



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS**  
**ALIMENTOS**

Área de concentração: Engenharia de Alimentos

**IMPACTOS AMBIENTAIS DE PRODUTOS LÁCTEOS BUBALINOS**

**EDMAR DA COSTA ALVES**

ITAPETINGA  
BAHIA-BRASIL  
FEVEREIRO/2017

**EDMAR DA COSTA ALVES**

**IMPACTOS AMBIENTAIS DE PRODUTOS LÁCTEOS BUBALINOS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de concentração em Engenharia de Alimentos, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Brito Rodrigues

ITAPETINGA  
BAHIA-BRASIL  
FEVEREIRO/2017

637.17 Alves, Edmar da Costa

A478i Impactos ambientais de produtos lácteos bubalinos. / Edmar da Costa Alves.  
- Itapetinga: UESB, 2017.

125p.

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de concentração em Engenharia de Alimentos, para obtenção do título de Mestre. Sob a orientação do Prof. D.Sc. Luciano Brito Rodrigues.

1. Leite de búfala - Indústria de Alimentos - Aspectos ambientais. 2. Avaliação do Ciclo de Vida. 3. Gestão Ambiental. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos. II. Rodrigue, Luciano Brito. III. Título.

CDD(21): **637.17**

Catálogo na fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB/5-535

Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramento por Assunto:

1. Leite de búfala - Indústria de Alimentos - Aspectos ambientais
2. Avaliação do Ciclo de Vida
3. Gestão Ambiental



**Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia**  
Programa de Pós-Graduação  
**Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos**



Áreas de Concentração: Engenharia de Alimentos  
Ciência de Alimentos

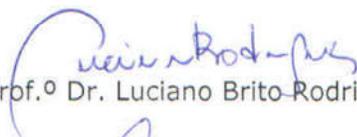
**DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO**

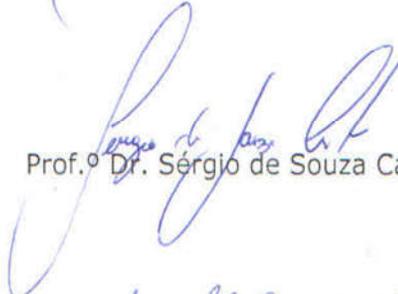
**Título: "IMPACTOS AMBIENTAIS DE PRODUTOS LÁCTEOS BUBALINOS"**

**Autor (a):** EDMAR DA COSTA ALVES

**Orientador (a):** Prof.º Dr. Luciano Brito Rodrigues

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE ALIMENTOS**, pela Banca Examinadora.

  
Prof.º Dr. Luciano Brito-Rodrigues (UESB)

  
Prof.º Dr. Sérgio de Souza Castro (UESB)

  
Prof.ª Dr.ª Gabrielle Cardoso Reis Fontan (UESB)

**Itapetinga-BA, 09 de fevereiro de 2017.**

*As ideias que defendo não são minhas. Eu as tomei emprestadas de Sócrates, recebi-as de Chesterfield, furtei-as de Jesus. E se você não gostar das ideias deles, quais seriam as ideias que você usaria?*

*Dale Carnegie*

Aos meus pais, Antônio Rodriguês Alves e Lucimar Severino da Costa Alves, pelo amor,  
renúncia e persistência dedicada ao longo dos anos, com todo carinho!

Dedico.

À minha esposa Dilsa Ferreira dos Santos Alves. A meu filho Israel Henrique dos Santos  
Alves. A minha sogra Maria Ferreira dos Santos. O fruto deste trabalho é decorrente de dois  
anos subtraídos do círculo de amizades deles  
em nossa cidade natal.

Dedico.

À família “Alves Costa”, Marlene, Geruza, Mônica, Marlouve, e aos  
meus irmãos em Cristo em Colorado do Oeste/RO e Itapetinga/BA.

Ofereço.

## AGRADECIMENTOS

Esta parte do trabalho é, indiscutivelmente, uma das mais importantes, pois sem o auxílio, amizade, compreensão e amor que recebi para cumprir esta meta (por isso o e-mail: edmar.meta), não seria possível chegar ao final desta fase tão importante.

*Ao nosso Deus e pai, na pessoa de seu filho Jesus Cristo.*

*A Ele seja dada toda glória, honra, louvor e domínio pelos séculos dos séculos. Pela vontade permissiva d'Ele, cheguei ao final de mais uma etapa!*

- Aos meus pais, minha eterna gratidão pelo empenho em enviar-me para a escola, mesmo diante de várias mudanças de residência. Acredito que vira na escola a única forma de um futuro melhor, melhor até do que tiveram. Estou certo que meus pais não imaginavam que eu chegaria até aqui.
- À minha família: esposa, filho e sogra. Como ocorreu com meus pais, mudamos de endereço algumas vezes. O que não mudou, aliás, aumentou, foi nosso carinho, atenção, respeito e, acima de tudo, AMOR. Agradeço por suportar e compartilhar comigo momentos de alegria e tristeza. Sei que não foi fácil deixar a cidade natal pela primeira vez. Obrigado!
- Aos meus irmãos em Cristo Jesus. Desde a minha saída de Colorado até a estadia em Itapetinga, os irmãos fizeram valer a expressão *irmãos*. Somente a eternidade com Deus poderá retribuir o que fizeram por mim. Muito além do auxílio financeiro, vossa presença é a prova do amor de Deus em vossos corações. Serei grato sempre!
- À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia pela oportunidade de realizar o Mestrado.
- Aos professores da turma de mestrado em engenharia e ciência de alimentos do ano de 2015/1. Somente Deus poderá lhes retribuir o ininterrupto e nobre trabalho de vocês. Foi um prazer frequentar as aulas ministradas com elevado compromisso com a prática docente. Ao professor Sergio Augusto de Albuquerque Fernandes, pela disposição e ajuda fundamental, sem a qual a pesquisa não seria possível.
- Ao meu orientador, professor Luciano Brito Rodrigues, pela confiança, pelas sugestões e pela preocupação constante em finalizar este trabalho com excelência. Não esquecerei sua preocupação em construir uma pesquisa que busque, acima de tudo, aquilo cuja existência ainda se ignora. Seu elevado senso crítico aliado aos critérios científicos ficou

registrado em minha carreira acadêmica. Pela amizade e oportunidades de experiências, o meu muito obrigado!

- Aos colegas do Grupo de Estudos em Materiais e Meio Ambiente (GEM<sup>2</sup>A): Bruna Borges, Bruna Gusmão, Camila Willers, Ramon Araújo, Bianca Araújo, Andrêssa Pereira, Dimitre Moura, Sabine Robra e aos demais. Em especial, a Bruna Borges e Bianca Araújo, pelas ricas contribuições com este trabalho. Bruna foi parceira, compreensiva e cordial. Sentirei saudades dela, de Lucas e dos demais colegas do grupo.
- Aos colegas de sala de aula, meu muito obrigado!
- À fábrica de laticínios Palmeira pela acolhida e presteza em responder a altura às necessidades da pesquisa de campo. A Laíse, Felix, Edineia, Reginaldo, Elias, Pereira, entre outros. A equipe da Cabana da Ponte surpreendeu a todos nós ao estabelecer um *feedback* de tal forma que tínhamos a impressão de sermos amigos de longas datas. Acredito que não citei o nome de algumas pessoas, mas isso não quer dizer que não tenham tido importância para mim.
- A ADAB na pessoa de Paulo Ferraz, Moisés e Ivaní que me atenderam com presteza e profissionalismo.
- À servidora Virgínia, sempre atenciosa e acessível aos discentes do CEDETEC. Igualmente, as servidoras Elza, Geane, Marizete e Danyelle. O trabalho delas contribuiu com nosso bem estar no Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT).
- À Jamile Oliveira, secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos. O atendimento foi excelente.
- À Clésia, telefonista da UESB de Itapetinga que sempre esteve à nossa disposição com o máximo de atenção.
- A equipe de segurança do campus Itapetinga. O acesso constante em finais de semana e feriados ao campus contaram com o auxílio deles. Muito obrigado!
- À professora Alice Maria Dahmer (IFRO/Colorado do Oeste), o meu agradecimento especial pelo brilhante trabalho docente desde a minha graduação. O reflexo de sua dedicação e de sua orientação para publicação de meu primeiro artigo científico foi o limiar inconsciente do universo acadêmico na minha vida.
- Ao IFRO, pela oportunidade do afastamento. Meus sinceros agradecimentos.
- A todos que direta ou indiretamente contribuíram com este trabalho e ainda àqueles que, seja nos bastidores ou como protagonista, torceram e sempre desejaram o melhor para minha pessoa.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	17
2 OBJETIVOS .....	19
2.1 Objetivo Geral .....	19
2.2 Objetivos Específicos .....	19
3 REFERENCIAL TEÓRICO .....	20
3.1 Gestão ambiental em organizações.....	20
3.2 Avaliação do ciclo de vida: conceito, aplicação e estrutura .....	21
3.3 Fases da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	22
3.4 Cadeia Produtiva do Leite.....	25
3.5 Bubalinocultura do leite.....	28
3.6 Impactos ambientais associados ao processamento de leite .....	30
4 METODOLOGIA DE PESQUISA .....	35
4.1 Caracterização do objeto de estudo .....	36
4.2 Descrição dos produtos elaborados .....	38
4.2.1 <i>Fabricação de queijo mozzarella</i> .....	38
4.2.2 <i>Fabricação de ricota fresca</i> .....	38
4.2.3 <i>Fabricação de manteiga</i> .....	39
4.3 Definição do objetivo e escopo .....	40
4.4 Descrição do sistema de produto.....	41
4.5 Critérios de Alocação .....	43
4.6 Categorias de impacto ambiental.....	46
4.7 Limitações de utilização dos resultados.....	47
4.8 Trabalho de campo .....	49
4.9 Critérios de cortes.....	53
4.10 Emissões atmosféricas do rebanho bubalino.....	53
4.11 Especificações de transporte .....	54
4.12 Inventário do ciclo de vida (ICV).....	56
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
5.1 Impactos ambientais da produção de leite de búfala .....	56
5.1.1 Unidade de processo criação dos animais.....	59
5.1.2 Unidade de processo ordenha e armazenamento do leite .....	61
5.2 Impactos ambientais dos produtos lácteos, excluído o leite de búfala .....	61

5.2.1 <i>Queijo mozzarella</i> .....	62
5.2.2 <i>Manteiga</i> .....	68
5.2.3 <i>Ricota fresca</i> .....	70
5.3 <i>Análise de cenários</i> .....	72
5.3.1 <i>Instalação de uma Torre de Resfriamento</i> .....	72
5.3.2 <i>Fabricação de bebida láctea pasteurizada</i> .....	73
6 CONCLUSÕES.....	78
7 REFERÊNCIAS.....	80
APÊNDICES.....	90

## RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1 – Valores efetivos de rebanhos bubalinos no Brasil .....	28
Tabela 2 - Síntese de estudos de ACV em leite e derivados no período de 2013-2016.....	31
Tabela 3 - Listagem dos termos utilizados como critério de busca durante o período de 13 de março a 27 de novembro de 2016 .....	35
Tabela 4 – Tipos de produtos fabricados, formato e frequência de fabricação .....	40
Tabela 5 – Fatores de alocação econômica dos produtos lácteos .....	44
Tabela 6 – Fatores de concentração do leite bubalino para diferentes derivados lácteos. ....	45
Tabela 7 – Determinação dos fluxos elementares em que foi necessário adotar a alocação.....	46
Tabela 8 - Descrição de categorias de impacto ambiental utilizadas .....	47
Tabela 9 - Caracterização de recursos da fábrica de laticínios .....	50
Tabela 10 – Síntese dos parâmetros considerados para a modelagem do transporte rodoviário..	55
Tabela 11 – Resultados da avaliação do impacto ambiental da produção de leite bubalino para as categorias de impacto utilizadas.....	56
Tabela 12 – Estimativas das emissões atmosféricas por subcategoria do rebanho bubalino alimentado em sistema extensivo (pastagem).....	57
Tabela 13 – Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) para produção de 1kg FPCM de leite de búfala de animais alimentados em sistema extensivo. ....	58
Tabela 14 – Resultados da avaliação de impacto dos derivados lácteos utilizando dois métodos de alocação, o econômico e o físico-químico. ....	62
Tabela 15 Cenário de produção de bebida láctea com diferentes percentuais do volume total do soro produzido.....	74
Tabela 16 - Definição para subcategorias do gado bubalino leiteiro .....	113
Tabela 17 - Classificação do rebanho bubalino .....	113
Tabela 18 - Coeficiente para cálculo de energia de manutenção.....	114
Tabela 19 - Coeficiente de atividade relacionadas à situação alimentar do animal.....	115
Tabela 20 - Digestibilidade para ruminantes em geral.....	116
Tabela 21 - Valores de energia líquida da dieta (NEm <sub>a</sub> ) para dietas alimentares dos ruminantes .....	118
Tabela 22 - Fatores de conversão do metano (CH <sub>4</sub> ) - Y <sub>m</sub> .....	119
Tabela 23 - Uso do sistema de gerenciamento de dejetos (MS%).....	122
Tabela 24 - Emissão padrão, fatores de volatilização e lixiviação para emissões indiretas de N <sub>2</sub> O para o solo.....	123

Tabela 25 - Potencial de aquecimento global (GWP) em CO <sub>2</sub> equivalente.....	124
Tabela 26 - Relação de equações utilizadas para o calculo de emissões de CH <sub>4</sub> decorrentes da fermentação entérica e manejo dos dejetos.....	125
Tabela 27 - Relação de equações utilizadas para o calculo de emissões de N <sub>2</sub> O decorrentes de manejo dos solos. ....	126

## RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1 – Estágios da avaliação do ciclo de vida .....	23
Figura 2 – Consumo Per capita de produtos lácteos no Brasil .....	26
Figura 3 – Região Sudoeste da Bahia.....	27
Figura 4 – Esquema representativo da fábrica de laticínios em estudo.....	37
Figura 5 – Fluxograma de produção do queijo mozzarella, ricota fresca e manteiga, elaborados com leite de búfala. ....	39
Figura 6 – Limites do sistema e diagrama de fluxo do ciclo de vida dos produtos. ....	42
Figura 7 – Dias de funcionamento e média diária de leite recebido na fábrica de laticínios. ....	49
Figura 8 – Locais de origem de produtos e trajetória do transporte rodoviário.....	54
Figura 9 – Resultados (%) da avaliação de impacto da unidade de processo criação dos animais e ordenha e armazenamento do leite. ....	60
Figura 10 – Resultados da avaliação de impacto do queijo mozzarella utilizando a alocação econômica e mássica. ....	63
Figura 11 – Resultados da avaliação de impacto associado à fabricação da manteiga, utilizando a alocação econômica e físico-química. ....	68
Figura 12 – Resultados da avaliação de impacto associado à fabricação da ricota fresca. ....	71
Figura 13 – Resultado (%) ambiental para instalação de uma torre de resfriamento utilizada no tratamento térmico do leite .....	73
Figura 14 – Resultado (%) ambiental associado à fabricação de bebida láctea utilizando diferentes percentuais de volume de soro produzido. ....	75

## SIGLAS E ABREVIACÕES

ABCB	Associação Brasileira de Criadores de Búfalos
ABIA	Associação Brasileira de Indústrias de Alimentação
ACV/LCA	Avaliação do ciclo de vida/Life Cycle Assessment
CEPRAM	Conselho Estadual do Meio Ambiente – Bahia
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CPA	Cadeia de Produção Agroindustrial
ETA	Estação de Tratamento de Água
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GEM <sup>2</sup> A	Grupo de Estudos em Materiais e Meio Ambiente
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
IBD	Company IBD Certificações Ltda
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ILCD	International Reference Life Cycle Data System
ISO	Organização Internacional de Normalização/International Organization for Standartization
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
PIB	Produto Interno Bruto
RIISPOA	Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SIF	Serviço de Inspeção Federal
UF	Unidade Funcional

