production**, 52, 253-262. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652613001339>. Acesso em: 21 de março de 2023.

GOOGLE **Maps**. Localização do latínio. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/15%C2%B059'00.0%22S+50%C2%B047'05.7%22W/@-15.9837322,-50.7856312,239m/data=!3m1!1e3!4m4!3m3!8m2!3d-15.9833403!4d-50.7849083!5m1!1e1?hl=pt-BR&entry=ttnu>. Acesso em: 25 de março de 2023.

GUERCI, M., KNUDSEN, M. T., BAVA, L., ZUCALI, M., SCHÖNBACH, P., KRISTENSEN, T. (2013). Parameters affecting the environmental impact of a range of dairy farming systems in Denmark, Germany and Italy. **Journal of Cleaner Production**. 1-9. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652613002795>. Acesso em: 21 de março de 2023.

GUIGNARD, C. et al. Environmental Ecological Impact of the Dairy Sector: Literature review on dairy products for an inventory of key issues. List of environmental initiatives and influences on the dairy sector. **International Dairy Federation. Bulletin of International Dairy Federation**. Report No.: 436, Belgium: 2009. 66 p. Disponível em: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.wiley-idt-v-64-i-1-idt621>. Acesso em: 23 de março de 2023.

GUINÉE, J. B.; Udo de Haes, H. A.; HUPPES, G. Quantitative life cycle assessment of products 1: Goal definition and inventory. **J. Clean. Prod.** 1993, 1 (1), 3–13. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652693900279>. Acesso em: 20 de março de 2023.

GUINÉE, J. H. **Life Cycle Assessment**: Operational Guide to the ISO Standards. Netherlands: Springer Netherlands, 2002. v. 7. 692 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Q1VYuV5vc8UC&oi=fnd&pg=PR8&dq=GUIN%C3%89E,+J.+H.+Life+Cycle+Assessment:+Operational+Guide+to+the+ISO+Standards.+Netherlands:+Springer+Netherlands,+2002.+v.+7.+692+p.&ots=mY60gsyLOP&sig=Ap0vYEPANJ7WCY4QdPErcKo7xY0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 23 de março de 2023.

GUINÉE, J.B.; HEIJUNGS, H.; HUPPES, G.; ZAMAGNI, A.; MASONI, P.; BUONAMICI, R. **Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future**. Environmental Science and Technology, 45(1), 90-96, 2011. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es101316v>. Acesso em: 25 de janeiro de 2023.

HAAS, G., WETTERICH, F., KÖPKE, U. (2001). Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 83, 43-53. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222519848_Comparing_intensive_extensified_and_organic_grassland_farming_in_Southern_Germany_by_process_life_cycle_assessment. Acesso em: 15 de março de 2023.

HAGEMANN, M., HEMME, T., NDAMBI, A., ALQAISI, O., SULTANA, N. (2011) Benchmarking of greenhouse gas emissions of bovine milk production systems for 38 countries. **Animal Feed Science and Technology**: V. 166–167, 46–58. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840111001210>. Acesso em: 20 de março de 2023.

HANSEN, Adriana Petrella. **Análise do efeito em termos de desempenho ambiental da substituição de etanol de origem fóssil por equivalente renovável na produção de poliestireno**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.3.2013.tde-06072014-192156>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

HAUSCHILD, M.; WENZEL, H. Environmental Assessment of products. Vol. 1: Methodology, tools and case studies in product development - Vol. 2: **Scientific background**; Chapman & Hall: London, U.K., 1998. Disponível em: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/environmental-assessment-of-products-volume-1-methodology-tools-a>. Acesso em: 02 de abril de 2023.

HEISKANEN, E. Institucionalização do Pensamento do Ciclo de Vida no Discurso Cotidiano dos Atores do Mercado. **Journal of Industrial Ecology**, v. 4, n. 4, pág. 31-45, 2000. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1162/10881980052541936>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2023.

HELLER, MC., KEOLEIAN, G.A. (2011). Life cycle energy and greenhouse gas analysis of a large-scale vertically integrated organic dairy in the United States.

Environmental Science and Technology, 45 (5), 1903-1910. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es102794m#>. Acesso em: 20 de março de 2023.

HENRIKSSON, M., FLYSJÖ, A., CEDERBERG, C., SWENSSON, C. (2011) Variation in carbon footprint of milk due to management differences between Swedish dairy farms. **Animal** 5:1474-84. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/animal/article/abs/variation-in-carbon-footprint-of-milk-due-to-management-differences-between-swedish-dairy-farms/DE65F21B8F8E8898C769C2AC998C6E55#access-block>. Acesso em: 20 de março de 2023.

HINZ, R.T.P. **Aspectos e impactos ambientais associados ao processo de injeção da blenda PPO/PSAI através do inventário do ciclo de vida**. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PGCEM. Universidade do Estado de Santa Catarina – Santa Catarina, Joinville, 2007.
HOSPIDO, A.; MOREIRA, M. T.; FEIJOO, G. Simplified life cycle assessment of Galician milk production. **International Dairy Journal**, V .13, p 783-796. 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694603001006>. Acesso em: 15 de março de 2023.

HOSPIDO, A., SONESSON, U. (2005). The environmental impact of mastitis: a case study of dairy herds. **Science of the Total Environment**, 343, 71-82. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969704007119>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2023.

HUNT, R. G.; Franklin, W. E.; WELCH, R. O.; CROSS, J. A.; WOODAL, A. E. Resource and environmental profile analysis of nine beverage container alternatives; U.S. **Environmental Protection Agency**: Washington, DC, 1974. <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=v-81YPCZcelC&oi=fnd&pg=PA1&dq=HUNT,+R.+G.%3B+Franklin,+W.+E.%3B+WELCH,+R.+O.%3B+CROSS,+J.+A.%3B+WOODAL,+A.+E.+Resource+and+environmental+profile+analysis+of+nine+beverage+container+alternatives%3B+U.S.+Environmental+Protection+Agency:+Washington,+DC,+1974.&ots=FzGQPrbYhL&sig=u6M6dUPt-WffUGGZI3NvbGA3f0Y#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 05 de abril de 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa do Município de Jussara, Goiás**. Goiânia, Goiás: IBGE, 2023. Disponível em: [Jussara \(GO\) | Cidades e Estados | IBGE](#). Acesso em: 16 de março de 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário de 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 de março de 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/territorio#/N6/5212808>. Acesso em: 06 de março de 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa da Mesorregião Noroeste Goiano**. Goiânia, Goiás: IBGE, 2023. Disponível em: <https://estatgeo.ibge.gov.br/EstatGeo2020/mapa/mapa.html?ni=6&ui=5212808&nz=8&uz=5202&nm2=1&nm3=1&nm6=1&nm8=1>. Acesso em: 14 de março de 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa da Microrregião município de Jussara, Goiás**. Goiânia, Goiás: IBGE, 2023. Disponível em: <https://estatgeo.ibge.gov.br/EstatGeo2020/mapa/mapa.html?ni=6&ui=5212808&nz=9&uz=52004&nm2=1&nm3=1&nm6=1&nm9=1>. Acesso em: 14 de março de 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: Produção de leite em Goiás em 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em : <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/go>. Acesso em 15 de março de 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de leite nos municípios goianos em 2012**. IBGE, 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home>. Acesso em: 15 de junho de 2023.

IMB, Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. **Produção de leite nos municípios goianos em 2012**. IMB, 2014. Disponível em: <http://www.imb.go.gov.br>. Acesso em 14 de junho de 2023.

INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION. **A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology** (Bulletin 479). 2015. Disponível em: https://www.fil-idf.org/wp-content/uploads/2016/09/Bulletin479-2015_A-common-carbon-footprint-approach-for-the-dairy-sector.CAT.pdf. Acesso em: 24 de maio de 2023.

ISO 14040 International Standard. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework; **International Organization for Standardization**: Geneva, Switzerland, 2006.

ISO 14044 International Standard. Environmental management-Life cycle assessment - Requirements and guidelines; **International Organization for Standardization**: Geneva, Switzerland, 2006.