## TABELAS DO APÊNDICE

APÊNDICE 1 – Inventário para fabricação de 1 kg de queijo mozzarella .....	90
APÊNDICE 2 - Inventário para a fabricação de 1kg de manteiga.....	91
APÊNDICE 3 - Inventário para fabricação de 1kg de ricota fresca.....	92
APÊNDICE 4 - Inventário das unidades de processo da fábrica de laticínios .....	93
APÊNDICE 5 - Inventário para produção de 1 FPCM - sistema extensivo .....	97
APÊNDICE 6 - Estimativas de dados do inventário para fabricação de 1 kg de bebida láctea ...	98
APÊNDICE 7 - Fatores de concentração do leite bubalino.....	99
APÊNDICE 8 - Alocação físico-química de entradas e saídas para os derivados lácteos .....	99
APÊNDICE 9 - Processos selecionados no software SimaPro <sup>®</sup> para os produtos lácteos.....	101
APÊNDICE 10 - Processos utilizados no software SimaPro <sup>®</sup> para produção de leite bubalino	102
APÊNDICE 11 - Processos utilizados no software SimaPro <sup>®</sup> para a bebida láctea .....	103
APÊNDICE 12 - Resultado da avaliação de impactos da unidade de processo: criação dos animais.....	104
APÊNDICE 13 - Resultado da avaliação de impactos da unidade de processo: ordenha e armazenamento do leite. ....	105
APÊNDICE 14 - Resultado da avaliação de impactos do queijo mozzarella, utilizando a alocação econômica. ....	106
APÊNDICE 15 - Resultado da avaliação de impactos do queijo mozzarella, utilizando a alocação físico-química.....	107
APÊNDICE 16 - Resultado da avaliação de impactos da ricota fresca, utilizando a alocação econômica. ....	108
APÊNDICE 17 - Resultado da avaliação de impactos da ricota fresca, utilizando a alocação físico-química.....	109
APÊNDICE 18 - Resultado da avaliação de impactos da manteiga, utilizando a alocação econômica. ....	110
APÊNDICE 19 - Resultado da avaliação de impactos da bebida láctea (Alocação 100%). .....	111
APÊNDICE 20 - Resultado da avaliação de impactos da unidade de processo pasteurização. .	112
APÊNDICE 21 – Considerações para os cálculos das emissões .....	113
APÊNDICE 22 - Equações utilizadas para o calculo das emissões.....	125

## RESUMO

ALVES, Edmar da Costa. **Impactos ambientais de produtos lácteos bubalinos**. Itapetinga, BA, Brasil: UESB, 2017. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Concentração em Engenharia de Alimentos)<sup>1</sup>

A avaliação dos impactos ambientais da produção e industrialização do leite de búfala pode auxiliar na gestão deste segmento com boas perspectivas de crescimento, mas que carece de estudos sobre os efeitos ambientais adversos. A visão holística da gestão ambiental das organizações deve considerar a carga ambiental total gerada pela soma das atividades de produção. Uma das metodologias utilizadas com esse objetivo é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Deste modo, este trabalho visa identificar e avaliar os impactos ambientais do processamento do leite de búfala e da fabricação de seus derivados, e sugerir melhorias para minimizar os efeitos ambientais adversos. Os procedimentos de coleta, tratamento, análise e interpretação dos dados foram realizados seguindo as orientações das normas ISO 14040:2006 e ISO 14044: 2006. Utilizaram-se dados primários e secundários, quando necessário. Os dados primários foram coletados entre março e novembro de 2016, em uma fábrica de laticínios que possui selo de certificação orgânico, localizada no Sudoeste da Bahia. Os limites do sistema concebem dois subsistemas: produção de leite e fábrica de laticínios. As unidades funcionais adotadas foram: 1 quilograma de leite corrigido pelo teor de gordura e proteína (FPCM) e 1 quilograma dos produtos queijo mozzarella, manteiga e ricota fresca. Foi adotado o método de alocação mássico para o leite de búfala e a alocação econômica e físico-química para os produtos lácteos. A avaliação de impacto ambiental foi realizada com seis categorias de impacto para o leite de búfala e oito categorias do método ReCiPe Midpoint (H) v.1.06. O software SimaPro<sup>®</sup> 8.0.5.13 foi utilizado como ferramenta de apoio. Os resultados em sete categorias de impacto indicaram que os principais *hotspots* da produção do leite de búfala foram: o fluxo de energia elétrica, a produção de açúcar, o cultivo de pastagem, as emissões de GEE e a água utilizada para dessedentação animal. Não houve predominância dos impactos de nenhum fluxo elementar para o leite de búfala, não sendo possível indicar o principal fluxo contribuinte nas sete categorias utilizadas. Os resultados dos derivados lácteos sugerem que as unidades de processo mais impactantes foram as câmaras de refrigeração, o desnate, a pasteurização, a recepção de leite e as embalagens. Grande parte dos impactos estão associados a fluxo de recursos e insumos que se encontram fora dos limites da fábrica de laticínios. Alternativas de redução dos impactos devem considerar a eficiência energética e a efetividade de práticas de higiene e manipulação visando minimizar os desperdícios no processo produtivo. A instalação de uma torre de resfriamento precisa fazer parte de um sistema de medidas de gestão e controle do consumo da água. As águas residuais apresentaram contribuições abaixo de 1% nas oito categorias de impacto utilizadas. A utilização do soro de queijo e do leiteiro como matéria-prima para fabricação de bebida láctea é uma alternativa ambiental viável e de melhor aproveitamento.

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo de Vida, Aspectos Ambientais, Gestão Ambiental, Indústria de Alimentos, Leite de búfala.

## ABSTRACT

ALVES, Edmar da Costa. Environmental impacts of buffalo dairy products. Itapetinga, BA, Brazil: UESB, 2017. 125p. Dissertation (MSc in Engineering and Science Food, Concentration Area in Food Engineering)<sup>2</sup>

The environmental impact assessments of the buffalo milk production and industrialization can assist in the management of this segment with good growth prospects, but it needs studies on adverse environmental effects. The holistic view of environmental management of organizations must consider the total environmental burden generated by the sum of production activities. One of the methodologies used for this purpose is Life Cycle Assessment (LCA). Thus, this work aims to identify and assess the environmental impacts of buffalo milk and milk products and suggest improvements to minimize adverse environmental effects. Data collection and inventory compilation were carried out in a dairy farm and a dairy factory with an organic certification seal located in the Southwest of Bahia. Data collection, treatment, analysis and interpretation procedures were performed according to ISO 14040: 2006 and ISO 14044: 2006 guidelines. Primary and secondary data were collected between March and November 2016 when necessary. It was adopted the method of mass allocation for buffalo milk and the economic and physico-chemical allocation for dairy products. The environmental impact assessment was carried out with six impact categories for buffalo milk and eight categories of the ReCiPe Midpoint (H) v.1.06 method. SimaPro ® 8.0.5.13 software was used as a support tool. The limits of the system conceive two subsystems: dairy farm and dairy factory. The functional units adopted were: 1 kilogram of fat and protein corrected milk (FPCM) and 1 kilogram of the products mozzarella cheese, butter and fresh ricotta. The results in seven impact categories indicated that the main hotspots of buffalo milk production were: electricity flow, sugar production, grazing, GHG emissions and water used for animal feed. There was no predominance impacts of any elemental flow on buffalo milk, and it was not possible to indicate the main contributor flow in the seven categories used. The results of the dairy products suggest that the most impacting process units were refrigeration chambers, skimming, pasteurization, milk reception and packaging. As expected, most of the impacts are associated with the flow of resources and inputs that are outside the limits of this subsystem. Alternatives to reduce impacts should consider energy efficiency and the effectiveness of hygiene and handling practices in order to minimize waste. The installation of a cooling tower must be part of a water management and control measures system. Wastewater presented contributions below 1% in the eight impact categories used. The use of whey and buttermilk as raw material for dairy beverage production is a viable and better environmental alternative.

**Key words:** Life Cycle Assessment, Environmental Impacts, Environmental Management, Food Industry, Buffalo Milk.

---

<sup>2</sup> Advisor: Luciano Brito Rodrigues, Dr. UESB

## 1 INTRODUÇÃO

A agropecuária é um dos setores que mais contribuem com a economia brasileira, sendo a criação de ruminantes um importante produtor de leite e carne. A bubalinocultura tem apresentado elevado potencial de crescimento devido às características peculiares do rebanho e, principalmente, pelo valor nutricional e econômico dos derivados lácteos.

O elevado teor nutricional dos derivados do leite de búfala tem atraído o interesse de consumidores e da indústria processadora. Além disso, alguns fatores como a responsabilidade social e ambiental das instituições, a pressão do mercado nacional e internacional e os custos de produção, têm levado as empresas a empregarem estratégias de produção que visam minimizar os impactos gerados.

Neste contexto, a visão holística da gestão ambiental das organizações deve considerar a carga ambiental total criada pela soma das atividades de produção. Para tanto, é necessário obter as estimativas do uso de matérias-primas, insumos, recursos, emissões e respectivos processos englobados.

A ausência da identificação dos estágios pelo qual o produto atravessa pode afetar as estimativas de impactos ambientais adversos de um produto ou processo que podem ser super ou subestimados. Uma abordagem aceita internacionalmente com essa finalidade e embasada dentro de uma visão que contempla todas as etapas ou estágios de fabricação de um produto é a Avaliação do Ciclo de Vida<sup>3</sup> (ACV).

A ACV é uma metodologia de apoio à gestão ambiental, utilizada para avaliar os impactos ambientais associados a um produto, processo ou serviço. O método é eficiente para detectar, quantificar e caracterizar os sistemas de produção sob a ótica ambiental. Além disso, permite avaliar, de acordo com a sua abrangência, o impacto ambiental associado com todos os estágios de um processo (desde a extração da matéria prima, produção, uso, tratamento, pós-uso, reciclagem) até a disposição final.

Diversos estudos de ACV na produção agrícola, pecuária e industrial expressam a crescente preocupação com os encargos ambientais que incluem efeitos globais (ex. aquecimento global, destruição da camada de ozônio) e efeitos regionais (ex. eutrofização, acidificação). A aplicação da ACV na produção de leite e derivados tem permitido esclarecer melhor a demanda ambiental destes setores, de extrema relevância socioeconômica.

Os princípios e técnicas para se conduzir um estudo de ACV estão em fase de desenvolvimento e, portanto, carecem de melhorias e clareza quanto a sua aplicação. Ao mesmo

---

<sup>3</sup> A ISO 14040 define ciclo de vida como “estados consecutivos e interligados de um produto, desde a extração de matérias-primas ou transformação de recursos naturais, até a deposição final do produto na natureza”.

tempo em que ocorre a estruturação da ACV, estão sendo desenvolvidas diversas pesquisas a fim de melhor compreender a aplicação das fases do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço e os impactos ambientais que podem ocorrer em cada etapa.

Em decorrência deste cenário, o Grupo de Estudos em Materiais e Meio Ambiente (GEM<sup>2</sup>A) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia realiza desde 2009 uma série de estudos sobre a gestão ambiental em unidades produtivas do setor agroindustrial localizadas na região Sudoeste do Estado da Bahia, utilizando a aplicação da metodologia de ACV. Os resultados têm sido divulgados através de dissertações de mestrado, publicações em periódicos e apresentações em eventos nacionais e internacionais.

Este trabalho visa avaliar os impactos ambientais associados a produção e industrialização do leite de búfala em uma fábrica de laticínios, localizada na região Sudoeste da Bahia.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar os impactos ambientais de produtos lácteos bubalinos utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar o Inventário do Ciclo de Vida de produtos lácteos bubalinos;
- Identificar os aspectos ambientais que mais contribuem para os efeitos ambientais adversos;
- Avaliar os impactos ambientais do ciclo de vida dos produtos;
- Propor cenários de melhorias para os problemas identificados.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Gestão ambiental em organizações

Nas últimas décadas, o aumento das pressões de consumidores, governos, setores da sociedade civil (ex. ONGs) e outros grupos interessados, levaram as empresas a se depararem com as consequências econômicas, sociais e ambientais de suas atividades.

A partir da década de 90, começaram a surgir modelos de gestão ambiental que viriam a conciliar os interesses empresariais à preservação do meio ambiente. Cita-se a gestão ambiental que trata da gestão empresarial que se orienta para avaliar, evitar e controlar os impactos ambientais negativos, associados aos processos produtivos (DIAS, 2011).

A Organização Internacional de Normalização (ISO - *International Organization for Standardization*), série ISO 14000, tem como finalidade desenvolver normas técnicas (de adesão voluntária) para a formação de padrões internacionalmente aceitos. A série ISO 14000 têm se revelado útil para orientar na redução dos impactos ambientais (ARIMURA et al., 2016). O impacto ambiental é qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização (ABNT ISO 14001, 2004).

As organizações (empresas públicas e/ou privadas) atuam de duas maneiras na gestão ambiental: ativa ou passiva. A participação ativa concebe a coordenação conjunta com os departamentos de governos, meios de comunicação e com a sociedade civil por meio da divulgação de relatórios ambientais e da formulação de atividades de formação sobre segurança e gestão ambiental. A participação passiva, por sua vez, significa que as organizações resolvem os problemas ambientais apenas com o objetivo de cumprir com as regulamentações governamentais, visando evitar multas ou outras repercussões negativas, como a reprodução da imagem da empresa na mídia (XIE et al., 2016).

Neste sentido, a participação ativa da organização deve estabelecer, implementar e manter procedimentos que identifiquem os aspectos ambientais de suas atividades, produtos e serviços, promovendo a redução dos efeitos ambientais negativos (LIMA e FRANÇA, 2013). Os aspectos ambientais consistem nos elementos das atividades, produtos, ou serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente (ABNT ISO 14001, 2004).

Muito embora não exista uma abordagem única para se identificar aspectos e impactos ambientais, a abordagem poderia, por exemplo, considerar: (a) emissões atmosféricas; (b) uso de matérias primas e recursos naturais; (c) lançamentos em corpos d'água e no solo; (d) uso de energia elétrica e térmica; (e) resíduos e subprodutos, dentre outros (LIMA e FRANÇA, 2013). Para isso, é necessário observar os aspectos de entrada de matéria-prima, produtos e recursos,

como o consumo energético, embalagem, água e demais insumos; e os aspectos de saída, como resíduos sólidos, efluentes, gases, entre outros (ADISSI e NETO, 2013).

### **3.2 Avaliação do ciclo de vida: conceito, aplicação e estrutura**

A Avaliação do ciclo de vida (ACV) ou *Life Cycle Assessment* (LCA), fundamenta-se nos requisitos gerais estabelecidos pelas normas ISO 14040: 2006 (princípios e estrutura) e a ISO 14044: 2006 (requisitos e orientações) (ISO, 2006a, b). Estas normas, por sua vez, tornaram-se referência para outras normas internacionais baseadas no conceito de ciclo de vida de produtos, processos e serviços (KLÖPFER, 2012).

A ACV é uma metodologia de cunho ambiental que enfoca os aspectos e os impactos ambientais de um produto ou serviço, desde a aquisição das matérias-primas, produção, uso, tratamento, pós-uso, reciclagem até a disposição final (ISO, 2006a). Dentre as metodologias de gestão ambiental disponíveis, como a avaliação de risco, avaliação de desempenho ambiental, auditoria ambiental e avaliação de impacto ambiental, por exemplo, a ACV ganha destaque por ser aplicada em processos decisórios muito mais abrangentes (ISO, 2006b).

A formação das bases estruturais da ACV no Brasil surgiu em 1997/98, com a participação do Subcomitê de Avaliação do Ciclo de Vida – SC-05 e do Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental, vinculados a ABNT/CB-38. A publicação das normas ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000, ISO 14043:2000, foram atualizadas e agrupadas na ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 (CHERUBINI e RIBEIRO, 2015).

Após mais de uma década, poucos estudos aplicaram efetivamente a metodologia em processos e produtos no Brasil (WILLERS e RODRIGUES, 2012; CLAUDINO e TALAMINI, 2013), talvez porque o país ainda esteja em fase de adaptação desta metodologia (CHERUBINI e RIBEIRO 2015). Enquanto isso, as grandes áreas agrícola e pecuária tem sido constantes alvos de estudos da ACV, provavelmente devido aos impactos ambientais característicos recorrentes (MEIER et al., 2015; CLAUDINO e TALAMINI, 2013; ROY et al., 2009).

Os estudos com a aplicação da ACV podem fornecer também uma base metodológica para outras áreas da ciência.

Seidel (2016) estudou os princípios da ACV para incorporar o pensamento do ciclo de vida no desenvolvimento de políticas públicas; Dongyan et al. (2016) utilizou os resultados da ACV para realizar uma análise de viabilidade econômica de uma tecnologia desenvolvida para produção de biodiesel; Luz et al. (2015) propõem um modelo para avaliar a contribuição dos dados obtidos na fase de inventário do ciclo de vida (ICV) como elementos para produzir conceitos de inovação na indústria; Juntunen e Aksela (2014) utilizaram a ACV como uma metodologia pedagógica para avaliar a capacidade de argumentação de alunos em aula de

química; Arcese et al. (2013) discutem sobre a eficiência e a eficácia da ACV no setor de turismo. Diante da abrangência do método, a normatização dos princípios e técnicas para se conduzir um estudo de ACV estão em fase de estruturação.

Pesquisadores em ACV de diferentes organizações e de diversas áreas de atuação pelo mundo estão envolvidos para esclarecer melhor: a) as definições dos objetivos e escopo; b) a definição da unidade funcional; c) a definição dos métodos e das fronteiras do sistema, d) os métodos de alocação, entre outras (McAULIFFE et al., 2016; BUENO et al., 2016; LOTTEAL et al., 2015). Segundo estes pesquisadores, atualmente estas questões têm levado a conclusões diferentes devido à falta de consenso metodológico e com isso dificultado a comparação com outros trabalhos.

A aplicação da ACV, mediante justificativa adequada, pode conceber parte do fluxo de referência do ciclo de vida com abrangência do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*), do berço ao portão (*cradle-to-gate*), de portão a portão (*gate-to-gate*) (ISO, 2006b), ou ainda do portão ao consumidor (KLEIN et al., 2015).

A ACV com abordagem na modelagem atribucional analisa os fluxos relevantes para o ambiente e para o sistema, ao passo que a modelagem consequencial descreve os fluxos ambientais dentro de um sistema e pode mudar em decorrência de alterações no produto (EKVALL et al., 2016). A ACV atribucional tem sido amplamente utilizada na cadeia produtiva do leite (FLYSJÖ et al., 2014; GONZÁLEZ-GARCIA et al., 2013a; 2013b).

O *International Dairy Federation* (IDF) publicou um guia para orientar a aplicação da metodologia de ACV no setor lácteo. O guia sugere que, para os produtos lácteos, o método de alocação deve ser baseado no teor de matéria seca do leite, dos produtos e coprodutos. Quando dois ou mais produtos são fabricados a partir do leite, as entradas e saídas devem ser alocadas com base em parâmetros físico-químicos (IDF, 2010). A alocação físico-química evita erros que podem ser introduzidos através da alocação econômica (FEITZ et al., 2007).

### **3.3 Fases da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**

A ACV concebe basicamente quatro fases: a definição do objetivo e escopo, a análise de inventário, a avaliação de impacto e a interpretação (Figura 1) (ISO, 2006a).

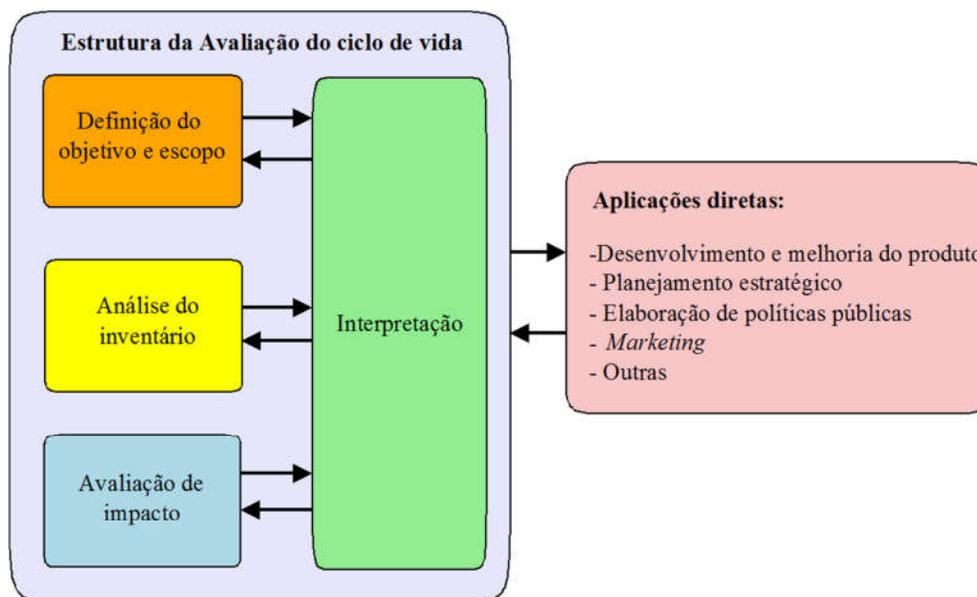
#### **i. Definição de objetivo e escopo**

Um dos objetivos mais comuns em estudos de AVC consiste em gerar informações para uma variedade de processos decisórios dentro de uma visão de ciclo de vida, seja para o desenvolvimento de produtos, processos ou serviços (ISO, 2006a; UGAYA, 2013).

Um passo importante para estabelecer melhor os objetivos e escopo é a definição da: a) unidade funcional (UF); b) função; c) fronteiras do sistema; d) requisitos da qualidade dos dados;

e, e) considerações sobre análise crítica. Para Kjaer et al. (2016) a definição dos objetivos e escopo de um sistema é de suma importância no estudo de ACV de produtos e/ou serviços, pois, caso apresente baixa consistência ou erros, pode indicar resultados de desempenho ambiental super ou subestimados.

Figura 1 – Estágios da avaliação do ciclo de vida



Fonte: ISO (2006a)

A UF é a quantificação da função e consiste na unidade de referência em que serão contabilizadas as entradas e saídas do sistema de produto (os processos incluídos no estudo). A definição da unidade funcional depende das categorias de impacto ambiental preconizadas de acordo com o método utilizado (ROY et al., 2009). Isto porque o condutor do estudo deve adotar um método que contemple as categorias de impacto de acordo com as características do produto, serviço ou processo em estudo.

Para atender a função requerida, ou seja, o que o estudo tem por objetivo analisar por meio da UF de um produto, é preciso estabelecer o fluxo de energia e matéria (ex. matéria-prima, insumos, energia elétrica) necessárias para cumprir a UF (UGAYA, 2013; ISO, 2006a).

## ii. Análise de inventário do ciclo de vida

A análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV) caracteriza a segunda fase da ACV e concebe a coleta dos dados em cada fluxo correspondente sejam eles medidos, verificados ou estimados (ISO, 2006a). O ICV permite obter a quantidade, a unidade, o período, o meio do qual o recurso provém, o meio para o qual os poluentes são destinados, o ano, a região, a tecnologia, a forma de coleta, entre outros (UGAYA, 2013). A soma das entradas e saídas obtidas no ICV deve ser alocada aos diferentes produtos elaborados, quando não for possível evitar a alocação.

Os procedimentos simplificados para análise do ICV devem ser conduzidos com o máximo de cuidado, pois a imprecisão dos dados incluídos nesta fase afeta diretamente a credibilidade e abrangência do estudo (CHRISTOFOROU e FOKAIDES, 2016).

### **iii. Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)**

A fase de AICV tem por objetivo prover informações adicionais para ajudar na avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto, visando um melhor entendimento de sua significância ambiental (ISO, 2006a). Em geral, esse processo envolve associar os dados do inventário com as categorias de impacto que são avaliadas quantitativa e qualitativamente.

A AICV enfoca as questões ambientais que são definidas no objetivo e escopo, de acordo com o método utilizado. Alguns exemplos de métodos são: CML (Holanda), Eco-Indicador 99 (Holanda), EDIP 2003 (Dinamarca), Impact 2000+ (Suíça), TRACI (EUA), LIME (Japão), ReCiPe 2008 (Holanda). O ReCiPe 2008 foi desenvolvido a partir da união entre dois métodos holandeses: o CML, que fornece uma abordagem de *Midpoint* (ponto médio/intermediário), e o Eco-Indicador 99, que fornece uma abordagem *Endpoint* (ponto final).

Os indicadores *Midpoint* e *Endpoint*, respectivamente, procuram analisar as emissões de substâncias e/ou extrapolações de recursos naturais com o uso de indicadores de categoria de ponto médio (ex. acidificação, mudanças climáticas) e de ponto final (ex. danos a saúde, danos a qualidade do ecossistema), intrinsecamente relacionados ao produto ou atividade em estudo (GOEDKOOPE et al., 2013).

Os indicadores de resultado de nível médio (Midpoint) do método RECiPe contemplam dezoito categorias de impacto, como por exemplo: potencial de aquecimento global, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, potencial de depleção da camada de ozônio, toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos e potencial de depleção fóssil. As três categorias de impacto de nível final (Endpoint) são: danos à saúde humana, danos à diversidade do ecossistema e danos à disponibilidade de recursos (GOEDKOOPE et al., 2013).

Para inferência dos resultados da AICV, os estudos em ACV concebem a utilização de dados primários e secundários. Os dados primários são aqueles coletados “*in loco*”, mediante monitoramento e/ou observação visual e que conferem maior confiabilidade ao estudo, se devidamente tabulados. Os dados secundários são obtidos da literatura, de bibliotecas de inventários desenvolvidos especificamente para facilitar todo o tratamento das informações. Atualmente, diversas ferramentas computacionais contemplam bibliotecas de inventários, como o SimaPro<sup>®</sup>, o Gabi<sup>®</sup>, Umberto<sup>®</sup> e o COMPASS<sup>®</sup> (SPECK et al., 2015).

A partir dos dados do inventário do ciclo de vida dos produtos ou serviços podem ser elaboradas figuras e/ou tabelas que permitem uma visualização gráfica dos processos que mais

contribuem para as categorias de impactos ambientais utilizadas. Os dados são também submetidos à análise de incerteza a partir da Matriz Pedigree, composta por cinco indicadores (confiança, integralidade, correlação temporal, correlação geográfica, correlação tecnológica) (CIROTH et al., 2013). Com base nas informações obtidas na Matriz de *Pedigree*, é possível realizar a simulação de Monte Carlo, que utiliza a geração de números aleatórios para atribuir valores às variáveis desejadas (SANTOS et al., 2013). A referida simulação estatística permite realizar o cálculo das incertezas dos dados e informações para geração do desvio padrão das variáveis do inventário.

#### **iv. Interpretação do ciclo de vida**

A fase de interpretação do ciclo de vida fornece a identificação das questões significativas com base nos resultados do inventário e da AICV. Permite ainda uma avaliação dos objetivos e escopo do estudo e demais fases, considerando verificações de completeza, sensibilidade e consistência (ISO, 2006b). Como a ACV é um estudo iterativo e dinâmico, as informações obtidas em qualquer uma das quatro fases poderá afetar as demais e, conseqüentemente, levar à reorganização.

### **3.4 Cadeia Produtiva do Leite**

A noção de Cadeia de Produção Agroindustrial (CPA) ou *filières* foi concebida pela escola francesa de economia industrial como resultado dos esforços de renomados economistas franceses (BATALHA e SILVA, 2009). Os autores preconizam a segmentação da cadeia de produção de montante a jusante, em três macrosegmentos: produção de matérias-primas, industrialização e comercialização. Este enfoque consiste em descrever as operações de produção responsáveis pela transformação da matéria prima em produto acabado ou semi-acabado.

Dentro desta ótica de macrosegmentos, o setor industrial é composto por empresas que transformam as matérias-primas em produtos finais destinados ao mercado consumidor. Em um sentido mais específico, um dos elos do setor industrial são as micro e pequenas empresas no Brasil, que representam 98% das empresas existentes e 20% do Produto Interno Bruto (PIB) (SEBRAE, 2014). Dentre as micro e pequenas empresas encontram-se as fábricas de laticínios, assim denominados os estabelecimentos destinados ao recebimento de leite e creme para o preparo de quaisquer produtos derivados do leite (BRASIL, 1980). Estas, por sua vez, detêm participação efetiva no segmento industrial no Brasil.

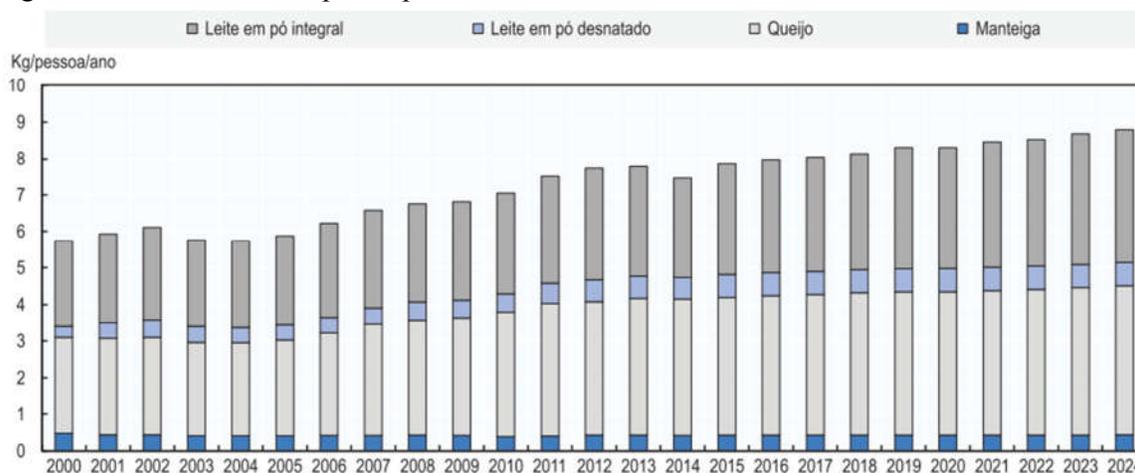
O avanço da produção de leite no Brasil pode ser justificado pela disponibilidade de matéria-prima em praticamente todas as unidades federativas do país. Como consequência, a produção de leite deverá crescer a uma taxa anual entre 2,4% e 3,3%. Isto corresponde a passar

de uma produção de 37,2 bilhões de litros em 2015 para valores entre 47,5 e 52,7 bilhões de litros até 2024/25 (BRASIL, 2015a).

A produção de leite acompanha lentamente a demanda interna por produtos lácteos, tais como, manteiga, queijo, leite desnatado e leite em pó. Entre estes, o queijo é o produto mais consumido pelos brasileiros. O consumo per capita de queijo no Brasil é de 4 kg, com projeções de aumento até 2024 (Figura 2).

Estima-se que a indústria de laticínios responda por 10% do faturamento do setor e que seja a 5ª colocada no ranking de faturamento dos principais setores da indústria da alimentação, ficando atrás somente das indústrias de bebidas, derivados de carne, café, chá, cereais e açúcares (ABIA, 2014).

Figura 2 – Consumo Per capita de produtos lácteos no Brasil



Fonte: OECD/FAO (2015, p. 86).

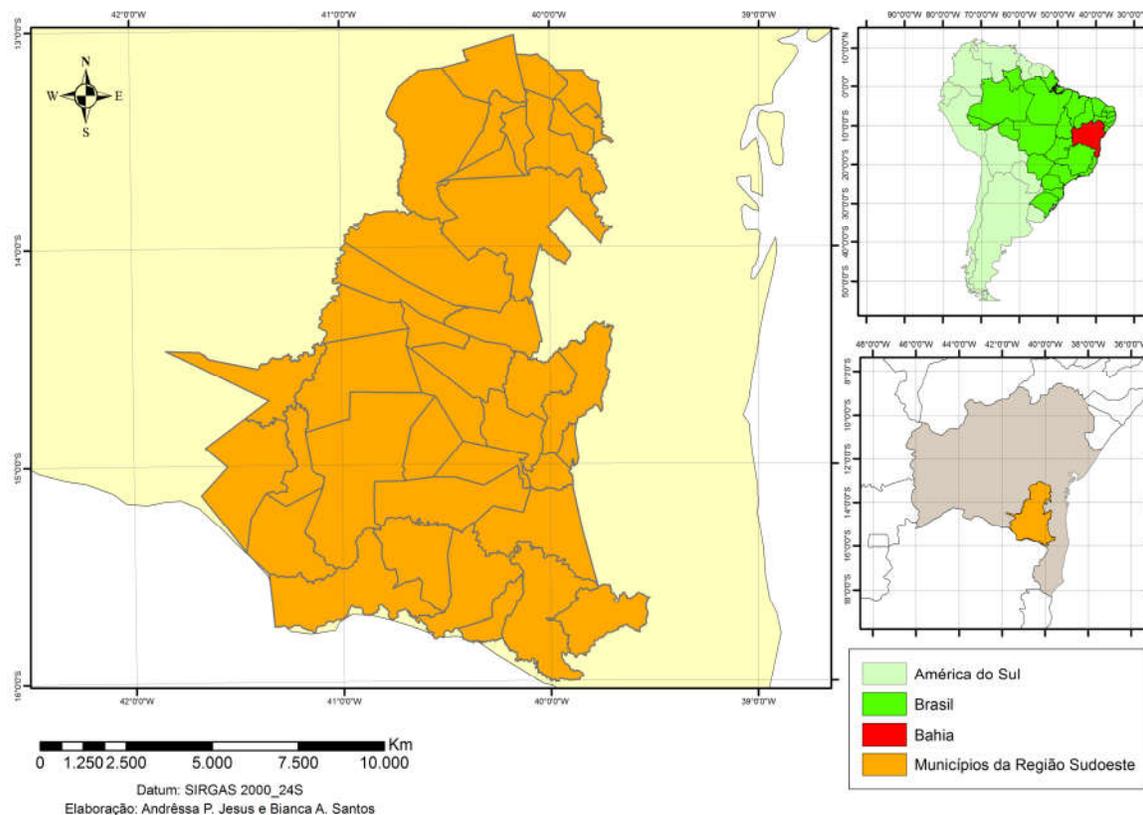
A quantidade de leite industrializado sob regime de inspeção oficial no Estado da Bahia, por exemplo, foi a maior da região Nordeste do Brasil. O Estado baiano processou em 2015 cerca de 332.335 milhões de litros de leite, isto equivale a 23,53% da região Nordeste (IBGE, 2016a).

Segundo o levantamento realizado por Maderi (2014), com base nos dados da Agência Estadual de Defesa Agropecuária da Bahia (ADAB), o Estado possui 152 estabelecimentos de leite e derivados, com 97 fábricas de laticínios e 55 usinas de beneficiamento.