ISO, (2006) - **International Organization for Standardization**. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/37456.html>. Acesso em: 25 de janeiro de 2023.

JESWANI, H. K.; AZAPAGIC, A.; SCHEPELMANN, P.; RITTHOFF, M. (2010) - Options for broadening and deepening the LCA approaches. **Journal of Cleaner Production**, 18(2): 120-127. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652609003229>. Acesso em: 26 de janeiro de 2023.

KAMIMURA, B.A.; MAGNANI, M.; LUCIANO, W.A. et al. Brazilian artisanal cheeses: an overview of their characteristics, main types and regulatory aspects. **Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.** v.18, p.1636-1657, 2019. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1541-4337.12486>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2023.

KIM, D., THOMA, G., NUTTER, D., MILANI, F., ULRICH, R., NORRIS, G. (2013). Life cycle assessment of cheese and whey production in the USA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 18, 1019-1035. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-013-0553-9>. Acesso em: 21 de março de 2023.

KIM, D.G. THOMA, D. NUTTER, F, MILANI. R, ULRICH, G, NORRIS. **Avaliação do ciclo de vida da produção de queijo e soro de leite nos EUA.** Int. J. Avaliação do Ciclo de Vida, 18 (2013), págs. 1019 – 1035.10.1007/s11367-013-0553-9. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-013-0553-9>. Acesso em: 02 de novembro de 2023.

KIM, Daesoo et al. Avaliação do ciclo de vida da produção de queijo e soro de leite nos EUA. **O Jornal Internacional de Avaliação do Ciclo de Vida**, v. 18, p. 1019-1035, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-013-0553-9>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2023.

KLOPFER, Walter. Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida dos produtos: (com comentários de Helias A. Udo de Haes, p. 95). **O Jornal Internacional de Avaliação do Ciclo de Vida**, v. 13, p. 89-95, 2008.

KORSSTRÖME, M. LAMPI. **Best available techniques (BAT) for the Nordic dairy industry.** 2008. Disponível em: http://eldri.ust.is/media/skyrslur2002/BAT_mjolkuridn_2001-586.pdf. Acesso em: 16 de maio de 2023.

KRISTENSEN, T., MOGENSEN, L., KNUDSEN, M. T., HERMANSEN, J. E. (2011). Effect of production system and farming strategy on greenhouse gas emissions from commercial dairy farms in a life cycle approach. **Livest Sci.** 140:136–48. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871141311000850>. Acesso em: 20 de março de 2023.

LEDGARD, SF, J. CHOBTANG, S. FALCONER e S. MCLAREN. 2016. **Avaliação do ciclo de vida dos sistemas de produção leiteira em Waikato, Nova Zelândia.** Disponível em: http://www.massey.ac.nz/~flrc/workshops/16/Manuscripts/Paper_Ledgard_2016.pdf. Acesso em: 21 de agosto de 2023.

LEITE, Marcelo Meira. **Análise comparativa dos sistemas de avaliação de impacto ambiental.** Lira WS, Cândido GA. (orgs). Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa [online]. Campina Grande: EDUEPB, p. 273-293, 2013. Disponível em:

<https://books.scielo.org/id/bxj5n/pdf/lira-9788578792824-12.pdf>. Acesso em: 23 de julho de 2023.

LI, Xin; CHEN, Lizhu; DING, Xuemei. Allocation methodology of process-level carbon footprint calculation in textile and apparel products. **Sustainability**, v. 11, n. 16, p. 4471, 2019. Disponível em: <https://peerj.com/articles/6937/>. Acesso em: 16 de setembro de 2023.

LOPES, Alessandra Quintana et al. **O Processamento de leite envasado sob a ótica da avaliação do ciclo de vida**. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/998>. Acesso em: 20 de junho de 2023.

LUO, Yan et al. Environmental sustainability of textiles and apparel: A review of evaluation methods. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 86, p. 106497, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925520307757>. Acesso em: 22 de setembro de 2023.

MASUI, K.; YAMADA, T. **Queijos franceses: guia para mais de 350 tipos de queijos de todas as regiões da França**. Rio de Janeiro: Ediouro, 1999. 240 p.

MENESES, M., PASQUALINO, J., CASTELLS, F. (2012) Environmental assessment of the milk life cycle: The effect of packaging selection and the variability of milk production data. **Journal of Environmental Management**, 107: 76-83. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479712002009>. Acesso em 21 de março de 2023.

MILANI, F., NUTTER, D., THOMA, G. (2011). Invited review: Environmental impacts of dairy processing and products: a review. **J. Dairy Sci.** 93: 4243-4254. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030211004371>. Acesso em: 20 de março de 2023.

MILANI, FX. NUTTER. D. THOMAS, G. Revisão convidada: Impactos ambientais do processamento e produtos lácteos: Uma revisão. **J. Dairy Sci.**, 94 (2011), págs. 4243-4254. DOI [10.3168/jds.2010-3955](https://doi.org/10.3168/jds.2010-3955). Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030211004371>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.

MILLER, GD; AUESTAD, N. Rumo a um Setor de Laticínios Sustentável: Liderança em Nutrição Sustentável. **Int. J. Tecnologia de laticínios**. 2013, 66, 307-316.

MUNYANEZA, Celestin; KURWIJILA, Lusato R.; MDOE, Ntengua S.Y.; BALTENWECK, Isabelle; TWINE, Edgar Edwin. Identification of appropriate indicators for assessing sustainability of small-holder milk production systems in Tanzania. **Sustainable Production and Consumption**, vol. 19, p. 141–160,

2019. Disponível em: [DOI 10.1016/j.spc.2019.03.009](https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.03.009). Acesso em: 21 de julho de 2023.

NGUYEN, T. T. H., DOREAU, M., CORSON, M. S., EUGÈNE, M., DELABY, L., CHESNEAU, G., GALLARD, Y., VAN DER WERF, H. M. G. (2013). Effect of dairy production system, breed and co-product handling methods on environmental impacts at farm level. **Journal of Environmental Management**. 120: 127-137. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713000662>. Acesso em: 21 de março de 2023

NIGRI, E. M., (2012). Análise Comparativa do Ciclo de Vida de Produtos Alimentícios Industriais e Artesanais da Culinária Mineira. Universidade Federal de Minas Gerais. **Escola de Engenharia**. Recuperado de http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8THJZY/an_lise_comparativa_do_ciclo_de_vida_de_produtos_aliment_cio.pdf?sequence=1. Acesso: 28 de março 2023

NIGRI, E. M., BARROS, A.C., ROCHA. S.D.F., FILHO E.R. (2014). Assessing environmental impacts using a comparative LCA of industrial and artisanal production processes: “Minas Cheese” case. **Food Science and Technology**, 34, 522-531. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/9NdkmJC9wrcZbp7DWHJF4fv/?lang=en>. Acesso em: 16 de março de 2023.

NIGRI, E.M.; ROMEIRO FILHO, E.; ROCHA, S.D.F. **Cimento tipo Portland: uma aplicação da análise do ciclo de vida simplificada**. 2009. In: **XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Salvador – Bahia. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STP_110_729_14630.pdf. Acesso em: 25 de maio de 2023.

NILSSON, C., FLYSJÖ, A., DAVIS, J., SIM, S., UNGER, N., BELL, S.(2010). Comparative life cycle assessment of margarine and butter consumed the UK, Germany and France. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 15, 916-926. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-010-0220-3>. Acesso em: 16 de março de 2023.

NORMAS BRASILEIRAS (NBR). **ISO 14040**: environmental management – life cycle assessment – principles and framework. International Organization for Standardization, Geneva, 2001.

NORO, Giovani. **Síntese e secreção do leite: componentes do leite**. Seminário apresentado na disciplina Bioquímica do Tecido Animal (VET00036). Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da UFRGS, 2001. Disponível em: https://www.ufrgs.br/lacvet/site/wp-content/uploads/2020/11/sintese_leite.pdf. Acesso em: 24 de maio de 2023.