A Bahia, maior estado em extensão geográfica do nordeste, ocupa uma área de 564.732,642 (km<sup>2</sup>), com uma população estimada de 15.276.566 habitantes em 2016 (IBGE, 2016b). O clima é úmido no litoral, semiúmido no oeste e semiárido no restante do território. A região Sudoeste da Bahia (Figura 3) ocupa uma área de 7,53% do total do Estado e possui uma população estimada em 1.207.627 habitantes (IBGE, 2016b). A região é composta por 39 municípios que fazem parte de quatro Territórios de Identidade: Vitória da Conquista, Itapetinga, Médio Rio de Contas e Vale do Jiquiriçá.

Para Maderi (2014), em relação aos aspectos ambientais, mais da metade das indústrias localizadas no Território de Identidade do Médio Sudoeste da Bahia (TI Médio Sudoeste da Bahia), precisam reduzir o consumo de água, insumos e a geração de efluentes. A Resolução Conama n.430/2011 (CONAMA, 1997) define efluente como “(...) o termo usado para caracterizar os despejos líquidos provenientes de diversas atividades ou processos”.

Figura 3 – Região Sudoeste da Bahia



Fonte: o autor

Historicamente, a agricultura do Estado da Bahia foi fomentada pela cultura do cacau, mandioca, café, cana-de-açúcar, entre outros. A pecuária se destaca por efetivos de rebanhos bovinos, suínos, caprinos, ovinos, asininos, equinos, muares, ovinos, coelhos e bubalinos (SEI, 2015). A participação do setor agropecuário baiano (agricultura e pecuária) é determinante para economia do Estado, seja pela necessidade de se produzir alimento para a população seja por fornecer matérias-primas para transformação industrial.

Em 2014, o setor agropecuário respondeu por 24% do PIB, 30% dos empregos e 42% das exportações do Estado Baiano (SEAGRI, 2014). No Brasil, o setor agropecuário é responsável por 24% do PIB e 36% das exportações (BRASIL, 2015a). O peso da agricultura e dos serviços relacionados responde por 66% do setor agropecuário do Estado (SEI, 2013). Neste universo, o elevado número de estabelecimentos de leite no Estado da Bahia, bem como o expressivo desenvolvimento do setor agropecuário da região, justifica a importância de aprofundar os

estudos nestes estabelecimentos que, em sua maioria, necessitam se adequar às normas ambientais.

### 3.5 Bubalinocultura do leite

A população mundial de búfalos é de aproximadamente 168 milhões de cabeças: mais de 95% estão na Ásia; 2% estão na África, particularmente no Egito; 2% estão na América do Sul; e menos de 1% estão na Europa (FAO, 2016). O búfalo (*Bubalus bubalis*) está classificado em duas espécies distintas: búfalo do pântano (*B. bubalis carabensis*) e búfalo de rio (*B. bubalus bubalis*), sendo esta espécie mais vocacionada para a produção de leite que aquela (PITACAS e RODRIGUÊS, 2013). As raças mais difundidas no Brasil são a Mediterrâneo, Murrah, Jafarabadi (búfalo de rio) e Carabao (búfalo de pântano).

A produção mundial de leite de búfala (13%) ocupa o segundo lugar em importância, perdendo apenas para o leite bovino (83%) seguido pelo leite caprino (2%), ovinos (1%), camelídeos (0,4%) e de outras espécies (0,6%) (FAO, 2016). Na Índia, por exemplo, 57% da produção total de leite são oriundos da bubalinocultura (KUMAR et al., 2014).

A população bubalina, mantida principalmente por produtores de pequena escala, está em franco crescimento no Brasil. Estima-se que em 2011 a produção de leite de búfala tenha sido de 156 milhões de litros (BERNARDES, 2014).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) publicou o relatório da população total de bubalinos nas quatro regiões do Brasil (Tabela 1) (BRASIL, 2014). Dados oficiais da produção de leite de búfala no Brasil não foram apresentados no relatório.

Tabela 1 – Valores efetivos de rebanhos bubalinos no Brasil

Regiões da Federação	Rebanho (cabeças)	Total (%)
Norte	746.388	50,8
Nordeste	418.367	28,4
Sudeste	149.444	10,1
Sul	99.132	6,7
Centro-Oeste	57.073	4,0
<b>Total</b>	<b>1.470.404</b>	<b>100</b>

Fonte: Adaptado a partir de Brasil (2014)

Um levantamento realizado com o auxílio da ADAB, Coordenadoria regional de Itapetinga, estimou a existência de 06 estabelecimentos que processam aproximadamente 4.200 litros de leite bubalino no Estado da Bahia. De acordo com o referido levantamento, a região Sudoeste da Bahia concentra duas fábricas de laticínios que processam em média 650 litros de leite de búfala por dia.

A bubalinocultura de leite apresenta constante evolução. Isto se deve não somente pelas características do rebanho, mas também pela qualidade nutricional dos derivados do leite,

principalmente a gordura e a proteína, que apresentam o maior valor econômico (RICCI e DOMINGUES, 2012). A capacidade do rebanho bubalino em adaptar-se as variações climáticas e de solos, a maior resistência a doenças e a disposição reprodutiva faz com que a bubalinocultura tenha enormes vantagens econômicas em relação à pecuária leiteira (ROSA et al., 2007).

O Estado de São Paulo concebe a maior parte da produção de leite de búfala do Brasil e concentra em torno de 14 fábricas de laticínios, sendo a maioria de pequeno porte, processando em média 5.400 litros por dia (ROSALES e BATALHA, 2013). A formação de “bacias” de produção de leite de búfalas, particularmente concentradas na região Sudeste do país, pode estar relacionada ao mercado consumidor mais expressivo nesta região (SILVA e NADIR JÚNIOR, 2014). Entretanto, outros Estados da federação têm apresentado crescimento do rebanho, como a Bahia, por exemplo.

De acordo com informações obtidas junto a ADAB, no Território de Identidade (TI) do Médio Sudoeste da Bahia existem mais de 7.500 cabeças de gado bubalino sendo que, 42% do rebanho são búfalas leiteiras (ADAB, 2016). O leite bubalino produzido no TI do Médio Sudoeste da Bahia é fornecido para duas fábricas de laticínios desta região que receberam em média 650 litros diariamente no mês de agosto de 2016.

Um dos principais atrativos do leite bubalino é o elevado teor nutricional, extremamente vantajoso, principalmente do ponto de vista da industrialização. O leite de búfala é mais rico em nutrientes do que o leite bovino, com 16 a 17% de sólidos contra 12-13% do leite bovino. Possui um teor de gordura mais elevado (6-8% x 3,5-5%), de proteínas (4,0-4,5% x 3,5%), de cálcio (0,18 x 0,12%) e, ainda, contém menos colesterol (ANDRIGHETTO, 2011; PAUL e LAL, 2010).

A elevada composição físico-química do leite favorece o rendimento e a transformação desta matéria-prima em uma variedade de produtos, tais como, queijos, ricota, manteiga, creme de leite, entre outros. O queijo mozzarella e a ricota fresca são os principais produtos presentes no portfólio das empresas que processam leite de búfala no Brasil (BUZI, et al., 2009). O queijo mozzarella, um tipo de queijo fresco de massa filada, originário da Itália e comercializado em diversos formatos, tais como: bolas, nozinhos, tranças ou barras, sendo embalado com adição de soro ou não (ABCB, 2016).

As vantagens de se trabalhar com produtos derivados do leite de búfala são ainda mais atrativas. Uma delas é o preço comercial dos produtos, que superam os preços de produtos de outras espécies (BERNARDES, 2014; SANTINI et al., 2013). No ano de 2014 estima-se que o valor médio de venda do queijo mozzarella de búfala no varejo tenha sido 70% maior que do queijo tipo mozzarella bovino (BERNARDES, 2014; CONAB, 2014).

Diante de expressivas vantagens, fica evidente a importância comercial e industrial deste segmento que apresenta elevado potencial de crescimento. Atualmente, a criação de búfalas no país, mesmo em menor quantidade que a pecuária bovina, vem se desenvolvendo em larga escala, uma vez que o leite dessa espécie, quando utilizado para elaboração de derivados lácteos, apresenta maior rendimento industrial (SILVA e NARDI JUNIOR, 2014).

### **3.6 Impactos ambientais associados ao processamento de leite**

As fábricas de laticínios possuem um sistema de múltiplas saídas, típicas deste setor, ou seja, vários produtos lácteos estão interligados. Um fator preponderante do setor lácteo, seja bubalino ou bovino, é a necessidade de uma grande quantidade de matérias-primas, recursos e insumos (ex. embalagens, produtos químicos), energia (térmica e elétrica) e água.

Estima-se, por exemplo, que sejam necessários 4 litros de água para processar 1 litro de leite (PATIL et al., 2014), embora o consumo de água utilizada na higienização de equipamentos (ex. pasteurizador, centrífuga, tanques de fabricação) não seja proporcional à quantidade de produtos processados (TIKARIHA e SAHU, 2014). Esta situação pode desencadear problemas ambientais, principalmente porque a água residual da fábrica de laticínios é composta por produtos químicos utilizados na higienização e resíduos de produtos fabricados, os quais contêm elevado percentual de matéria orgânica (TIKARIHA e SAHU, 2014).

A demanda de energia em fábricas de laticínios é um desafio para o setor, no sentido de melhorar sua competitividade econômica e a compromisso ambiental (BRIAM et al., 2015). A maior parcela da energia elétrica consumida em laticínios é utilizada para o acionamento de motores elétricos, chegando a representar 89% do consumo global do setor (KAWANO et al., 2013). Além do consumo de água e da energia elétrica, a energia térmica também é apontada como uma das principais responsáveis pelos efeitos ambientais adversos da produção e industrialização do leite (ROY et al., 2009).

Em síntese, os aspectos ambientais mais citados em fábricas de laticínios são: a disposição do soro, o consumo de eletricidade e água, o descarte de efluentes, a disposição de resíduos sólidos e químicos e os desperdícios de leite e derivados (BRIAM et al., 2015; GONZÁLEZ-GARCIA et al., 2013a; ROY et al., 2009).

A Tabela 2 contém uma visão panorâmica de estudos em ACV em estabelecimentos de leite e derivados dos últimos quatro anos (2013-2016), enfatizando os limites do sistema, a unidade funcional, os métodos de alocação, as categorias de impacto ambiental adotadas e as conclusões selecionadas. O recorte foi selecionado a fim de conhecer os resultados das constantes evoluções da ACV.

Tabela 2 – Síntese de estudos de ACV em leite e derivados no período de 2013-2016.

Autor	Amostra/Escala geográfica e temporal	Objetivo do estudo	Limites do sistema	Unidade funcional	Alocação	Categorias de impacto <sup>1</sup>	Conclusões destacadas
Palmieri et al. (2016)	Fazenda e fábrica de laticínios localizadas na região de Molise, Centro Sul da Itália (2015)	ACV da produção de mozzarella com e sem o uso do soro de queijo para alimentação animal	Berço ao portão da fábrica	123g de queijo mozzarella (1L leite)	Mássica	AC, DA, DF, DO, TH, EAM, ECT, FOF, AT.	1 – A produção de leite cru na fazenda teve o maior impacto ambiental 2 - A utilização do soro líquido para alimentação dos bovinos não foi decisiva para a melhoria ambiental dos impactos na produção de leite.
Kristensen et al. (2015)	Produção de leite e derivados em três fazendas orgânicas localizadas na Dinamarca (2012)	ACV da produção de leite e queijo a partir de diferentes tipos de alimentação e raças de animais.	Berço ao portão da fábrica	1 kg de produto	Mássica	GEE	1 – O consumo de energia elétrica na produção de queijo foi superior à energia utilizada na produção de leite. 2 – As emissões de dióxido de carbono do queijo fabricado com leite de vaca da raça Jersey foram consideradas 17,5% menores que o leite de vaca Holandesa.
Djekic et al. (2014)	Leite pasteurizado, leite UHT, manteiga, queijo, iogurte e creme em 07 fábricas de laticínios de diferentes capacidades na Servia (2012).	Avaliar o desempenho ambiental de 06 produtos lácteos utilizando a ACV	Berço ao portão da fábrica e o tratamento efluentes	1 kg de produto	Mássica e físico-química	AC, AT, EAD, DO, FOF, TH	1 - O manejo produtivo do leite é o mais determinante para o perfil ambiental. 2 – Os materiais de embalagem, as fontes de energia e o consumo de água são as principais contribuições ambientais das fábricas de laticínios.
Flysjo et al. (2014)	ACV do leite cru, manteiga, queijos, leite em pó, iogurte, creme de leite e derivados do soro processados em fábrica de laticínios da rede Arla Foods na Dinamarca (2010).	Aplicação da ACV como proposição de um método para o cálculo da pegada de carbono de produtos e/ou grupos de derivados lácteos	Berço ao portão da fábrica	1 kg de produto	Baseado no teor de gordura e proteína do leite	GEE	1 - A obtenção de leite na fazenda foi considerada a etapa que mais contribui para a pegada de carbono, independente do tipo de produto lácteo. 2 – Na fase de processamento industrial, as emissões decorrentes do uso da energia e embalagens são importantes fontes de impacto ambiental.

<sup>1</sup>Alterações climáticas (AC), depleção abiótica (DA), depleção fóssil (DF), depleção do ozônio (DO), toxicidade humana (TH), ecotoxicidade marinha, (EAM), ecotoxicidade terrestre, (ECT), oxidação fotoquímica (FOF), acidificação terrestre (AT), eutrofização de água doce (EAD), gases de efeito estufa (GEE), toxicidade humana (TH).

Tabela 2 – Síntese de estudos de ACV em leite e derivados no período de 2013-2016 (continuação).

Autor	Amostra/Escala geográfica e temporal	Objetivo do estudo	Limites do sistema	Unidade funcional	Alocação	Categorias de impacto <sup>1</sup>	Conclusões destacadas
Huang et al. (2014)	Leite cru, leite em pó e gordura anidra elaborados em Heilongjiang, região Sul de China (2011).	Utilização da ACV para determinar o consumo de água (azul) na produção de leite e derivados	Berço ao portão da fábrica	1 kg de produto	Baseado na massa, matéria seca, gordura e proteína.	Não se aplica ao estudo	1- O consumo de água para obtenção do leite cru foi inferior a quantidade utilizada no processamento de leite em pó e da gordura anidra.
Nigri et al. (2014)	Queijo “Minas” produzido na região de Serro e Entre Rios, municípios do Estado de Minas Gerais, Brasil (2011).	Aplicação da ACV para avaliar e comparar os impactos ambientais decorrentes do processo industrial e artesanal	Berço ao portão da fábrica e transporte para o mercado consumidor	1 kg de queijo	NA <sup>2</sup>	ACA, RPI, RPO, AC, RA, DO, EC, AT, EAD, UOS.	1 – A produção de leite foi a que exerceu maior impacto ambiental devido ao uso da terra. 2 – O processo industrial tem mais impacto do que o processo artesanal em decorrência do consumo de madeira e de refrigeração (eletricidade).
Kim et al. (2013)	Produção de queijo cheddar e mozzarella em 17 unidades de processamento nos EUA (2009/2010)	Determinar uma linha de base para os impactos ambientais associados à produção de queijo	Berço ao túmulo	1 tonelada de queijo	Econômica	AC, DA, PE, DOE, CT, FSFO.	1 – A produção de leite na fazenda foi a etapa mais impactante. 2 – A demanda de energia elétrica foi o aspecto ambiental mais significativo na fábrica de laticínios.
González-Garcia et al. (2013a)	Queijo produzido em uma fábrica de laticínios localizada em Portugal (2012)	Avaliar os impactos ambientais e identificar os <i>hotspots</i> do ciclo de vida	Berço ao portão da fábrica e tratamento de efluentes	1kg de queijo	Econômica	DA, PA, PE, FSFO, DEC	1 - A produção de leite na fazenda é uma importante fonte de impacto devido às emissões de metano; amônia, a partir da gestão do estrume; e emissões devido ao combustível utilizado em máquinas agrícolas. 2 – A fabricação de queijo tem os maiores impactos ambientais devido às necessidades energéticas.

<sup>1</sup> **Siglas.** Alterações climáticas (AC), depleção do ozônio (DO), acidificação terrestre (AT), eutrofização de água doce (EAD), depleção abiótica (DA), demanda de energia acumulada (DEC), agentes cancerígenos (ACA), respiração de partículas inorgânicas (RPI), radiação (RA), ecotoxicidade (EC), uso e ocupação do solo (UOS), potencial de eutrofização (PE), potencial de acidificação (PA), depleção do ozônio estratosférico (DOE), formação de substâncias foto oxidantes (FSFO), competição pela terra (CT), respiração de partículas inorgânicas (POR).

<sup>2</sup> NA = não aplicado

Os resultados dos estudos de Palmieri et al. (2016) confirmam que um dos principais contribuintes nas categorias acidificação, eutrofização e aquecimento global foram resultantes da produção de leite na fazenda. O resultado obtido na categoria aquecimento global, por exemplo, deve-se à emissão de metano a partir do processo de fermentação entérica e das emissões de amônia, resultantes da volatilização do nitrogênio contido no estrume.

Por outro lado, a produção de queijo mozzarella teve contribuição significativa para os impactos, considerando as categorias toxicidade humana e depleção abiótica, devido ao cromo e, na categoria ecotoxicidade marinha, o berílio utilizado nas atividades associadas ao tratamento do soro na ETA (Estação de Tratamento de Água) foi o principal responsável pelos valores elevados. Melhorias do perfil ambiental da produção de queijo devem ser focadas na otimização do consumo de energia elétrica, utilizada nos equipamentos.

Os autores também utilizaram o soro de queijo como alternativa para dessedentação animal. Em síntese, a hipótese dos pesquisadores de que o uso do soro líquido utilizado na composição das dietas de vacas leiteiras com objetivo de substituir parcialmente a água consumida pelos animais, não resultou em vantagens significativas sob o ponto de vista ambiental e, indiretamente, sob os aspectos econômicos e nutricionais (PALMIERI et al. 2016).

Kristensen et al. (2015) inferiram que a emissão de gases de efeito estufa (GEE) da produção agrícola contribuiu com menos de 10% para as emissões totais e que a maior contribuição foi decorrente do uso de energia elétrica para o processamento de queijo.

Nigri et al. (2014) concluiu que as categorias de impactos ambientais mais importantes foram: a ocupação da terra em decorrência da produção extensiva de leite, a geração de partículas cancerígenas devido ao uso de eletricidade, principalmente durante a fase de refrigeração e a respiração de partículas inorgânica (Respiratory inorganics), causada principalmente pela produção de energia térmica em caldeira.

De acordo com a revisão de literatura, os impactos ambientais adversos da produção de leite e derivados podem ser considerados equivalentes com os impactos da produção de leite e derivados de búfalos. Esta hipótese baseia-se na relação entre ambos os sistemas de produção de leite e carne, oriundos de ruminantes de grande porte. Além disso, estudos indicam problemas ambientais semelhantes na produção de leite bubalino e bovino.

A produção de leite bubalino evidencia potenciais impactos ambientais em fazendas de criação dos animais (GARG, et al., 2016; PIRLO et al., 2014a; PIRLO et al., 2014b). De acordo com a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), mais de 60% das emissões oriundas da produção de leite e carne são decorrentes da fermentação entérica (FAO, 2013 p. 31).

Neste sentido, o estudo do processamento de leite e derivados bubalinos pode fornecer uma visão dos impactos ambientais associados a esta atividade e sobre possibilidades de mitigação. Considerando a contribuição econômica e social da agricultura e pecuária, poucos estudos propõem avaliar a situação ambiental da produção e industrialização de leite de búfala utilizando efetivamente a metodologia de ACV (WILLERS e RODRIGUES, 2014) o que justifica a necessidade de obter resultados quantitativos e qualitativos deste setor.

#### 4 METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida utilizada neste trabalho fundamenta-se na ISO 14040:2006 e 14044:2006, que preconiza as seguintes etapas: definição dos objetivos e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação (ISO, 2006a, b). Utilizou-se também o Manual ILCD da *International Reference Life Cycle Data System, Handbook*, uma obra de referência amplamente consultada por especialistas em ACV (EC, 2010).

Foi realizada uma revisão sistemática e exaustiva na literatura nacional e internacional em busca de estudos que possuíam alguma relação com a aplicação da ACV ou outras metodologias de cunho ambiental em produtos derivados do leite de búfala. Para isso, utilizou-se palavras-chave e pesquisa por assunto como critério de busca. As palavras e assuntos utilizados foram obtidos através de revisão de literatura sobre ACV (Tabela 3).

Tabela 3 – Listagem dos termos utilizados como critério de busca durante o período de 13 de março a 27 de novembro de 2016

Base de dados	Palavras-chave/ Assunto
Portal de periódicos da CAPES, <i>Science Direct</i> , Scielo Brasil, <i>Web of Science</i> , PubMed, The international Journal of Life Cycle Assessment, International Dairy Journal, LCA Food (edições 2012 e 2014).	Impacts, cheese, dairy, whey, life cycle, period, assessment, mozzarella, buffalo, bubalus, bubalis, buffaloes, life cycle, LCA, LCA study, milk environmental analysis, environmental assessment, carbon footprint, cleaner production, water footprint, ruminants, mediterranean, ecological footprint, hydro footprint and greenhouse gases and evaluation.

O critério de busca por assunto foi realizado visando combinar os termos com utilização de operadores booleanos, truncamentos e caracteres especiais, como por exemplo: (Assess\* OR avaliação OR study) AND (environment\*) AND (dairy OR whey). De acordo com critério de busca adotado não foram encontradas pesquisas científicas que utilizasse a metodologia de ACV no processamento industrial e/ou artesanal de produtos derivados do leite bubalinos no Brasil ou em outros países.

Realizou-se também uma pesquisa em órgãos oficiais do governo, tais como, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, objetivando conhecer a produção nacional de leite de búfala. Porém, não foram encontrados dados oficiais sobre a produção nacional de leite bubalino tampouco a caracterização da cadeia produtiva do setor.

Assim, os procedimentos de pesquisa deste trabalho caracterizam-se como exploratório com abordagem em material bibliográfico, de literatura, documental, estatístico, pesquisa experimental (coleta de dados) e observação sistemática (FREITAS et al., 2016).

#### 4.1 Caracterização do objeto de estudo

O estudo foi realizado em uma fábrica de laticínios localizada na região Sudoeste da Bahia, no período de março a dezembro de 2016. Para definição do objeto de estudo utilizou-se a classificação preconizada pelo regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 1980). A fábrica de laticínios pode ser classificada como de porte “micro” empresa e seu potencial poluidor pode ser considerado como “médio”, segundo classificação proposta por órgão oficial do Estado da Bahia (CEPRAM, 2009).

A fábrica de laticínios possui registro no Serviço Inspeção Estadual (SIE) o qual adota regime de auditorias em períodos esporádicos. Em decorrência de registro no SIE, a gestão de canais de distribuição e comercialização dos produtos lácteos limita-se ao território estadual da Bahia. O estabelecimento industrial está instalado em fazenda leiteira que fornece a matéria-prima para a fábrica de laticínios, ou seja, a fazenda e a fábrica estão localizadas na mesma propriedade. A fábrica possui 04 funcionários no setor de produção e 02 no setor administrativo.

Uma das peculiaridades da fábrica de laticínios em estudo é que os produtos lácteos comercializados possuem selo de certificação orgânica concedido pelo IBD Certificações® (IBD, 2016). Desta forma, os produtos lácteos produzidos são acondicionados em embalagem com selo de certificação por auditoria, com o dizer: “Produto Orgânico Brasil”.

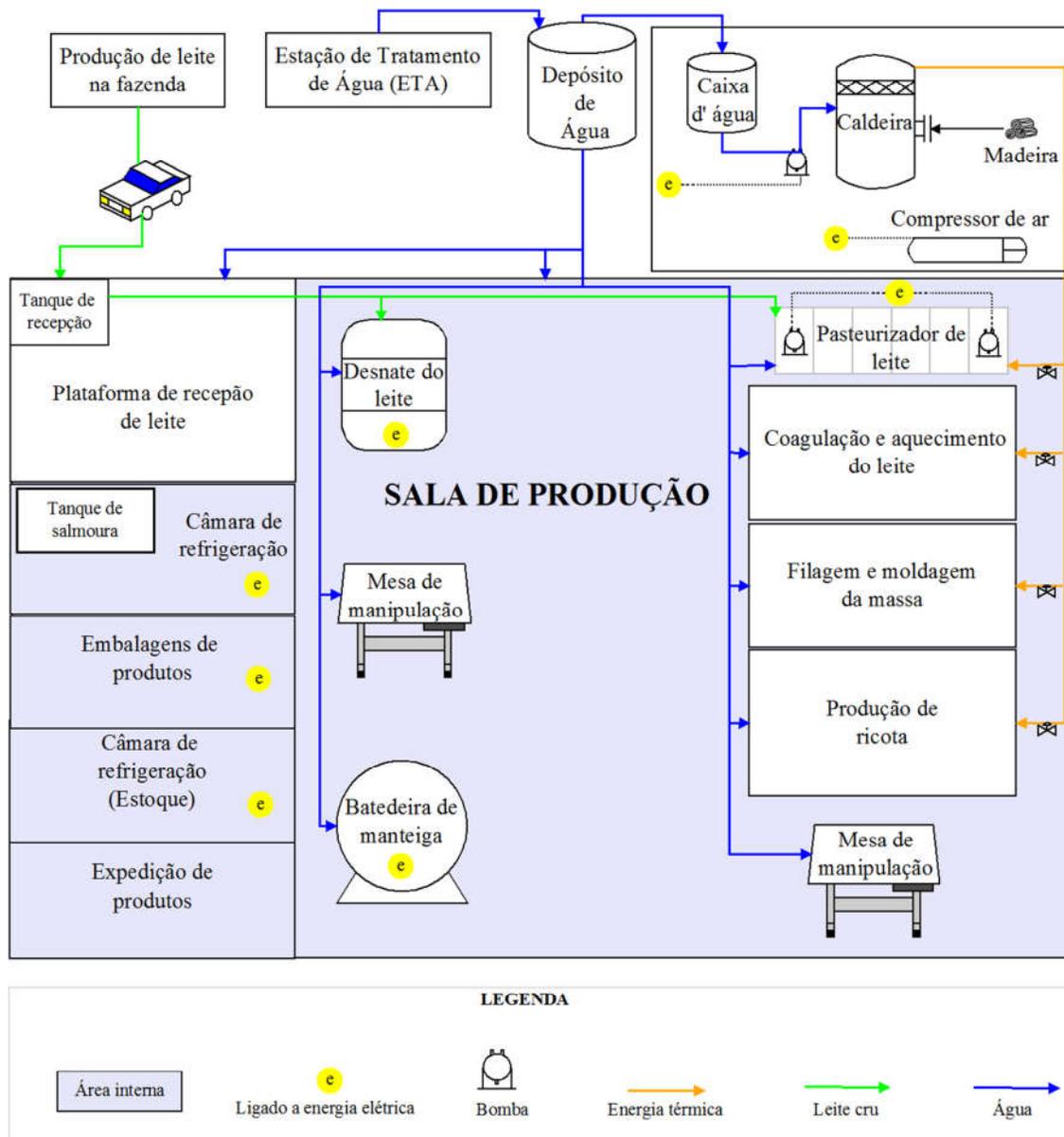
Em decorrência de certificação orgânica, o manejo sanitário do rebanho bubalino é realizado através de técnica homeopática e, conseqüentemente, o leite é considerado oriundo de produção orgânica. O uso de ingredientes no processamento do leite de búfala também segue as orientações da empresa certificadora bem como os produtos de higienização são utilizados mediante prévia autorização da empresa certificadora. Com isso, o processamento de derivados do leite bubalino realizado na fábrica de laticínios também é considerado orgânico. Os procedimentos adotados pela fábrica para obter a certificação orgânica não fazem parte dos objetivos deste trabalho.

Os recursos físico-estruturais, tais como, equipamentos de tecnologia de produção, instalações, compõem o sistema de produto e incluem tudo o que pode ser utilizado por ele. Um esquema representativo de distribuição do leite, da energia elétrica, da água e da térmica está apresentado na Figura 4.

A área externa da fábrica de laticínio é composta de plataforma de recepção do leite, duas caixas d’água para o abastecimento exclusivo da sala de produção e uma caixa para

abastecer a caldeira flamotubular vertical com capacidade de produção de 80 kg de vapor/hora.

Figura 4 – Esquema representativo da fábrica de laticínios em estudo



Fonte: o autor

A área interna de produção industrial é composta por um pasteurizador a placas com capacidade de 1000 litros/hora, dois tanques de fabricação, uma filadeira, uma desnataadeira, uma bateadeira de manteiga, duas mesas de manipulação e diversos materiais em aço inox utilizados para elaboração e manipulação dos produtos lácteos. As instalações internas contam também com duas câmaras frigoríficas, sala de embalagem e rotulagem, depósito de produtos de higienização, dois laboratórios e área de expedição.

A higienização (limpeza e sanitização) dos equipamentos e utensílios é realizada com água lançada através de mangueira, a exceção do pasteurizador de leite. O uso de água para limpeza ocorria, na maioria das vezes, com a válvula ligada, mesmo que não estivesse sendo utilizada, ou seja, a água era desperdiçada na sala de fabricação.

## **4.2 Descrição dos produtos elaborados**

### *4.2.1 Fabricação de queijo mozzarella*

O leite cru in natura recebido na plataforma era enviado ao tratamento térmico em sistema rápido de pasteurização a placas a temperatura de 72 °C a 75°C por 15s. Após o tratamento térmico reduz-se a temperatura do leite (32 °C a 34°C) e envia-o para os tanques de fabricação, adiciona os ingredientes e aditivos: cloreto de cálcio, cultura de arranque (fermento láctico) e coalho (Figura 5a).

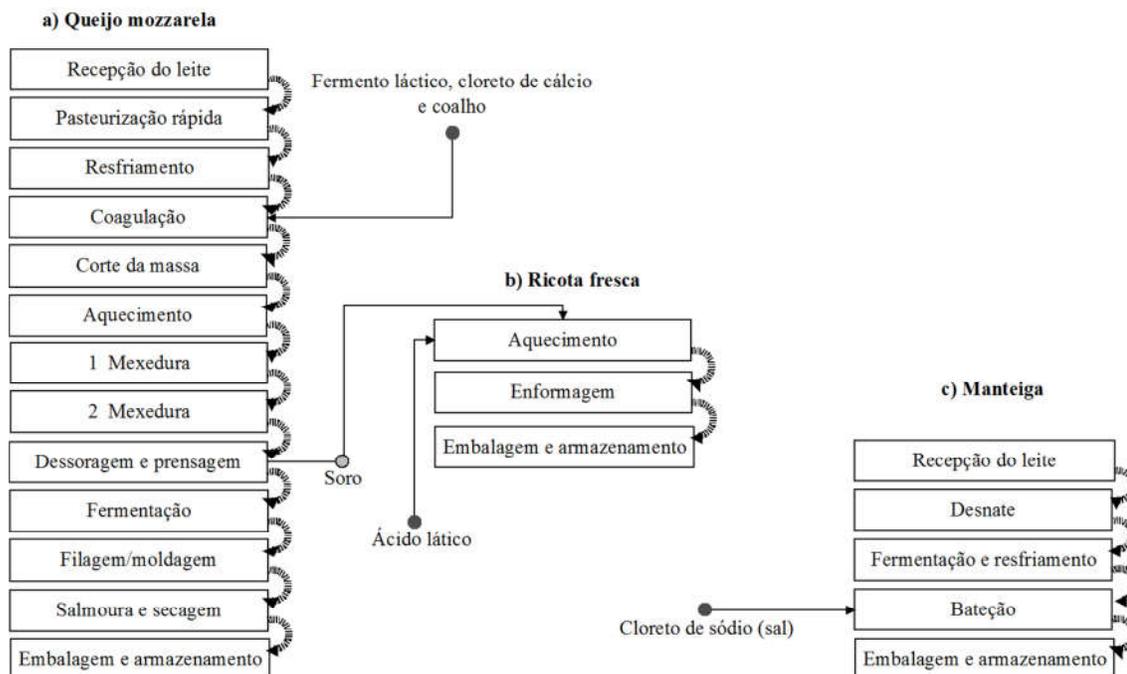
Com o fim da etapa de fermentação a massa é cortada em fatias para facilitar a próxima etapa, a filagem. A etapa de filagem consiste em obter uma massa elástica, brilhante e uniforme. Para isso, utiliza-se água com temperatura em torno de 90°C.

A massa é retirada das formas e conduzida aos tanques de salmoura por um período que varia em função da concentração de sal e do peso do queijo. Os queijos são retirados da salmoura e colocados em mesas para secagem em ambiente refrigerado com circulação de ar. Após 24 horas de secagem, os queijos são enviados a sala de embalagem e rotulagem, acondicionados em sacos plásticos de nylon ou temoencolhível; os queijos são colocados em cuba com água quente visando cumprir a funcionalidade da embalagem temoencolhível. Assim, os queijos são enviados para a câmara de estocagem onde permanecem até a distribuição.

### *4.2.2 Fabricação de ricota fresca*

Obtém-se a ricota fresca a partir do soro originado da prensagem da massa de queijo - fase em que ocorre a retirada do soro de leite (Figura 5b). O soro de leite é o líquido residual obtido a partir da coagulação do leite destinado à fabricação de queijos ou de caseína (BRASIL, 2005). O soro é aquecido até atingir a temperatura de 85°C, adiciona-se o ácido láctico (0,01%) ocasião que ocorre a precipitação das proteínas do soro. A ricota é disposta em formas e prensada por até 10 minutos. Em seguida, o produto segue para câmara de refrigeração por um período de até 12 horas. Após, a ricota é acondicionada em embalagens e armazenada em câmara frigorífica de estocagem até a comercialização. Um aspecto peculiar é que são utilizadas duas “embalagens primárias” para a ricota, um filme plástico e um pote em polietileno.