NUNES, O. S., GASPAR, PD, NUNES, J., QUINTEIRO, P., DIAS, AC., GODINA, R. (2020). Life-Cycle Assessment of Dairy Products—Case Study of Regional

Cheese Produced in Portugal **Processes**, 8 (9), 1182. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/9/1182>. Acesso em: 23 de março de 2023.

NUNES, Óscar Soares et al. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos Lácteos**. Tese de Doutorado. 2018. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/10006>. Acesso em: 28 de dezembro de 2022.

NUTTER, DW., KIM, DS., ULRICH, R., THOMA, G. (2013). Greenhouse gas emission analysis for USA fluid milk processing plants: processing, packaging, and distribution. **International Dairy Journal**, 31, S57-S64. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694612002063>. Acesso em: 20 de março de 2023.

O'BRIEN, D., SHALLOO, L., PATTON, J., BUCKLEY, F., GRAINGER, C., WALLACE, M. (2012). A life cycle assessment of seasonal grass-based and confinement dairy farms. **Agr Syst**, 107:33–46. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X11001752>. Acesso em: 21 de março de 2023.

OLESEN, J. E., SCHELDE, K., WEISKE, A., WEISBJERG, M. R., ASMAN, W. A. H., DJURHUUS, J. (2006). Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 112: 207–220. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880905004202>. Acesso em 16 de março de 2023.

OLSZENSVSKI, F. T. (2011). **Avaliação do ciclo de vida da produção de leite em sistema semi extensivo e intensivo: estudo aplicado**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina, 194. Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/95317>. Acesso em: 20 de março de 2023.

OMETTO, Aldo Roberto. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia**. São Carlos. Tese (Doutorado)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/cicloDeVidaAlcool.pdf>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

O'BRIEN, D., SHALLOO, L., BUCKLEY, F., HORAN, B., GRAINGER, C., WALLACE, M. (2011). The effect of methodology on estimates of greenhouse gas emissions from grass-based dairy systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 141: 39-48. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880911000466>. Acesso em: 20 de março de 2023.

PALMIERI, N.; FORLEO, M. B.; SALIMEI, E. Environmental impacts of a dairy cheese chain including whey feeding: An Italian case study. **Journal of Cleaner**

Production, v. 140, n. 2, p. 881–889, jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.185>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616308721?via%3Dihub>. Acesso em: 29 de março de 2023.

PAUNONEN, Sara et al. Invironmental impact of cellulose carbamate fibers from chemically recycled cotton. **Journal of Cleaner Production**, v. 222, p. 871-881, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619307541>. Acesso em: 21 de setembro de 2023.

PELLEGRINO, Giampaolo Queiroz; ASSAD, Eduardo Delgado; MARIN, Fábio Ricardo. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, v. 8, p. 139-162, 2007. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wpcontent/uploads/sites/36/2014/05/mc_agricultura_brasil.pdf. Acesso em: 07 de fevereiro de 2023.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Acesso em: 15 de dezembro de 2023.

PHETTEPLACE, H. W., JOHNSON, D. E., SEIDL, A. F. (2001). Greenhouse gas emissions from simulated beef and dairy livestock systems in the United States. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 60, 99-102. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1012657230589>. Acesso em: 15 de março de 2023.

PICKA, J. A Melhoria da Eficiência dos Processadores de Leite Corporativos da Europa Central em 2008–2013. **Agris - Papo Online. Eco. Informar**. 2015, 7, 175-188.

PIEKARSKI, Cassiano Moro et al. Métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida: uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras. **Revista Gestão Industrial**, v. 8, n. 3, 2012. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/1325>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. CRESEB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Grupo de Trabalho de Energia Solar-GTES. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014. Disponível em: [Manual de engenharia fotovoltaica.indd \(cepel.br\)](Manual de engenharia fotovoltaica.indd (cepel.br)). Acesso em: 15 de dezembro de 2023.

PORTAL SOLAR. **Perguntas Frequentes: Energia Solar Fotovoltaica**. PORTAL SOLAR, 2023. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/perguntas-frequentes-energia-solar.html>. Acesso em: 10 de dezembro de 2023.

RASHIDI, Kamran; SAEN, Reza Farzipoor. Measuring eco-efficiency based on green indicators and potentials in energy saving and undesirable output abatement. **Energy Economics**, v. 50, p. 18-26, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140988315001413>. Acesso em: 21 de setembro de 2023.

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-31032010-114700/pt-br.php>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2023.

ROY, Poritosh et al. Uma revisão da avaliação do ciclo de vida (LCA) de alguns produtos alimentícios. **Journal of food engineering**, v. 90, n. 1, pág. 1-10, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877408002793>. Acesso em: 30 de janeiro de 2023.

RÖÖS, E., PATEL, M., SPÅNGBERG, J. (2016). Producing oat drink or cow's milk on a Swedish farm - environmental impacts considering the service of grazing, the opportunity cost of land and the demand for beef and protein. **Agric. Syst.** 142, 23–32. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X15300421>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2023.

SANTOS JR., H. C.; MARANDUBA, H. L.; NETO, J. A. A.; RODRIGUES, L. B., (2017). Life cycle assessment of cheese production process in a small-sized dairy industry in Brazil. **Environmental Science Pollution Research Int.** 24(4): 3470-3482. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-016-8084-0>. Acesso em: 20-de março de 2023.

SANTOS, A.de P. L.; FERNANDES, D. S. (2012). Análise do impacto ambiental gerado no ciclo de vida de um tecido de malha. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, SC, Brasil, v.4, n.7, p. 1-17, 2012. Disponível em: <https://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/1483>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2023.

SANTOS, H. C. M. et al. Life cycle assessment of cheese production process in a small-sized dairy industry in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, [S.l.], v. 24, n. 4, p. 3470-3482, nov. 2016. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8084-0>. Acesso em: 21 de março de 2023.

SANTOS, Hudson Carlos Maia et al. Avaliação do ciclo de vida do processo de produção de queijo em uma indústria de laticínios de pequeno porte no Brasil. **Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição**, v. 24, p. 3470-3482, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-016-8084-0>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2023.

SANTOS, L. R. O.; OLIVEIRA, B. S. **Goiás em dados 2022**. Goiânia: Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos, 2022. Disponível em: <https://www.imb.go.gov.br/files/docs/publicacoes/goias-em-dados/godados2022.pdf>. Acesso em: 07 de março de 2023.

SENAR GOIÁS. **Diagnóstico da Cadeia Láctea do Estado de Goiás 2019: Relatório de Pesquisa**. Goiânia. 2019. Disponível em: <https://sistemafaeg.com.br/storage/arquivos/a559a2148e390880ca5177a7c7c0efc6.pdf>. Acesso em: 03 de março de 2023.

SEÓ, H.L.S.; FILHO, L.C.P.M.; RUVIARO.C.F.; LÉIS.C.M. Avaliação do Ciclo de Vida na bovinocultura leiteira e as oportunidades ao Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 221-237, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/sWdgTN4hmmRcpHddpMY6DLr/abstract/?lang=pt>. Acesso: 30 de janeiro de 2023.

SERWETA, Wioleta et al. Carbon footprint of different kinds of footwear—a comparative study. **Fibres & Textiles in Eastern Europe**, n. 5 (137, p. 94-99, 2019). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336924621_Carbon_Footprint_of_Different_Kinds_of_Footwear_-_a_Comparative_Study. Acesso em: 15 de setembro de 2023.

SOARES, Kamilla Ribas; XIMENES, Luciano Feijão. **Agropecuária: Lácteos**. Fortaleza: BNB, ano 8, n. 266, jan. 2023. (Caderno Setorial Etene). Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1623>. Acesso em: 13 de março de 2023.

STRAPASSON, Alexandre Betinardi. **A energia térmica e o paradoxo da eficiência energética: desafios para um novo modelo de planejamento energético**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-25092005-155030/en.php>. Acesso em: 05 de agosto de 2023.

SUNDSTROM, G. Investigation of energy requirements from raw material to garbage treatment for four Swedish beer and packaging alternatives; Malmo, Sweden, 1971. (6) Boustead, I. Resource implications with particular reference to energy requirements for glass and plastic milk bottles. **Int. J. Dairy Technol.** 1974, 27 (3), 159–165.