Figura 5 – Fluxograma de produção do queijo mozzarella, ricota fresca e manteiga, elaborados com leite de búfala.



Fonte: o autor

#### 4.2.3 Fabricação de manteiga

A primeira etapa é ajuste do teor de gordura do creme, realizada com leite desnatado ou água para um teor de 35 a 45%. Em seguida é feita a pasteurização do creme (65°C por 30min), e redução da temperatura (7°C por 18 horas). Após a maturação, o creme é batido para separar a gordura do leite.

Após a evacuação do leite fresco procede-se a lavagem com água. A temperatura da água deve estar menor que a do creme e, para facilitar a total remoção do leite é necessário realizar até cinco lavagens da manteiga. Após lavada, inicia-se o processo de malaxagem (massagem), esta operação facilita a soldagem dos grãos de manteiga e a pulverização do sal na fase aquosa do produto. Finalmente, a manteiga é envasada em potes de polipropileno e armazenado em câmara de refrigeração em temperatura de até 5°C.

As propriedades físicas e químicas dos produtos lácteos, segundo os dados fornecidos pelo estabelecimento, possuem os seguintes teores médios: Queijo mozzarella: umidade 48%, gordura 44%, proteína 43% e extrato seco total 52%; Manteiga: umidade máxima 16%, gordura 82% e extrato seco máximo 2%; Ricota fresca: gordura 5,0%, umidade em torno de 65% e proteína em torno de 16%. Os produtos fabricados pela fábrica de laticínios de búfala eram, majoritariamente, o queijo mozzarella em diversos formatos (Tabela 4).

Tabela 4 – Tipos de produtos fabricados, formato e frequência de fabricação

Produtos lácteos	Formato	Frequência de fabricação
		Percentual
Queijo mozzarella	Barra	48,6
	Bola com soro	11,6
	Bola sem soro	10,8
	Manta	5,9
Minas frescal		8,1
Queijo coalho		6,2
Burrata		0,8
Ricota fresca		6,1
Manteiga		1,9

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com a Tabela 04 é possível inferir que 65,5% dos queijos produzidos foram mozzarella, 17,24% eram os queijos Minas frescal, coalho e burrata, 6,8% de ricota fresca e 10,3% de manteiga.

#### 4.3 Definição do objetivo e escopo

O objetivo do estudo foi avaliar os impactos ambientais no ciclo de vida da produção de derivados lácteos bubalinos. Os limites ou fronteiras do sistema de produto foram do berço da produção de leite ao portão da fábrica de laticínios, estrutura denominada “*cradle-to-gate*”.

Os limites ou fronteiras do sistema compreenderam toda fase agrícola necessária para a produção de leite de búfala e os processos de transformação da matéria prima em três produtos lácteos (Figura 5). As unidades funcionais (UF) adotadas foram:

- 1 kg de FPCM – Fat and Protein Corrected Milk (leite corrigido pelo teor de gordura e proteína).
- 1kg de queijo mozzarella pronto para o consumo, acondicionados em embalagem termoencolhível e disposto em caixas de papelão;
- 1kg de manteiga embalada em potes de polipropileno;
- 1kg de ricota acondicionada em embalagem de nylon, em pote de polietileno e disposto em caixas de papelão.

Para determinação de 1 kg de FPCM produzido na fazenda, utilizou-se a equação (Equação 1) proposta pela *International Dairy Federation* (IDF). Foi utilizado o teor médio de 5,7% de gordura e 3,4% de proteína 3,4%.

$$\text{FPCM} \left( \frac{\text{kg}}{\text{ano}} \right) = \text{Produção} \left( \frac{\text{kg}}{\text{ano}} \right) \cdot [0,1226 \cdot \text{Fat}\% + 0,0776 \cdot \text{True Protein}\% + 0,2534] \quad (01)$$

Onde:

Produção (kg/ano) = Massa total do leite de búfala produzido no ano (kg/ano);

Fat% = Percentual de gordura do leite;

True Protein% = Percentual de proteína do leite.

Para a modelagem do sistema de produto e cálculo dos impactos ambientais utilizou-se o *software* SimaPro<sup>®</sup>, versão 8.0.5.13 PhD e a base de dados Ecoinvent v. 3 (PRÉ CONSULTANTS, 2017). O método adotado foi o ReCiPe Midpoint (H) v. 1.12.

#### 4.4 Descrição do sistema de produto

A modelagem do sistema de produto descreve o conjunto de processos elementares, fluxos intermediários de produtos e subprodutos, fluxos elementares de entrada e saída de matéria ou energia que passa pelo sistema de produto (ISO, 2006b; EC, 2010).

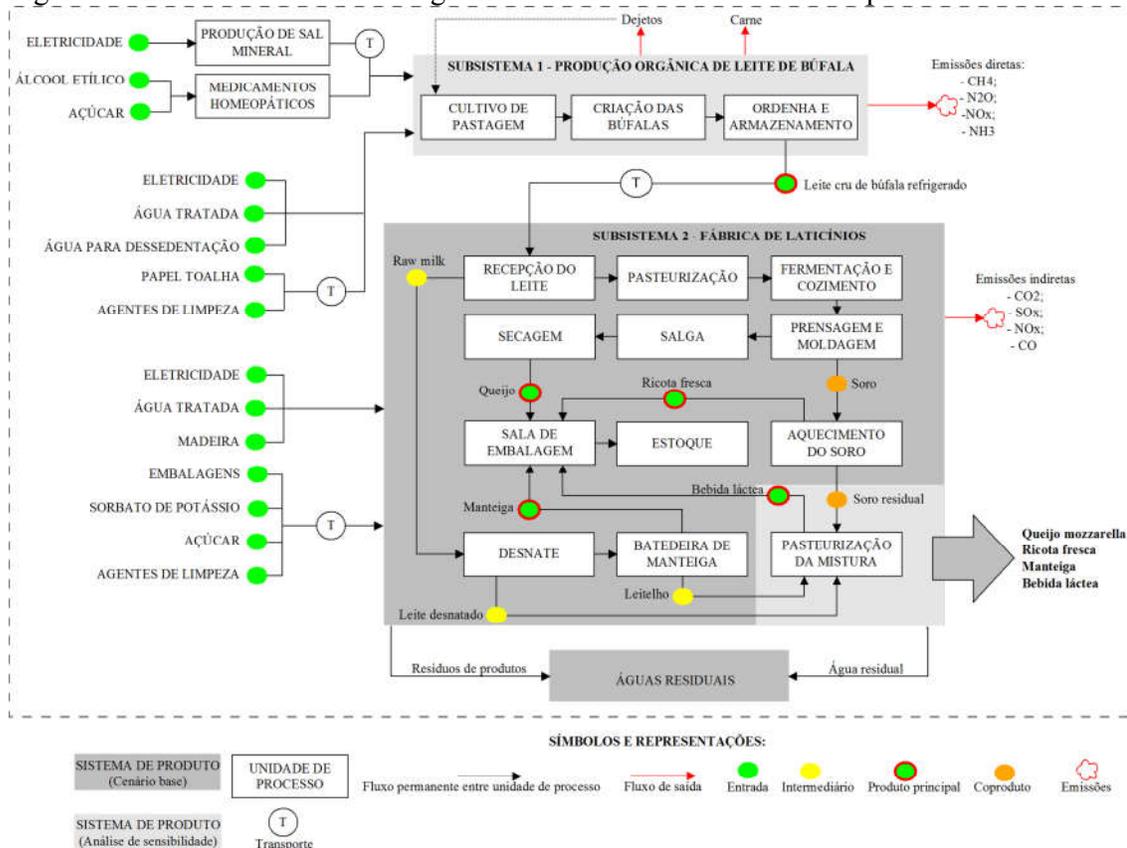
O sistema de produto foi dividido em dois subsistemas: (i) produção de leite bubalino (ii) fábrica de laticínios (Figura 6). Foi necessário modelar o sistema a montante porque não foi encontrado no *software* SimaPro<sup>®</sup> processos que representasse satisfatoriamente a produção orgânica de leite de búfala.

(i) *Subsistema 1 – Produção de leite bubalino*: A produção da matéria-prima para fabricação dos derivados lácteos foi modelada baseando-se em dados primários e secundários, quando necessário, tendo o cuidado de consultar os dados que mais se aproximavam com os sistemas de produção de leite bubalino praticados na região Sudoeste da Bahia. A região Sudoeste ocupa uma área de 4.656.575,67 km<sup>2</sup>, que equivale a 0,82% do território do Estado, possui clima semiúmido a seco, 95% do bioma é constituído de mata atlântica e caatinga, e temperatura média de 23°C (IBGE, 2016c; BARRETO, 2014). Os tipos de solos predominantes são os argissolos e o chernossolos, solos de aptidão agrícola (EMBRAPA, 2014; SEI, 2001).

A produção de leite é composta pelas unidades de processo: cultivo de pastagem, criação dos animais e ordenha e armazenamento do leite (Figura 6). Os animais são criados em sistema de produção extensivo, em área com 500 hectares, alimentados com pastagem denominada *Brachiaria decumbens* e suplementação mineral. A quantidade e grupos de animais foi baseada em Pirlo et al. (2014b), com, 199 animais da raça Murrah e Murrah Mediterrâneo, divididos em: (n=100) búfalas lactantes, (n=27) búfalas secas, (n=46) novilhas prenhas e búfalas jovens <2 anos (n=26) e a produção de medicamentos homeopáticos (UFV, 2009). A unidade ordenha e armazenamento do leite foi modelada de acordo com (ANDRIGHETTO, 2011), e incluem os fluxos de energia elétrica (MIGLIAVACCA, 2015), água tratada (CARVALHO et al. 2011; DRD, 2003).

A utilização de tratores, o consumo de combustíveis e agentes lubrificantes não foi considerado na modelagem da fazenda por que raramente são utilizados e por que o sistema de produção é considerado orgânico. Bens de capital (infraestrutura, máquinas), transporte de insumos, animais de reposição não foram inclusos no sistema. A produção média diária de leite de búfala foi de 4 litros/dia ou 4,13 kg/dia. Em decorrência de certificação por auditoria, o leite produzido na fazenda é considerado orgânico. Além do leite, a fazenda gera animais de descarte (comercializados), estimados em 6,9% por ano (SKIDMORE, 2005).

Figura 6 – Limites do sistema e diagrama de fluxo do ciclo de vida dos produtos.



Fonte: o autor

(ii) *Subsistema 2 - Fábrica de laticínios:* Este subsistema inclui todas as atividades necessárias para fabricação de queijo mozzarella, ricota fresca e manteiga, conforme descrito nos itens 4.1 e 4.2.

As águas residuais da fábrica de laticínio eram descartadas de maneira imprópria. O único procedimento de “tratamento preliminar” dos efluentes industriais era um sistema de peneiramento que consistia na separação dos sólidos grosseiros. Foram realizadas análises laboratoriais da carga orgânica de DBO (demanda biológica de oxigênio) e, a partir da correlação entre os valores da DBO foi obtido o valor de DQO (demanda química de oxigênio), conforme Scalize et al. (2004).

O sistema de produto em estudo pode ser considerado multifuncional, isto é, um sistema que fornece vários tipos de produtos tais como: leite, carne, produtos lácteos e subprodutos. Com isso, é necessário alocar os fluxos elementares de entrada e saídas.

#### 4.5 Critérios de Alocação

Considerando os objetivos e escopo do presente estudo, adotou-se ACV atribucional. Os métodos de alocação considerados foram alocação mássica, econômica e físico-química. A alocação físico-química é recomendada pelo International Dairy Federation (IDF) (IDF, 2010) e pode apresentar dados mais adequados que a alocação econômica e a alocação mássica (FEITZ et al., 2007).

Os impactos ambientais decorrentes das atividades da fazenda foram alocados entre o produto principal (leite de búfala, 78,3%) e coprodutos (animais descartados/comercializados, 21,7%), com base em seu valor mássico (alocação mássica) (PALMIERI et al., 2016). Não foi realizada a alocação econômica do leite bubalino por que, como a fazenda e a fábrica de laticínio são do mesmo proprietário, o valor comercial (econômico) da matéria-prima poderia não ser um fator relevante para o estudo.

A alocação mássica do leite de búfala foi realizada com base no coeficiente de alocação, estimado a partir da Equação 2 e alocação mássica da carne (Equação 3), preconizada pelo IDF (2015):

$$AF_{leite} = 1 - 6,04 \cdot BMR \quad (02)$$

$$AF_{carne} = 1 - AF_{leite} \quad (03)$$

Onde:

1- 6,04 = Fator adimensional preconizado pelo IDF;

$AF_{carne}$  = Coeficiente de alocação para a carne;

$AF_{leite}$  = Coeficiente de alocação para o leite;

$BMR = M_{leite}/M_{carne}$  ;

$M_{leite}$  = Soma da massa do leite comercializado;

$M_{carne}$  = Soma da massa (peso bruto) de todos os animais comercializados.

Para fundamentar os critérios de alocação adotados para os derivados do leite foram realizados alguns testes. No primeiro utilizou-se a alocação mássica e econômica com o objetivo de conhecer as contribuições de cada método nas categorias utilizadas. Para tanto, foi modelado e avaliado a unidade de processo pasteurização, composta pelo fluxo de agentes de

limpeza, eletricidade e água. Os testes preliminares mostraram que não houve variação (< 1%) das contribuições nas oito categorias de impacto utilizadas.

Um segundo teste foi realizado utilizado à alocação mássica e físico-química. Neste caso houve variações significativas nas categorias de impacto, mesmo assim, optou-se por não utilizar a alocação mássica. A justificativa reside na hipótese de que as relações físicas (mássica) por si só poderiam fornecer informações pouco confiáveis, especificamente em se tratando do leite de búfala. Assim, decidiu-se utilizar a alocação econômica e físico-química.

Para a alocação econômica dos produtos lácteos foram utilizados os valores comerciais de cada produto (queijo, manteiga e ricota) a fim de distribuir proporcionalmente os valores às cargas ambientais adversas (Tabela 5) (FLYSJÖ et al., 2014). O método de alocação econômica foi utilizado devido ao elevado valor comercial dos derivados do leite de búfala.

Para a alocação econômica adotou-se a Equação 4, proposta por Santos Júnior et al. (2017):

$$FA_{(\text{econômico})} = \frac{[VE \times PR]_i}{\sum_{i=1}^n [VE \times PR]} \quad (04)$$

Onde:

VE = Valor econômico (R\$/kg);

PR = Produção (kg/ano);

i = Produto que se deseja obter o fator de alocação;

n = Número total de produtos elaborados

Tabela 5 – Fatores de alocação econômica dos produtos lácteos

Produto	Produção <sup>a</sup> (kg/ano)	Valor econômico <sup>b</sup> (R\$/kg)	Valor econômico total	Fator de alocação econômico
Queijo mozzarella	16.811,52	33,34	560.496,07	94,92%
Manteiga	359,00	22,00	7.898,00	1,34%
Ricota fresca	1.116,38	19,80	22.104,32	3,74%
<b>Total</b>	<b>18.286,90</b>	--	<b>590.498,40</b>	<b>100%</b>

<sup>a</sup> Quantidade produzida no período de janeiro a dezembro de 2015.

<sup>b</sup> Valor comercial do produto adquirido diretamente na fábrica.

Fonte: o autor

Para a alocação físico-química, foram utilizados coeficientes de atribuição para determinados fluxos elementares (Apêndice 8), de acordo com a Equação 5:

$$\text{Allocation}_{(\text{product}_i)} = \frac{\text{product}_i \times FA_i}{\sum_{ij} \text{product}_{ij} \times FA_{ij}} \quad (05)$$

Onde: FA = Fator de alocação

Para obter o FA foi necessário determinar o fator de concentração do leite bubalino para cada derivado lácteo, conforme proposto pelo IDF<sup>4</sup>. O fator de concentração foi determinado de acordo com o extrato seco dos produtos, por exemplo,  $51,4 / 9,86 = 5,2$  (Tabela 6).

Tabela 6 – Fatores de concentração do leite bubalino para diferentes derivados lácteos.