THOMA, G., JOLLIET, O., WANG, Y. (2013b). A biophysical approach to allocation of life cycle environmental burdens for fluid milk supply chain analysis. **International Dairy Journal**. 31: S41-S49. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694612001951>. Acesso em: 21 de março de 2023.

THOMA, G., POPP, J., NUTTER, D., SHONNARD, D., ULRICH, R., MATLOCK, M., KIM, D. S., NEIDERMAN, Z., KEMPER, N., EAST, C., ADOM, F. (2013c) Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa 2008. **International Dairy**

Journal 31: S3 S14. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694612001975>. Acesso em: 21 de março de 2023.

THOMA, G., POPP, J., SHONNARD, D., NUTTER, D., MATLOCK, M., ULRICH, R., KELLOGG, W., KIM, D. S., NEIDERMAN, Z., KEMPER, N., ADOM, F., EAST, C. (2013a). Regional analysis of greenhouse gas emissions from USA dairy farms: A cradle to farm-gate assessment of the American dairy industry circa 2008. *International Dairy Journal* 31: S29-S40. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694612002051>. Acesso em: 21 de março de 2023.

THOMASSEN, M. A., DALGAARD, R., HEIJUNGS, R., DE BOER, I. J. M. (2008a). Attributional and consequential LCA of milk production. *Int J Life Cycle Assess* 13:339–349. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-008-0007-y>. Acesso em 16 de março de 2023.

THOMASSEN, M. A., DE BOER, I. J. M. (2005). Evaluation of indicators to assess the environmental impact of dairy production systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 111, 185-199. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016788090500280X>. Acesso em: 16 de abril de 2023.

THOMASSEN, M. A., VAN CALKER, K. J., SMITS, M. C. J., IEPEMA, G. L., DE BOER, I. J. M. (2008b) Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agr Syst* 96:95–107. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X07000819>. Acesso em 16 de março de 2023.

ÜÇTUĞ, FG. 2019. The environmental life cycle assessment of dairy products. *Food Engineering Reviews*, v 11, n.2, p. 104–121. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12393-019-9187-4>. Acesso em: 07 de maio de 2023.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Dairy and Products Semi-annual: European Union**. Report Number E42021-0043, maio, 2021f. 12p. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/european-union-dairy-and-products-semi-annual-1>. Acesso em: 10 de março de 2023.

_____. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Dairy: World Markets and Trade**. USDA, 2023. Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/dairy-world-markets-and-trade>. Acesso em: 15 de janeiro de 2023.

_____. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Dairy and Products Annual in Brazil**. USDA, 2020. <https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Dairy%20and%20Products%20Annual%20Brasilia%20Brazil%2010-15-2020>. Acesso em: 19 de janeiro de 2024.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Dairy and Products Annual in Brazil**. USDA, 2021. https://usdabrazil.org.br/wp-content/uploads/2021/11/Dairy-and-Products-Annual_Brasilia_Brazil_10-15-2021.pdf. Acesso em: 17 de janeiro de 2024.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Dairy and Products Annual in Brazil**. USDA, 2022. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Dairy%20and%20Products%20Annual_Brasilia_Brazil_BR2022-0066. Acesso em: 17 de janeiro de 2024.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Dairy and Products Annual in Brazil**. USDA, 2023. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Dairy%20and%20Products%20Annual_Brasilia_Brazil_BR2023-0026. Acesso em: 17 de janeiro de 2024.

VALODKA, Ignas et al. Impact of the international trade on the EU clothing industry carbon emissions. 2020. Disponível em: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/85692>. Acesso em: 20 de setembro de 2023.

VALT, R.B.G. **Análise do ciclo de vida de embalagens pet, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais**. 2004. 193 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/1593>. Acesso em: 15 de maio de 2023.

VAN DER WERF, H. M., KANYARUSHOKI, C., CORSON, M. (2009). An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. **Journal of Environmental Management**, 90, 3643-3652. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479709002424>. Acesso em: 16 de março de 2023.

VAN MIDDELAAR, C.E., BERENTSEN, P.B.M., DOLMAN, M.A., DE BOER, I.J.M. (2011). Eco-efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese. **Livestock Science**, v. 139, n. 1-2, pág. 91-99, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871141311000965>. Acesso em: 16 de março de 2023.

VERGÉ, XP, MAXIME, D., DYER, JA, DESJARDINS, RL, ARCAND, Y., VANDERZAAG, A. (2013). Carbon footprint of Canadian dairy products: calculations and issues. **Journal of Dairy Science**, 96 (9), 6091-6104. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030213004797>. Acesso em: 21 de março de 2023.

XIMENES, Luciano Feijão. **Lácteos**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n. 181. ago. 2021. (Caderno Setorial ETENE). Disponível em:

<https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/909>. Acesso em: 10 de março de 2023.

YAN, M-J., HUMPHREYS, J., HOLDEN, N. M. (2011). An evaluation of life cycle assessment of European milk production. **J Environ Manage**. 92: 372-9. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479710003579>. Acesso em: 20 de março de 2023.

YORK, L.; HEFFERNAN, C.; RYMER, C. A systematic review of policy approaches to dairy sector greenhouse gas (GHG) emission reduction. **Journal of Cleaner Production**, vol. 172, p. 2216–2224, 2018. Disponível em: DOI [10.1016/j.jclepro.2017.11.190](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.190). Acesso em: 20 de junho de 2023.

ANEXO I

Questionário aplicado na pesquisa ACV (Laticínio)

Período analisado: janeiro a dezembro de 2022

Período de coleta: janeiro a junho de 2023

(Coleta de dados primários)

Razão Social:

Nome Fantasia;

CNPJ:

Inscrição estadual:

Proprietário:

Endereço: Rodovia GO 418, Jussara a Novo Brasil, Km 20 esquerda a 1 Km – Zona rural, Município de Jussara-GO.

Finalidade: Produção de derivados lácteos;

Área do terreno: 1.172,85m²;

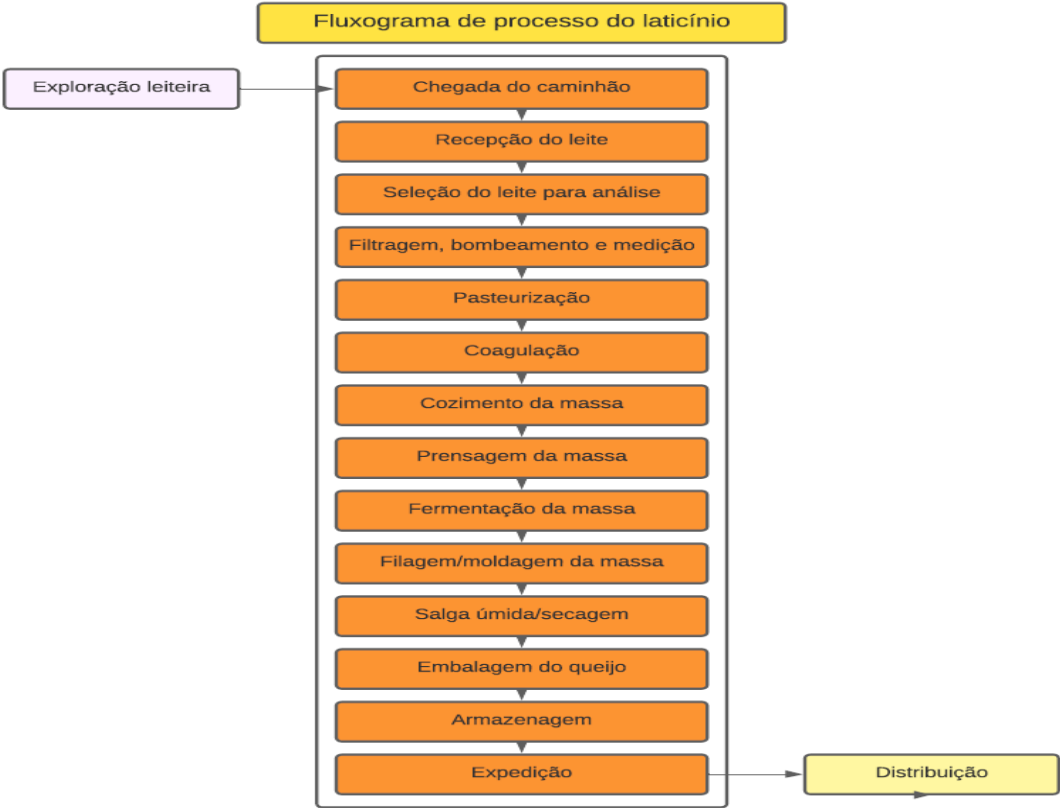
Área construída: 369,56m²;

Capacidade de recepção de leite diária: 10.0000L;
Produtos fabricados: queijo mussarela;
Limite do Sistema: gate-to-gate;
Público-alvo da pesquisa (quem foram os entrevistados): proprietária, gerente de produção e queijeiro
Bacia da captação: Novo Brasil, Jussara, Fazenda Nova, Itapirapuã;
Pontos de captação: 46 tanques de produtores rurais familiares;
Captação feita pelo laticínio: Caminhão tanque;
Mão-de-obra: 6 funcionários (1 gerente de produção, 1 queijeiro, 4 auxiliares de produção);
Mercado de consumo: estado de Goiás;
Quantidade de entrada de leite por dia: média de 6500L/dia;
Quantidade Anual de Leite: 2172841L;
Quantidade média de energia por mês: 3712kWh
Quantidade média de energia por ano: 44543kWh
Quantidade média de metros cúbicos de madeira utilizado por mês: 60m³ de lenha;
Quantidade média de metros cúbicos de madeira utilizado por ano: 720m³ de lenha;
Quantidade média de água por mês: 150.000L;
Quantidade média de água por ano: 1.800.000L;
Disponibilidade da água: Poço artesiano;
Quantidade de ácido nítrico utilizado no mês: 100L;
Quantidade hipoclorito de sódio utilizado no mês: 50L;
Quantidade de detergente alcalino utilizado no mês: 50L;
Quantidade de embalagens por mês: 181Kg;
Quantidade ácido láctico por mês: 1810Kg
Quantidade de cloreto de sódio por mês: 750Kg
Quantidade de coalho por mês: 7,25L
Quantidade cloreto de cálcio por mês: 60Kg
Quantidade média de leite para produzir um quilo mussarela: 10L;
Destinação das águas residuais: represa de decantação;
Quantidade média de queijo produzida por mês: 18.107Kg;
Quantidade média de queijo produzida por ano: 217.284Kg;

Uso soro: desnatado para fazer creme e ricota em unidade anexo ao laticínio.

Uso do soro: os resíduos do soro são captados pelos produtores de suínos presentes próximo ao laticínio.

Fluxo do processo produtivo unidade fabril:



Maquinários utilizados para processamento: detalhamento dos maquinários;

Plataforma de Recepção do leite

Máquinas
01 Tanque de expansão de 1000L
01 Tanque de expansão de 1000L
01 Tanque de expansão de 1000L
01 Desnatadeira 1.000L/h
01 Pasteurizador 3000L/h
01 Bomba de água quente
01 Bomba de água quente
01 Bomba de alimentação
01 Bomba de equilíbrio
01 Compressor Grande

Sala de fabricação térreo e pavimento superior

Máquinas

01 Queijomatic de 5.000L
01 Drenoprensa de 1.000L
01 Filadeira de mussarela 500kg/h;
01 Moldadeira de massas 500kg/h;
03 Exaustor de parede elétrico;

Sala de depósito de soro

Máquinas
01 Exaustor de parede elétrico;
01 Bomba de transferência sanitária

Câmara fria de Salga

Máquinas
01 Forçador de ar; Temperatura Máx. 10°C; %££-GASSE

Câmara fria de secagem

Máquinas
01 Forçador de ar; Temperatura Máx. 10°C;

Sala de Caldeira

Máquinas
1 Motor:

Captação de água

Máquinas
1 Moto Bomba
1 Moto Bomba

ANEXO II

Plataforma de Recepção do leite						
Máquinas e equipamentos	Potência do Motor	Horário de Funcionamento	Consumo dia (kWh)	Consumo mês (kWh)	Consumo Anual (kWh)	Valor (R\$)
01 Tanque de expansão de 1000L	2,5 CV	2 h/dia	4,08	122,4	1468,8	1.047,25
01 Tanque de expansão de 1000L	2,5 CV	2 h/dia	4,08	122,4	1468,8	1.047,25
01 Tanque de expansão de 1000L	2,5 Cv	2 h/dia	4,08	122,4	1468,8	1.047,25
01 Desnatadeira 1.000L/h	2 Cv	4 h/dia	6,54	196,2	2354,4	1.678,69
01 Pasteurizador 3000L/h Motores do pasteurizador						
01 Bomba de água quente	1 Cv	6 h/dia	4,902	147,06	1764,72	1.258,25
01 Bomba de água quente	1 Cv	6 h/dia	4,902	147,06	1764,72	1.258,25
01 Bomba de alimentação	1 Cv	6 h/dia	4,902	147,06	1764,72	1.258,25
01 Bomba de equilíbrio	1 Cv	6 h/dia	4,902	147,06	1764,72	1.258,25
01 Compressor*	3 Cv	6h/dia	14,71	441,3	5295,6	3.775,76
TOTAL			53,098	1592,94	19115,28	13.629,19

Sala de fabricação térreo e pavimento superior						
Máquinas e equipamentos	Potência do Motor	Horário de Funcionamento	Consumo dia (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo Anual (kWh)	Valor (R\$)

01 Queijomatic de 5.000L	4 Cv	8h/dia	26,16	784,8	9.417,60	6.714,75
01 Drenoprensa de 1.000L*	Compressor	1 h/dia				
01 Filadeira de mussarela 500kg/h;	1 Cv	4 h/dia	8,17	245,1	2941,2	2.097,08
	1 Cv					
	0,5 Cv					
01 Moldadeira de massas 500kg/h;	0,5 Cv	4 h/dia	9,04	271,2	3254,4	2.320,38
	1 Cv					
03 Exaustor de parede elétrico;	0,25 Cv	8h/dia	1,6	48	576	410,688
TOTAL			44,97	1349,1	16.189,20	11.542,89

Sala de depósito de soro						
Máquinas e equipamentos	Potência do Motor	Horário de Funcionamento	Consumo dia (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo Anual (kWh)	Valor (R\$)
01 Exaustor de parede elétrico;	0,25 Cv	8h/dia	1,6	48	576	410,688
01 Bomba de transferência sanitária	1 Cv	2,5 h/dia	2,04	61,2	734,4	523,6272
TOTAL			3,64	109,2	1310,4	934,32

Câmara fria de Salga						
Máquinas e equipamentos	Potência do Motor	Horário de Funcionamento	Consumo dia (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo Anual (kWh)	Valor (R\$)

01 Forçador de ar; Temperatura Máx. 10°C; %££-GASSE	2 Cv	6 h/dia	9,78	293,4	3520,8	2.510,33
TOTAL			9,78	293,4	3520,8	2.510,33

Câmara fria de secagem						
Máquinas e equipamentos	Potência do Motor	Horário de Funcionamento	Consumo dia (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo Anual (kWh)	Valor (R\$)
01 Forçador de ar; Temperatura Máx. 10°C;	1 Cv	6 h/dia	4,9	147	1764	1.257,73
TOTAL			4,9	147	1764	1.257,73

Sala de Caldeira						
Máquinas e equipamentos	Potência do Motor	Horário de Funcionamento	Consumo dia (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo Anual(kWh)	Valor (R\$)
1 Motor:	1 Cv	6 h/dia	4,9	147	1764	1.257,73
TOTAL			4,9	147	1764	1.257,73

Captação de água						
Máquinas e equipamentos	Potência do Motor	Horário de Funcionamento	Consumo dia (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo Anual(kWh)	Valor (R\$)
1 Bomba	0,5 Cv	2h/dia	0,81	24,3	291,6	207,9108
1 Bomba	1 Cv	2h/dia	1,63	48,9	587	418,39
TOTAL			2,44	73,2	878,4	626,2992

CONSUMO TOTAL	123,73	3.711,90	44.542,80	31.759,01
----------------------	---------------	-----------------	------------------	------------------

Compressor atende: 01 Drenoprensa de 1.000L

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa.