	Sólidos do leite (%)	Fator de concentração do leite bubalino
Leite cru bubalino	9,86	1,0
Queijo mozzarella	51,4 <sup>1</sup>	5,2
Manteiga	1,7 <sup>2</sup>	0,2
Ricota fresca	21 <sup>3</sup>	2,5
Leite fresco desnatado	3,12 <sup>4</sup>	0,3

<sup>1</sup> Os sólidos do leite equivale ao valor do extrato seco total do queijo (52%) menos aproximadamente 0,6% de sal adicionado

<sup>2</sup> Os sólidos do leite equivale ao valor do extrato seco desengordurado da manteiga (2,0%) menos aproximadamente 0,3% de sal adicionado

<sup>3</sup> Os sólidos do leite equivale ao teor médio de gordura (5,0%) mais o teor médio de proteína (16%)

<sup>4</sup> Valor estimado com base na subtração do teor de gordura do leite (6,74) dos sólidos totais do leite (9,86)

Fonte: adaptado de Feitz et al. (2007)

Esta abordagem garante que todos os produtos lácteos recebam os impactos ambientais das atividades agrícolas a montante por ser baseada em princípios físico-químicos (FEITZ et al., 2007). Os fluxos que não possuíam coeficiente de atribuição físico-químico (ex. embalagens, cinzas, fuligem, carvão, sal) foram alocados com base em seu valor mássico como um método alternativo de alocação destes fluxos. As porcentagens de alocação físico-química para os fluxos elementares encontram-se no Apêndice 8.

Realizou-se a modelagem dos produtos lácteos com a alocação físico-química e econômica com o objetivo de proporcionar resultados mais adequados para refletir os fluxos elementares do sistema de produto. Este estudo não tem a intenção de comparar os métodos, mas pode ser que os resultados das contribuições indiquem a alocação mais apropriada para fluxos intra-setoriais e fluxos setoriais interindustriais (FEITZ et al., 2007).

Como o inventário é baseado em balanços de material de entradas (ex. matérias-primas, água) e saídas (ex. emissões, resíduos), convém, portanto, que os procedimentos de alocação se aproximem tanto quanto possível de tais relações e suas características (ISO, 2006a, b). Assim, foi utilizada a alocação econômica e físico-química somente nos fluxos elementares em que não foi possível determinar a quantidade de recursos, materiais e insumos de entrada e saídas (Tabela 7).

A quantidade de energia térmica (vapor) utilizada na pasteurização do creme de leite (matéria-prima) foi irrelevante devido a pequena quantidade fabricada. Por outro lado, foi

<sup>4</sup> Bulletin of the International Dairy Federation 445/2010. A common carbon footprint approach for the dairy sector – The IDF guide to standard life cycle assessment methodology. *Bulletin of the International Dairy Federation*, n. 479, p. 32, 2015.

alocado o consumo de energia elétrica utilizada na câmara de secagem para a manteiga porque o creme de leite era armazenado nesta.

Tabela 7 – Determinação dos fluxos elementares em que foi necessário adotar a alocação

Unidade de processo	Fluxo elementar	Produtos lácteos alocados (S/N*)			
		Leite	Queijo	Manteiga	Ricota
<b>ENTRADAS</b>					
Ordenha e armazenamento do leite	Leite de búfala	S	N	N	N
Criação dos animais	Pastagem orgânica	S	N	N	N
Recepção do leite	Água tratada		S	S	S
	Detergente alcalino	N	S	S	S
Higienização da fábrica	Água tratada	N	S	S	S
	Detergente alcalino	N	S	S	S
	Ácido paracético	N	S	S	S
	Hipoclorito de sódio	N	S	S	S
Embalagem	Energia elétrica	N	S	N	S
	Caixa de papelão	N	S	S	S
Caldeira	Água	N	S	N	S
	Energia térmica	N	S	N	S
	Energia elétrica	N	S	N	S
	Cinza	N	S	N	S
	Carvão	N	S	N	S
	Fuligem	N	S	N	S
	Energia térmica	N	S	N	S
Câmara de refrigeração (secagem)	Energia elétrica	N	S	S	S
Câmara de refrigeração (estoque)	Energia elétrica	N	S	S	S
Pasteurização	Hidróxido de sódio	N	S	N	S
	Ácido nítrico	N	S	N	S
	Energia térmica	N	S	N	S
	Energia elétrica	N	S	N	S
	Água	N	S	N	S
<b>SAÍDAS</b>					
Águas residuais	Água residual	N	S	S	S
Criação das búfalas	Animais descartados	S	N	N	N

\* S=Sim, N=Não

Fonte: o autor

#### 4.6 Categorias de impacto ambiental

As categorias de impacto utilizadas (Tabela 8) foram selecionadas de acordo com os objetivos do trabalho, o sistema de produto em estudo e o método utilizado.

Tabela 8 – Descrição de categorias de impacto ambiental utilizadas

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fator de caracterização</b>
Acidificação terrestre	Alteração do potencial hidrogeniônico (pH) do solo devido à deposição atmosférica de óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> ), amônia (NH <sub>3</sub> ) e dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> ).	kg SO <sub>2eq</sub>
Depleção de água	Redução do volume de recursos hídricos	m <sup>3</sup>
Depleção do ozônio estratosférico	Rarefação da camada de ozônio estratosférico decorrente de emissões de substâncias que provoca o aumento da quantidade de raios ultravioleta. Exemplo destas substâncias são o cloro (Cl) e o bromo (Br). Outros elementos deste grupo são os gases de efeito estufa (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> ).	kg CFC-11 <sub>eq</sub>
Depleção fóssil	Esgotamento de combustível fóssil, termo que concebe um grupo materiais voláteis (como o metano e a gasolina) e não voláteis (como o carvão).	kg oil <sub>eq</sub>
Eutrofização de água doce	Crescimento excessivo de plantas aquáticas ou proliferação de algas, devido a altos níveis de nutrientes, normalmente o fósforo (P), em ecossistemas de água doce, como lagos, reservatórios e rios.	kg P <sub>eq</sub>
Formação de material particulado	Esta categoria de poluente compreende finas partículas sólidas ou gotas de líquido (aerossóis) pequenas o suficiente para permanecerem dispersos no ar.	kg PM10 <sub>eq</sub>
Formação de oxidantes fotoquímicos	São poluentes atmosféricos formados por reações fotoquímicas no ar a partir da queima de combustíveis, em presença da luz ultravioleta proveniente do sol.	kg NMVOC
Mudanças climáticas	Alterações da temperatura dos oceanos e da camada de ar próxima a superfície da terra decorrente de emissões de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) e o metano (CH <sub>4</sub> ).	kg CO <sub>2eq</sub>
Ocupação de terras agrícolas	Indica o uso contínuo de uma determinada área de terra por um determinado período de tempo e para um tipo definido de cultura	m <sup>2</sup> a

Fonte: o autor

#### 4.7 Limitações de utilização dos resultados

O sistema de produto proposto apresenta limitações que podem ser elucidadas considerando as particularidades do presente estudo, tais como:

i) O produto principal, queijo mozzarella, foi modelado de forma a englobar os queijos coalho, Minas frescal e burrata. Em outras palavras, todos os queijos que a fábrica de laticínio produz, foram modelados como queijo mozzarella. A junção de todos os queijos para determinação da unidade funcional foi adotada levando em consideração que, os processos elementares são iguais e/ou comuns a todos os queijos, a exceção da etapa de filagem da

massa, ao qual o queijo coalho e Minas frescal não são submetidos. Desta forma, o consumo de recursos (ex. água, energia) e a geração de emissões a jusante e a montante não sofreram alterações em decorrência da modelagem adotada. Para os queijos (coalho e Minas frescal) - que não são de massa filada - a unidade de processo filagem e moldagem não foram considerados na modelagem do sistema.

ii) Outro fator a ser considerado é que, a redução da temperatura de pasteurização do leite ocorre utilizando a circulação de água em temperatura ambiente que é descartada durante o processo. O motivo é a falta de um sistema de resfriamento da água (ex. torre de resfriamento) que deveria passar pela seção de resfriamento do pasteurizador com o objetivo de reduzir a temperatura do leite.

iii) Em terceiro lugar cabe destacar que, como a fábrica de laticínios foi classificada - quanto à capacidade de processamento - de porte “micro”, existem diversas tecnologias de fabricação realizadas de forma manual. Esta condição pode produzir resultados de aspectos e impactos ambientais adversos em decorrência de problemas de logística de provisionamento e de planejamento da produção. Outro agravante recorrente é o atraso no processamento de queijos. Quando a massa dos queijos não atinge o pH ideal de filagem, o produto intermediário (massa) é armazenado em câmara fria, para interrupção da fermentação e posterior processamento. Nestes casos, a energia térmica gerada para atender a demanda do dia é desperdiçada o que onera as estimativas de impactos ambientais.

iv) A sazonalidade da matéria-prima (leite de búfala) é influenciada diretamente pela atividade agropecuária da fazenda. A disponibilidade da matéria-prima está sujeita a regimes de safra e entressafra, manejo dos animais e ineficiência produtiva. Estas características têm impactos profundos na capacidade de produção industrial. Como consequência, a capacidade instalada da fábrica de laticínios não é totalmente utilizada. O volume médio de leite recebido na fábrica de laticínios fica abaixo da capacidade de processamento que a unidade operacional pode suportar. Com isso, a baixa disponibilidade de matéria-prima para melhor aproveitamento da capacidade tecnológica, resulta em perdas de energia térmica (madeira), água, energia elétrica, produtos de higienização, entre outros insumos e recursos. Em outras palavras, o processamento industrial demanda certa quantidade de insumos e recursos que poderiam ter melhores índices de aproveitamento e utilização se a fábrica operasse próxima a capacidade máxima. O desequilíbrio entre a capacidade instalada e a baixa demanda de matéria-prima pode ter consequências econômicas e ambientais que não foram consideradas neste estudo.

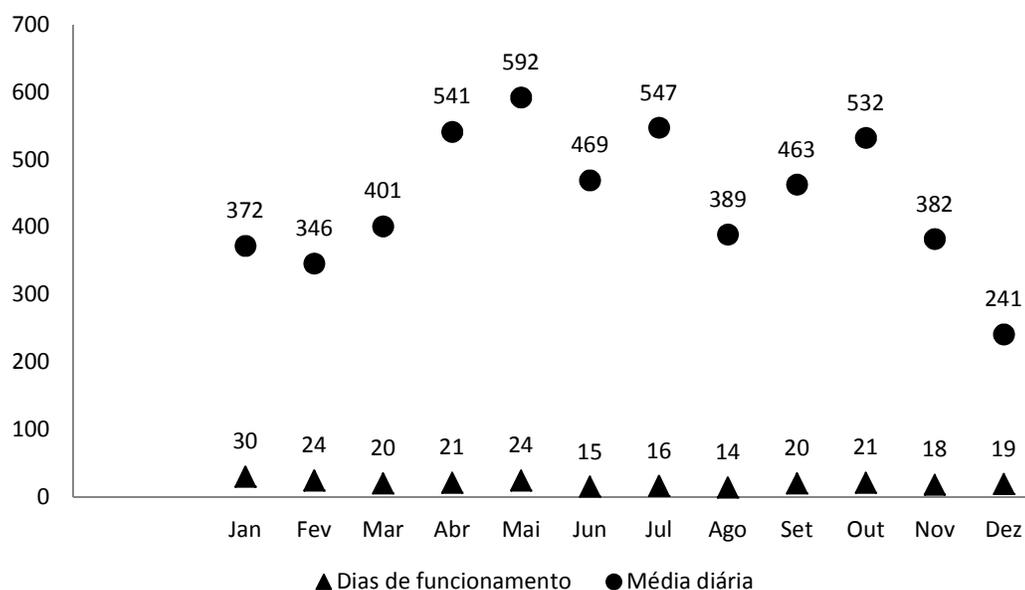
v) Por fim, o transporte de soro residual (soro resultante da obtenção da ricota) juntamente com os resíduos de massa de queijo da fábrica de laticínios que são enviados para uma

pocilga, não foram considerados como dentro do sistema de produto. Um dos motivos é a localização da pocilga que não ultrapassa 200 metros da fábrica.

#### 4.8 Trabalho de campo

A coleta de dados dos fluxos de entradas e saídas e das atividades processamento de derivados do leite bubalino foi realizada como base nos dados de registro de produção referentes ano de 2015. No mês de março de 2016, iniciou-se a coleta de dados que concebe o levantamento de registros documentais do estabelecimento, contabilização das entradas de matéria-prima e insumos, fabricação de produtos, coprodutos, consumo de recursos, materiais e energia elétrica.

Figura 7 – Dias de funcionamento e média diária de leite recebido na fábrica de laticínios.



Fonte: Dados da pesquisa

Verificou-se que, o processamento de leite e derivados na fábrica de laticínios não ocorria diariamente. A fábrica de laticínios realizou o processamento de leite e derivados no ano de 2015 durante 242 dias, com certa variação média de leite recebido diariamente. O volume médio de leite recebido diariamente foi de 440 litros (Fig. 7), valores abaixo da capacidade instalada do estabelecimento que é de 1.000 litros de leite/dia. Em situações esporádicas, devido à baixa disponibilidade da matéria-prima, o leite de búfala é armazenado por até dois dias até atingir um determinado volume para ser processado.

A origem dos recursos e matérias-primas utilizadas para produção de lácteos bem como as e resíduos gerados foram caracterizados na Tabela 9. A utilização de dados para construção do inventário de ciclo de vida da produção de leite e derivados lácteos foi baseado

em médias aritméticas dos fluxos de entrada, oriundos de dados estimados, verificado, medidos ou da literatura.

Tabela 9 – Caracterização de recursos da fábrica de laticínios

<b>Item</b>	<b>Meio do qual o recurso provém</b>	<b>Meio para o qual o poluente é destinado</b>	<b>Região/ano</b>
Água	A água é oriunda de rio. A água é coletada e enviada à estação de tratamento de água (ETA). Após o tratamento é depositada em caixas d' água localizada na área industrial da fábrica.	Os efluentes da fábrica são descartados de maneira imprópria.	Sudoeste da Bahia - Brasil 2016
Leite cru	É produzido na fazenda leiteira do proprietário da fábrica de laticínios através de sistema de produção orgânica certificada.	-	Sudoeste da Bahia/Brasil 2016
Leite desnatado	O leite cru produzido na fazenda leiteira é conduzido diretamente para sala de produção e submetido ao desnate. Após a retirada da matéria gorda (creme), o leite desnatado segue para comercialização.	-	Sudoeste da Bahia/Brasil 2016
Madeira	A lenha utilizada como combustível para a caldeira é coletada na área da fazenda. A madeira é oriunda de palanques de cerca que são descartados em decorrência de reformas e/ou de construções rurais desfeitas, de quedas e/ou poda árvores.	As cinzas, fuligem e o carvão são descartados diretamente no solo.	Sudoeste da Bahia/Brasil 2016
Eletricidade	A energia elétrica é fornecida pela Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia.	-	Sudoeste da Bahia/Brasil 2016
Resíduos de produção, soro residual	Os resíduos de massa de queijo, o soro residual e o leiteiro fresco são oriundos do processamento industrial.	Alimentação animal (suínos)	Sudoeste da Bahia/Brasil 2016

Fonte: Dados da pesquisa

Os dados coletados dos fluxos elementares eram oriundos de pelo menos cinco fontes: registro documental do estabelecimento; informações obtidas através de monitoramento das atividades de produção no local; dados da literatura; e fichas técnicas e rótulos de produtos. Segue abaixo a descrição da metodologia de coleta dos fluxos elementares de entrada, saída, intermediário e subprodutos:

(i) *Madeira (lenha catada)*<sup>5</sup>: A lenha catada (espécies: braúna, sapucaia, aroeira, sabiá e pau d'arco) foi calculada em metros cúbicos. Foi organizada uma pilha de madeira medindo-se a altura, largura e comprimento. O cálculo da quantidade consumida em caldeira flamotubular para uma determinada quantidade de leite processado em abril de 2016 foram extrapolados para ano de 2015. Para determinação da energia térmica foi considerado um sistema aberto e levando em consideração que a pressão atmosférica atua no sistema. Assim, adotou-se o poder calorífico inferior da lenha catada com densidade aparente de 300 kg/m<sup>3</sup> para conversão da energia em massa de madeira (BRASIL, 2016b).

(ii) *Embalagens do tipo filme termoencolhível, filme plástico multicamada em nylon, resina de polipropileno e caixas de papelão ondulado*<sup>8</sup>: A contabilização das embalagens foi obtida de registros diários de produção. Foi calculada a quantidade unitária dos produtos fabricados durante o ano de 2015 e determinado o consumo, conforme os tipos de produto existentes. Concluída a contabilização, uma amostra de cada embalagem foi pesada em balança analítica para determinação do peso conforme a densidade do material.

(iii) *Leite cru*<sup>6</sup>: Foi contabilizado através de registros de controle diário realizado pelo estabelecimento, referentes ao ano de 2015.

(iv) *Produtos lácteos (queijos, manteiga e ricota fresca)*<sup>6</sup>: Foi contabilizado através de registros de controles diários realizados pelo estabelecimento, referentes ao ano de 2015.

(v) *Coprodutos (creme de leite, soro, leite desnatado e massa de queijo)*<sup>6</sup>: O creme foi pesado (medido) *in loco*; o soro foi estimado com base em experimento de pequena escala; o leite desnatado foi contabilizado considerando a quantidade comercializada; e, a massa de queijo, foi recolhida e pesada ao final das atividades na sala de processamento, em 2016.