ANEXO III
CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA
FONTE: GERÊNCIA DE INSPEÇÃO
MEMORIAL DESCRITIVO, ECONÔMICO E SANTÁRIO
REGISTRO DE ESTABELECIMENTOS POA COMESTÍVEIS
AGROFESA – ESTADO DE GOIÁS (ADAPTADO)

EMPRESA SISBI? Não

EMPRESA AGRICULTURA FAMILIAR? Não

EMPRESA ARTESANAL? Não

SELO: SIE (selo para produtos comercializados na esfera estadual);

1. RAZÃO SOCIAL: Indústria de Laticínios Sobradinho Ltda.

2. NOME DE FANTASIA: Laticínios Sobradinho.

3. CNPJ: 27.864.572/0001-75.

3.1. ENQUADRAMENTO DE PORTE: Micro (ME).

3.2. CÓDIGO CNAE: C-1052-0/00

3.3. REGIME TRIBUTÁRIO: SIMPLES

3.4. DATA DE FUNDAÇÃO: 31/05/2017

4. INSCRIÇÃO ESTADUAL: 10.694.825-3

5. PROPRIETÁRIO: Sigiloso

6. ENDEREÇO COMPLETO: Rodovia GO-418, Jussara a Novo Brasil Km 20
esquerda 1km Zona rural, município de Jussara-GO.

7. CLASSIFICAÇÃO DO ESTABELECIMENTO: Unidade de beneficiamento de
leite e derivados.

8. FINALIDADE: Produção de derivados lácteos.

9. ÁREA DO TERRENO: 1.172,85m²

10. ÁREA CONSTRUÍDA TOTAL: 369,56m²;

11. PE-DIREITO: 2;

Produção: Média 4.0m;

Banheiros, vestiários, laboratório, refeitório e lavanderia: 3,5m;

ao de leite: 3,5m;

Câmaras: 2,40m;

Caldeira: 3.5m;

12. CAPACIDADE MÁXIMA DIÁRIA (RECEPÇÃO): 10.000 L Leite (Transporte do leite cru em latões e tanque isotérmico);

13. PRODUTOS A SEREM FABRICADOS E DESCRIÇÃO DE PROCESSO DE FABRICAÇÃO:

Mussarela;

14. UTENSÍLIOS, INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS DA BARREIRA SANITÁRIA.

01 Molas vão e vêm nas duas portas da barreira;

01 Lavador de botas acionamento com pedal;

01 Bebedor de água;

01 porta sabão em plástico;

01 porta álcool em gel em plástico;

01 Lixeira com tampa acionamento pedal;

01 Porta papel toalha;

01 Lavatório de mãos com torneira com acionamento pedal.

15. PROCEDÊNCIA DA MATÉRIA-PRIMA: Terceiros

16. MERCADO DE CONSUMO: Goiás

17. NÚMERO DE EMPREGADOS: 06

18. EQUIPAMENTOS E APARELHOS A SEREM INSTALADOS. QUANTIDADES, DIMENSÕES, CAPACIDADES E TEMPERATURAS DOS EQUIPAMENTOS E APARELHOS DOS SETORES DE PRODUÇÃO:

18.1. Plataforma de Recepção do leite

Máquinas:

01 Tanque de expansão de 1000L;

01 Tanque de expansão de 1000L;

01 Tanque de expansão de 1000L;

01 Desnatadeira 1.000L/h;

01 Pasteurizador 3000L/h;

01 Bomba de água quente;

01 Bomba de água quente;

01 Bomba de alimentação;

01 Bomba de equilíbrio;

01 Compressor Grande;

18.2. Sala de fabricação térreo e pavimento superior

Máquinas:

- 01 Queijomatic de 5.000L;
- 01 Drenoprensa de 1.000L;
- 01 Filadeira de mussarela 500kg/h;
- 01 Moldadeira de massas 500kg/h;
- 03 Exaustor de parede elétrico;

18.3. Sala de depósito de soro:

Máquinas:

- 01 Exaustor de parede elétrico;
- 01 Bomba de transferência sanitária

18.4. Câmara fria de Salga:

Máquinas:

- 01 Forçador de ar; Temperatura Máx. 10°C; %EE-GASSE;

18.5. Câmara fria de secagem:

Máquinas:

- 01 Forçador de ar; Temperatura Máx. 10°C;

18.6. Sala de Caldeira:

Máquinas:

- 1 Motor;
 - 1 Caldeira a lenha;
- 18.7. Captação de água

Máquinas

- 1 Moto Bomba;
- 1 Moto Bomba;

19. MEIOS DE TRANSPORTES EMPREGADOS:

Coleta de leite realizada em latões sendo recebida até duas horas após ordenha e tipo graneilizada, em caminhões isotérmicos de aço inox. Para transporte de produto acabado caminhões isotérmicos refrigerados de carga tipo baú.

20. ÁGUA DE ABASTECIMENTO:

- a. PROCEDÊNCIA E VOLUME DE VAZÃO: Poço e Volume vazão 700Lt/h;
- b. PROCESSO DE CAPTAÇÃO: Tubos de Polietileno;
- c. SISTEMA DE TRATAMENTO: Dosador de Cloro automático;
- d. DEPÓSITO E SUA CAPACIDADE: Reservatório Capacidade 20.000Lt;

21. DESTINO DADO ÀS ÁGUAS SERVIDAS, ESGOTOS, MEIOS EMPREGADOS PARA DEPURAÇÃO DAS ÁGUAS SERVIDAS ANTES DE SEREM LANÇADAS NOS ESGOTOS, RIOS RIACHOS:

Lançadas p sistema de tratamento de efluentes.

22. VENTILAÇÃO E ILUMINAÇÃO (NATURAL OU ARTIFICIAL) NAS DIVERSAS DEPENDÊNCIAS: A empresa dispõe de 06 exaustores de parede com telas de proteção contra moscas. Utiliza lâmpadas tipo led com proteção contra estilhaços e rompimentos. A cor da luz e sua intensidade não influencia na cor do produto.

23. SEPARAÇÃO ENTRE AS DEPENDÊNCIAS DE ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS COMESTÍVEIS E DE NÃO COMESTÍVEIS: Paredes de Alvenaria

24. ESQUADRIAS E PORTAS (DIMENSÕES E MATERIAL). TIPO DE

ESQUADRIAS: portas janelas, portões, óculo.

25. EXISTÊNCIA DE TELAS A PROVA DE MOSCAS NAS JANELAS: Sim. Nos exaustores da sala de produção e sala embalagens.

26. PORTAS COM MOLAS VAI-VEM NAS DEPENDÊNCIAS DE ELABORAÇÃO DE PRODUTOS E NOS DEPÓSITOS DE PRODUTOS COMESTÍVEIS: Sim. Barreira sanitária, depósito de embalagens e depósito de ingredientes.

27. CORTINAS DE AR NAS PORTAS E EM OUTRAS ABERTURAS: Não. Existência de cortina de PVC instaladas no óculo da sala de embalagens, câmara fria de estocagem e laboratório.

28. TIPO DE PISO (ÁREA DE PRODUÇÃO E PÁTIO EXTERNO):

Área de Produção - Piso industrial gressit cor bege clara. Depósito de ingredientes, banheiros, vestiários, depósito de produto químico, escritório, laboratório, depósito de embalagem primária - Piso cerâmica cor bege claro. Pátio externo Piso concreto rústico.

29. MATERIAL DE IMPERMEABILIZAÇÃO DAS PAREDES: Paredes internas são revestidas com revestimento cerâmico branco até o forro PVC. Paredes externas com textura e pinturas laváveis.

30. TIPO DE TETO DAS SALAS DE ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS COMESTÍVEIS: Forro de PVC.

31. EXISTÊNCIA DE DEPENDÊNCIAS DA INSPEÇÃO ESTADUAL:

Sim. Laboratório

Sim. Escritório de uso compartilhado com a Agrodefesa e administrativo da empresa.

32. TIPO DE REVESTIMENTO DAS MESAS: Inox

33. TIPO DE CONSTRUÇÃO E DO REVESTIMENTO INTERNO DOS TANQUES PARA SALGA: Fibra de vidro.

34. TIPO DE PASTEURIZAÇÃO REALIZADA (LENTA OU RÁPIDA): Pasteurização rápida a placas de inox

35 EXISTÊNCIA DE FÁBRICA DE GELO E SUA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO: Não possui fábrica de gelo.

36 LOCAL PARA GUARDA DAS EMBALAGENS (PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS):

Depósito de embalagem primária: prateleira, piso cerâmica; paredes em alvenaria com revestimento cerâmico até o forro PVC, teto em telha galvanizada.

Depósito de embalagem secundária: não utiliza;

37 LOCAL PARA GUARDA DE MATERIAL DE LIMPEZA: D.M.L. Com prateleira para produtos (desinfetante, sabonete, sanitizante) e suporte para rodos e vassouras, piso em cerâmica; paredes em alvenaria com revestimento cerâmico até 1,5m, acima pintura lavável branca até o forro;

38. LOCAL PARA A GUARDA DOS INGREDIENTES DA PRODUÇÃO: Sim. Departamento de ingredientes. Piso em cerâmica, estrados plásticos no piso e prateleiras, paredes em alvenaria com revestimento cerâmico até forro. Teto em telha trapezoidal galvanizada. Os ingredientes para uso diário são levados para sala de fabricação no início da produção.

39 LOCAL PARA O ARMAZENAMENTO DO SORO ORIUNDO DA FABRICAÇÃO DE QUEIJOS: O soro é armazenado em um reservatório com capacidade de 5000 litros e destinado para alimento de animais e doado para fornecedores de leite.

40 DEPÓSITO DE RESÍDUOS NÃO COMESTÍVEIS DA PRODUÇÃO/ABATE E O SEU DESTINO: Não existe depósito para resíduos não comestíveis.

41 LOCAL PARA LAVAGEM DE CAIXAS SUJAS E GUARDA DE CAIXAS LIMPAS: São higienizadas na área de higienização manualmente e enviadas para sala de embalagem através de um óculo e depositadas em estrados plástico. Piso em cerâmica, paredes em alvenaria com revestimento o cerâmico. Teto em telha trapezoidal galvanizada. Para limpeza utiliza solução alcalina clorada, sendo o processo de limpeza e sanitização realizado em única operação.

42 EXISTÊNCIA DE DEPENDÊNCIA PARA ELABORAÇÃO DE SUBPRODUTOS NÃO COMESTÍVEIS, LOCALIZAÇÃO, INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS:

A fábrica não elabora subprodutos.

43 VESTIÁRIOS E ROUPARIA: Sim. Separados por gêneros;

Armários em aço e Banco em alvenaria com revestimento cerâmico;

Piso em cerâmica; Paredes em alvenaria com revestimento cerâmico até 1,5m acima pintura lavável branca até o forro, forro em laje;

Lavanderia- não existe, sendo lavagem dos uniformes terceirizada;

44 REFEITÓRIO PARA OS FUNCIONÁRIOS: Utilizado para lanches. A empresa não faz almoço. Piso em cerâmica; Paredes em alvenaria com revestimento cerâmico até o telhado e nas paredes que são baixas revestimento cerâmico em toda parede, telhado com telha fibrocimento.

45 INFORMAÇÕES SOBRE BANHEIROS E INSTALAÇÕES SANITÁRIAS:

Sim. Separados por gêneros.

Possui saboneteira para sabonete antisséptico, álcool gel 70, papel toalha e lixeira com tampa e acionamento com pedal. Piso em cerâmica; Paredes em alvenaria com revestimento cerâmico até 1,5m acima pintura lavável branca até o forro.

46 INDICAÇÃO DE EXISTÊNCIA NAS PROXIMIDADES, DE CURTUMES, FÁBRICAS DE PRODUTOS ORGÂNICOS E OUTROS ESTABELECIMENTOS INDUSTRIAIS QUE POR SUA NATUREZA PRODUZAM MAU-CHEIRO.

Não existe nas proximidades.

ANEXO IV

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE

Você/Sr./Sra., Marcilene Rodrigues de Godoi, está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), da pesquisa intitulada “ANÁLISE DO POTENCIAL IMPACTO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO DE QUEIJO MUSSARELA NA BACIA LEITEIRA DE JUSSARA – GO”. Meu nome é Eder luz Xavier dos Santos, sou o(a) pesquisador(a) responsável e minha área de atuação do Grupo de Pesquisa no CNPq: Avaliação do Ciclo de Vida na agropecuária brasileira, Sustentabilidade de sistemas de produção leiteira, Linha de pesquisa: Bioeconomia. Após receber os esclarecimentos e as informações a seguir, se você aceitar fazer parte do estudo, rubrique todas as páginas e assine ao final deste documento, que está impresso em duas vias, sendo que uma delas é sua e a outra pertence ao(a) pesquisador(a) responsável. Esclareço que em caso de recusa na participação você não será penalizado (a) de forma alguma. Mas se aceitar participar, as dúvidas *sobre a pesquisa* poderão ser esclarecidas pelo(s) pesquisador (es) responsável(is), via e-mail (ederpadrao@gmail.com) e, inclusive, sob forma de ligação a cobrar, acrescentando o número 9090 antes do(s) seguinte(s) contato(s) telefônico(s): (62) 982154667. Ao persistirem as dúvidas *sobre os seus direitos* como participante

desta pesquisa, você também poderá fazer contato com o **Comitê de Ética em Pesquisa** da Universidade Federal da Grande Dourados: (67) 3410-2853, E-mail do CEP/UFGD: cep@ufgd.edu.br, Endereço: Prédio da Reitoria, Unidade I, Sala 501, Rua João Rosa Góes, 1761 - Vila Progresso, Dourados - MS. CEP 79825-070 funcionamento: 8h às 12h e 13h às 17h, de segunda a sexta-feira. O Comitê de Ética em Pesquisa é vinculado à Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) que por sua vez é subordinado ao Ministério da Saúde (MS). O CEP é responsável por realizar a análise ética de projetos de pesquisa com seres humanos, sendo aprovado aquele que segue os princípios estabelecidos pelas resoluções, normativas e complementares.

A leitura desse TCLE deve levar aproximadamente 10 minutos e a participação na pesquisa 180 minutos.

1. Informações Importantes sobre a Pesquisa:

1.1 Título, justificativa, objetivos:

Título: “ANÁLISE DO POTENCIAL IMPACTO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO DE QUEIJO MUSSARELA NA BACIA LEITEIRA DE JUSSARA – GO.”

Justificativa:. Não obstante o sistema agroindustrial leiteiro ser estratégico para o país, devido a sua importância econômica e social, os produtos lácteos são responsáveis por 4% das emissões de GEE, porém, o leite e seus derivados são de suma importância do ponto de vista nutricional e também são acessíveis economicamente à maioria da população (FANTIN et al., 2012; DE LÉIS et al., 2015). Os impactos ambientais causados como: potencial de aquecimento global, acidificação, eutrofização, demanda de energia acumulada entre outros são significativos, visto que o Brasil é um dos principais produtores, consumidores e importadores de produtos laticínios do mundo (DJEKIC et al., 2013).

Nesse sentido, modificações nas instalações e melhorias na produção de laticínios tem sido realizadas a fim de promover a sustentabilidade da cadeia de laticínios, visto que cada integrante da

cadeia de suprimentos contribui para a redução da carga ambiental (BERLIM, 2002 ; MILANI et al., 2011 ; KIM et al., 2013).

Ademais, no caso específico da indústria de laticínios, há um elevado consumo de água e, conseqüentemente, uma produção de efluentes com alto teor de carga orgânica e considerável potencial de degradação ambiental, evidentes nas fases de limpeza, pasteurização e homogeneização (GUINÉE et al., 2011, GONÇALVES; MADERI e SANTOS, 2017).

Entre os derivados obtidos no processamento do leite há o soro de leite, gerado na produção de queijos, e considerado como um dos resíduos de produção que deve receber algum tipo de tratamento antes da destinação final devido ao seu potencial de impacto ambiental. Em alguns casos é utilizado na alimentação animal ou como subproduto com foco na economia de recursos no tratamento/destinação final de afluentes. Porém, a produção de leite cru é apontada como uma das fases mais impactantes do processo de produção (PALMIERI; FORLEO e SALIMEI, 2017; FINNEGAN, W. et al., 2017; CANELLADA et al., 2018).

Diante do exposto o estudo se justifica pela importância da mensuração dos impactos ambientais dentro da cadeia produtiva de lácteos, para auxiliar na tomada de decisão e na gestão dos processos produtivos, com o foco de tornar a produção de alimentos de origem animal cada vez mais sustentável e segura, neste sentido o estudo se baseia na Avaliação o Ciclo de Vida de um empreendimento rural produtor de leite cru e de um laticínio de beneficiamento do queijo Muçarela, localizados na região centro-

oeste do Brasil, visto que existem poucos estudos com dados referentes ao setor específico de lácteos na região supracitada, com intuito de contribuir para a sustentabilidade dessa cadeia.

Objetivo Geral: evidenciar o potencial impacto ambiental no processamento de queijo mussarela na bacia leiteira em Jussara - GO.

Objetivos Específicos:

- Elaborar o inventário com os inputs da fase de fabricação de queijo mussarela;
- Mensurar as emissões decorrentes do beneficiamento de queijo mussarela;
- Identificar as principais categorias de impacto ambiental inerentes ao processo de beneficiamento de queijo mussarela;
- Propor alternativas de redução de impactos ambientais nos processos produtivos;
- Demonstrar estudo de viabilidade econômica para redução de consumo de energia elétrica com uso de fontes alternativas.

Procedimentos utilizados da pesquisa ou descrição detalhada dos métodos.

Obs.: No caso de uso de entrevistas ou questionários, explicitar aos/às participantes se também serão obtidos registros fotográficos, sonoros e/ou audiovisuais da conversa, pois é imprescindível esclarecê-los sobre a necessidade da *concessão do uso de sua voz, imagem ou opinião* incluindo, antes das assinaturas, um box com as opções:

(X) Permito a divulgação da minha imagem/voz/opinião nos resultados publicados da pesquisa;

() Não permito a publicação da minha imagem/voz/opinião nos resultados publicados da pesquisa.

Obs2.: Orientar o/a participante a rubricar dentro do parêntese com a proposição escolhida.

1.2 Especificação de possível *desconforto emocional* e/ou de possíveis *riscos psicossociais* (**Riscos para os entrevistados**). Para que o projeto seja executado de maneira satisfatória é preciso a contribuição do proprietário da fazenda, em relação às informações e dados para a composição da pesquisa, se não ocorrer isso com a devida eficácia pode afetar a execução do projeto e comprometer a realização da análise. Assim estabelece a Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde no Inciso relacionado ao risco da pesquisa - possibilidade de danos à dimensão física, psíquica, moral, intelectual, social, cultural ou espiritual do ser humano, em qualquer pesquisa e dela decorrente. **Neste projeto aos principais riscos inerentes aos entrevistados são: possibilidade de constrangimento ao responder o questionário, desconforto, medo ou vergonha, estresse, quebra de sigilos dos dados da propriedade, cansaço ao responder as perguntas. Para minimização dos riscos dos riscos apontados no projeto serão tomadas as seguintes medidas: explanação detalhada do questionário, tempo hábil para a elaboração das respostas sem que o entrevistado sofra algum desconforto, garantia de acesso aos resultados, estar atento aos sinais verbais e não verbais de desconforto.**

1.3 Informação sobre as formas de ressarcimento das despesas decorrentes da cooperação com a pesquisa realizada.

Obs3.: Somente o transporte e a alimentação do participante, quando for o caso, tendo em vista que as ligações ao/à pesquisador/a podem ser feitas a cobrar;

- 1.4 Garantia do sigilo que assegure a privacidade e o anonimato dos/as participante/s. Do contrário, caso seja do interesse da pesquisa a identificação do participante, faz-se imprescindível esclarecer a ele/ela que também que haverá a divulgação do seu nome quando for de interesse do/a mesmo/a ou não houver objeção. Neste caso, incluir, antes das assinaturas, um box com as opções:

(X) Permito a minha identificação através de uso de meu nome nos resultados publicados da pesquisa;

() Não permito a minha identificação através de uso de meu nome nos resultados publicados da pesquisa.

Obs4.: Orientar o/a participante a rubricar dentro do parêntese com a proposição escolhida.

- 1.5 Apresentação da garantia expressa de liberdade do/a participante de se recusar a participar ou retirar o seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma;

Obs5.: Item obrigatório por força da lei.

- 1.6 Apresentação da garantia expressa de liberdade do/a participante de se recusar a responder questões que lhe causem *desconforto emocional* e/ou *constrangimento* em entrevistas e questionários que forem aplicados na pesquisa.

- 1.7 Declarar aos participantes que os resultados da pesquisa serão tornados públicos, sejam eles favoráveis ou não;

- 1.8 Apresentação das estratégias de divulgação dos resultados, a menos que se trate de caso de obtenção de patenteamento, neste caso, os resultados devem se tornar públicos, tão logo se encerre a etapa de patenteamento;

- 1.9 Informação sobre o direito de receber assistência integral, gratuita, por tempo indeterminado, por danos imediatos ou tardios decorrentes da participação na pesquisa e receber indenização (reparação a danos imediatos ou futuros), garantida em lei, decorrentes de sua participação na pesquisa;

Obs6.: Item obrigatório por força da lei.

- 1.10 Quando a pesquisa envolver o *armazenamento em banco de dados pessoal ou institucional*, o/a pesquisador/a deverá informar ou declarar aos participantes que toda pesquisa a ser feita com os dados que foram coletados deverá ser autorizada pelo/a participante e também será submetida novamente para aprovação do CEP institucional e, quando for o caso, à CONEP. Informação sobre a manutenção dos dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob guarda e responsabilidade do pesquisador responsável (Eder Luz Xavier dos Santos), por um período de 5 anos após o término da pesquisa. Após esse período, o material obtido deverá ser picotado e reciclado.

1.2 Declaração do pesquisador responsável:

Eu, Eder Luz Xavier dos Santos, pesquisador responsável por este estudo, esclareço que cumprirei as informações acima e que o participante terá acesso, se necessário,

a assistência integral e gratuita por danos diretos e indiretos, imediatos ou tardios devido a sua participação nesse estudo; e que suas informações serão tratadas com confidencialidade e sigilo. O participante poderá sair do estudo quando quiser, sem qualquer penalização. Se tiver algum custo por participar da pesquisa, será ressarcido; e em caso de dano decorrente do estudo, terá direito a indenização, conforme decisões judiciais que possam suceder.

1.3 Consentimento do Participante de Pesquisa/Responsável legal:

Eu, Marcilene Rodrigues de Godoi, abaixo assinado, discuti com o pesquisador Eder Luz Xavier dos Santos, sobre a minha decisão em participar nesse estudo. Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de assistência, confidencialidade e esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é voluntária e isenta de despesas e que poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem penalidades ou prejuízo ou perda de qualquer benefício.

Dourados, MS, 05 de janeiro de 2023.

Marcilene Rodrigues de Godoi

Assinatura do(a) participante de pesquisa/Responsável legal

Data: 05/01/2023



Assinatura do(a) pesquisador(a) responsável

Data: 05/01/2023