(vi) *Ingredientes (coalho, cloreto de cálcio, sal e fermento lácteo)*<sup>7</sup>: A quantidade utilizada foi medida através de pesagem no local durante o período de março a maio de 2016. Os valores obtidos da medição foram extrapolados em um espaço de tempo (2015).

(vii) *Água*<sup>5</sup>: Para determinação do volume de água consumida em cada unidade de processo do sistema, foi utilizado um método denominado cubagem, em que se obtém o tempo que a água leva para encher um recipiente de volume conhecido (GIORDANO, 2004). As medições foram realizadas em quadruplicata no período de maio a junho de 2016 e extrapoladas para o ano de 2015.

---

<sup>5</sup> **Medido**: são dados e informações de elevada confiança, mensurados no local durante as atividades de processamento.

<sup>6</sup> **Estimado**: são medidas obtidas com base em afirmações dos colaboradores do setor de produção e reproduzidos e/ou extrapolados em um horizonte de um ano ou ainda de valores estimados considerando experiências de medições em pequena escala realizadas no local ou com base na literatura (referenciados).

<sup>7</sup> **Verificado**: são dados que fazem parte dos registros de produção do estabelecimento e que foram considerados para realização dos cálculos.

(viii) *Energia elétrica*<sup>8</sup>: Foi realizado o levantamento da potência dos motores elétricos de todos os equipamentos dispostos nos limites do sistema em estudo. Ao realizar o produto da potência pela quantidade de tempo em uso, obteve-se o consumo de energia conforme a Equação 6:

$$E = P * \Delta t \quad (06)$$

Onde: E = energia elétrica necessária para execução do processo (kWh), P = potência do equipamento utilizado (kW),  $\Delta t$  = tempo em que o equipamento permaneceu ligado (h).

O monitoramento do tempo médio de acionamento dos motores foi realizado em quadruplicata durante os meses de maio a junho de 2016.

(ix) - *Transporte de leite cru (da fazenda a fábrica)*<sup>9</sup>: A distância média foi realizada em triplicata através de registro da quilometragem do veículo utilizado no transporte de leite (2016).

(x) - *Transporte de insumos (produtos de higienização, embalagens e ingredientes)*<sup>10</sup>: Os dados foram obtidos utilizando a distância média dos fornecedores até a fábrica de laticínios. As distâncias foram obtidas no mês junho de 2016 através da ferramenta disponível na internet, o *Google Maps*.

(xii) - *Produtos de higienização (hidróxido de sódio, hipoclorito de sódio, ácido nítrico, detergente alcalino e ácido paracético)*<sup>9</sup>: Foram contabilizados em triplicata a partir de monitoramento no local durante o mês de maio de 2016. Os dados medidos foram alocados em 242 dias de trabalho e extrapolados, considerando um horizonte de um ano (2015).

(xiii) - *Água residual*<sup>10</sup>: Foi considerada a mesma quantidade de água que entra no sistema e que é descartada após o uso.

(ivx) - *Resíduos plásticos*<sup>10</sup>: Foi calculada a quantidade gerada em decorrência do volume de produto (coalho) utilizado em 2016.

(xv) - *Soro residual (após a retirada da ricota)*<sup>10</sup>: O cálculo foi obtido considerando o percentual de 68% de soro por litro de leite, conforme medição em pequena escala realizada em maio de 2016, *in loco*.

(xvi) *Cinza e carvão*<sup>11</sup>: O material foi coletado em duplicata no mês de maio de 2016 e pesado em balança semi-analítica considerando-se a densidade dos componentes.

<sup>8</sup> **Medido**: são dados e informações de elevada confiança, mensurados no local durante as atividades de processamento.

<sup>9</sup> **Verificado**: são dados que fazem parte dos registros de produção do estabelecimento e que foram considerados para realização dos cálculos.

<sup>10</sup> **Estimado**: são medidas obtidas com base em afirmações dos colaboradores do setor de produção e reproduzidos e/ou extrapolados em um horizonte de um ano ou ainda de valores estimados considerando experiências de medições em pequena escala realizadas no local ou com base na literatura (referenciados).

(xvii) *Fuligem*<sup>11</sup>: A quantidade foi obtida em 2016 através de coleta do material pelo equipamento lavador de gás, os dados foram extrapolados para o ano de 2015.

(xviii) *Papel toalha*<sup>10</sup>: O volume consumido foi estimado em função da quantidade média de búfalas ordenhada diariamente em 2016.

(xix) *Produção de sal mineral*<sup>12</sup>: A quantidade de eletricidade, a composição das matérias-primas (cloreto de sódio, iodo, magnésio, cálcio, entre outros), produção e transporte foram obtidas de fonte secundária.

#### 4.9 Critérios de cortes

O presente estudo não incluiu os bens de capital, tais como edifícios, máquinas e equipamentos bem como os recursos humanos. Outro fluxo de entrada considerado fora dos limites do sistema foi à entrada de reagentes e soluções utilizadas em análises laboratoriais da matéria-prima e produtos, o sanitizante para higienização de mãos, as toucas e mascaras descartável e o papel toalha. O critério de corte é decorrente da alocação baseada em propriedades físicas em que, a massa dos produtos que corresponderem a menos de 1% da massa total do produto principal foram desconsideradas (FLYSJÖ et al., 2014; DJEKIC et al., 2014).

Ainda, as etapas de distribuição, comercialização, consumo e disposição final dos produtos lácteos não foram contempladas neste estudo em decorrência das fronteiras do sistema “*cradle-to-farm gate*” (VERGE et al., 2013; HOSPIDO et al., 2003).

#### 4.10 Emissões atmosféricas do rebanho bubalino

Foram realizadas as estimativas das emissões do rebanho bubalino em decorrência do sistema de produto em estudo considerar desde a fazenda de produção de leite até a fábrica de laticínio. O cálculo das emissões atmosféricas concebe as emissões do gás metano (CH<sub>4</sub>), decorrente da fermentação entérica dos animais, do esterco e as emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), também a partir do estrume dos búfalos (Apêndice 22, tab. 27).

Para estimar as emissões foram utilizadas as equações do IPCC (2006), do Relatório sobre Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, Volume 4 - Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo, Capítulo 10 - Emissões provenientes da pecuária e as emissões de óxido nitroso provenientes de solos manejados, e emissões de CO<sub>2</sub> a partir da aplicação de cal e ureia, capítulo 11. Utilizou-se as equações referentes ao *Tier 2* e *Tier 1*, quando necessário.

---

<sup>11</sup> **Medido:** são dados e informações de elevada confiança, mensurados no local durante as atividades de processamento.

#### 4.11 Especificações de transporte

Realizou-se um levantamento das distâncias entre as cidades fornecedoras de insumos, considerando o modal rodoviário. Para isso, foi utilizado a ferramenta da internet, *Google Maps* e o mapa rodoviário do Brasil que contém informações sobre as rodovias federais e estaduais, disponibilizado pelo Ministério dos Transportes (Figura 8). Outra maneira de obter o trajeto percorrido para o transporte de insumos foi o contato telefônico com as empresas de transporte de cargas.

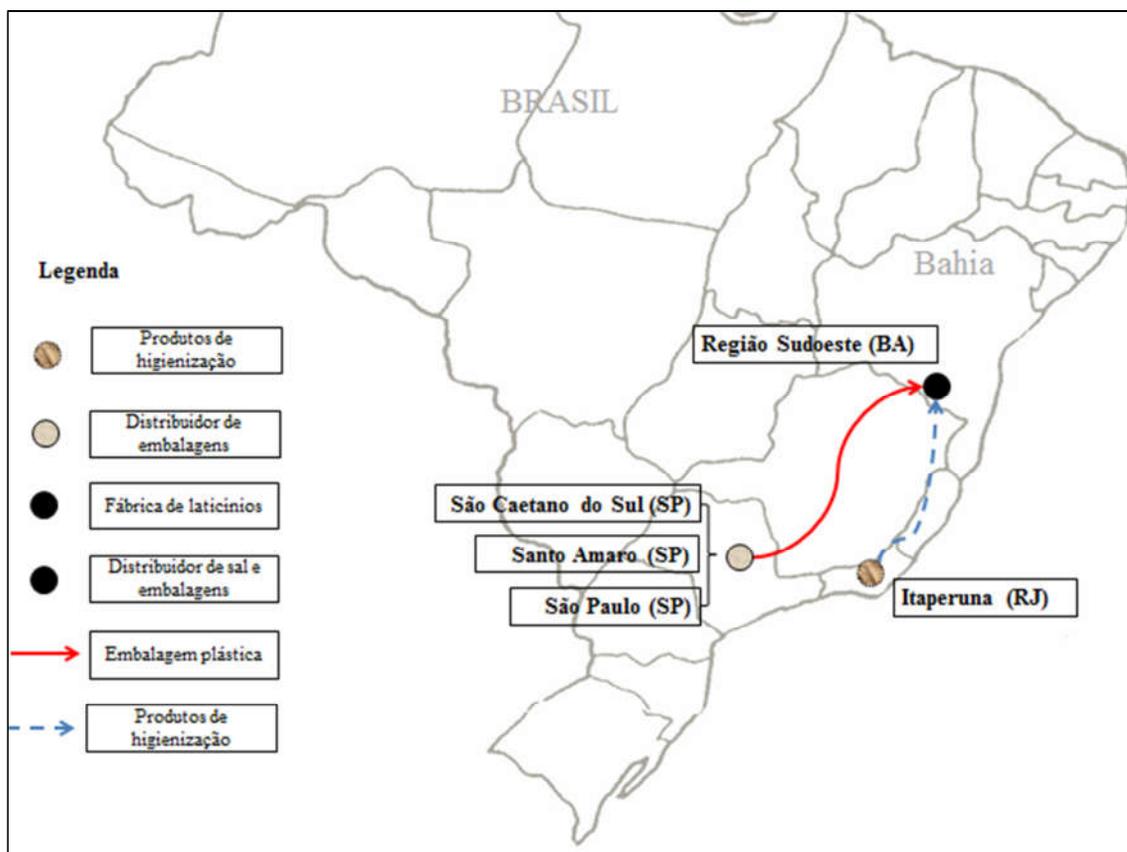
Constatou-se que o transporte de produtos de higienização e ingredientes era realizado em veículos automotores tipo caminhão Truck com baú, abastecido com combustível a diesel (informação verbal<sup>13</sup>). O transporte do leite cru era realizado em veículo Fiat Strada. Para inferência das distâncias, foi realizada uma média aritmética das distâncias fornecidas pelo *Google Maps* (insumos) e pelo velocímetro do veículo (leite de búfala). O uso do *Google Maps* foi necessário por que não foi possível saber em quais rodovias os veículos percorriam (poucas empresas forneceram informações).

Os insumos considerados para os cálculos e os parâmetros sobre o transporte foram elencados na Tabela 10. A quilometragem média percorrida foi calculada considerando a quantidade de compras de insumos e produtos em 2015 e extrapolados para 2016.

Figura 8 – Locais de origem de produtos e trajetória do transporte rodoviário.

---

<sup>13</sup> Diálogo via telefone com a Sra Regina Trajano responsável pela área comercial da empresa, realizado no dia 17/06 e dia 07/07/2016.



Fonte: Dados da pesquisa

O transporte de sal utilizado para fabricação dos derivados lácteos foi desconsiderado da modelagem de transporte por que é realizado em veículo próprio da fábrica de laticínios em ocasião do retorno da comercialização dos produtos lácteos. Este critério foi utilizado também para o sal mineral utilizado na produção de leite de búfala. As embalagens do sal mineral (pós consumo) não foram consideradas na modelagem porque são reutilizadas na propriedade.

Tabela 10 – Síntese dos parâmetros considerados para a modelagem do transporte rodoviário

<b>Transporte rodoviário</b>					
<b>Produto/insumo</b>	<b>Região do Brasil</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Capacidade do caminhão (toneladas)</b>	<b>Carga real (toneladas)</b>	<b>Retorno vazio (Sim/Não)</b>
Leite cru	Bahia	1.936	0,7	0,4	NA <sup>a</sup>
Embalagem para queijo, manteiga e ricota	Santo Amaro/ SP	3.210	>20	NI <sup>b</sup>	Sim
Embalagem para queijo e caixa de papelão	Sudoeste da Bahia	135	<10	NI	Não
Embalagem para queijo	São Paulo/SP	1.669	10-20	NI	NI
Embalagem para queijo	São Caetano do Sul/São	1.679	<20	NI	NI

Tabela 10 – Síntese dos parâmetros considerados para a modelagem do transporte rodoviário

Ingredientes (ex. coalho, fermento)	Paulo Sudoeste da Bahia	135	10-20	NI	NI
Produtos de higienização (ex. ácido, cloro)	Itaperuna/Rio de Janeiro	1.940	10-12	12t	Sim <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Não se aplica

<sup>b</sup> Não informado

<sup>c</sup> O veículo realiza a viagem de retorno com as embalagens vazias para serem descontaminadas e enviadas para reciclagem, conforme informado via e-mail no dia 13/07/16 pela direção da unidade.

Fonte: Dados da pesquisa

#### 4.12 Inventário do ciclo de vida (ICV)

De acordo com os objetivos e escopo do estudo, realizou-se o inventário de dados quantitativos dos fluxos elementares de entrada e saída dos processos elementares e produtos (Apêndice 1, 2, 3 e 4). Para inferência da AICV, foram utilizados os fluxos elementares de entrada e saída disponíveis no *software* SimaPro<sup>®</sup> v. 8.0.5.13. A seleção foi realizada observando minuciosamente às descrições de composição, situações de contexto e referências técnicas dos processos, e as opções que mais se aproximavam com a realidade do presente estudo, foram utilizadas.

### 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.1 Impactos ambientais da produção de leite de búfala

Os resultados permitem inferir que a maioria das contribuições para os impactos da produção de leite ocorreram na unidade ordenha e armazenamento do leite, com exceção das categorias mudanças climáticas (MC) e depleção de água (DA) (Tabela 11).

Tabela 11 – Resultados da avaliação do impacto ambiental da produção de leite bubalino para as categorias de impacto utilizadas.

Categorias de impacto*	Unidade	Fazenda de produção de leite				
		Criação dos animais	%	Ordenha e armazenamento do leite	%	Total
MC	kg CO <sub>2eq</sub>	2,49	99,4	0,0144	0,6	2,51
DO	kg CFC-11 <sub>eq</sub>	7,65E-11	5,3	1,36E-9	94,7	1,43E-9
AT	kg SO <sub>2eq</sub>	2,04E-5	26,1	5,76E-5	73,9	7,81E-5
EAD	kgP <sub>eq</sub>	2,35E-7	34,6	4,43E-7	65,4	6,78E-7
OTA	m <sup>2</sup> a	3,08E-3	36,6	5,33E-3	63,4	8,41E-3
DA	m <sup>3</sup>	1,02E-2	72,5	3,87E-3	27,5	1,41E-2

\* MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, OTA = Ocupação de terras agrícolas, DA = Depleção de água.

Fonte: o autor

As contribuições da categoria DA estão associadas a dessedentação animal, o que refletiu na maior contribuição (72,5%) da unidade de processo denominada “criação dos animais” (Tabela 11). As emissões entéricas de CH<sub>4</sub> (criação dos animais) e as emissões de N<sub>2</sub>O (manejo dos dejetos dos animais) foram às contribuições mais relevantes (Tabela 12) que contribuem para a categoria mudanças climáticas.

Pirlo et al. (2014a) descreveram o CH<sub>4</sub> como o responsável por 87% das emissões entéricas em seis fazendas de búfalos leiteiros na Itália, resultados próximos ao deste estudo. Emissões de metano abaixo do valor encontrado neste estudo foram citadas por Xue et al. (2014) ao relatarem que 67% das emissões de CH<sub>4</sub> foram decorrentes da fermentação entérica de búfalas lactantes. Garg et al. (2016) constataram que, as emissões de CH<sub>4</sub> contribuíram com 80,5% do total de gases de efeito estufa (GEE).

Diversos fatores podem afetar a produção de CH<sub>4</sub> dos ruminantes, tais como: características físicas e químicas da alimentação, o uso de aditivos alimentares para promover a eficiência da produção e a saúde do animal. Também tem sido sugerido que os fatores genéticos podem afetar a produção de metano, no entanto, os fatores que mais influencia são a quantidade e a características bromatológicas da alimentação (EPA, 2016). Avaliações periódicas dos fatores de emissões são necessárias para refletir as mudanças nas características de gestão dos animais.

Os resultados da Tabela 12 confirmam os achados da literatura que apontam como consequências as emissões decorrentes da fermentação entérica como uma das mais representativa para produção de leite (WILLERS et al. 2016). Pesquisadores inferiram que as contribuições das emissões decorrentes da fermentação entérica e do manejo dos dejetos em búfalas foram maiores (38%) que em vacas leiteiras (20%) (SABIA et al., 2015). O limitado número de informações científicas e técnicas disponíveis sobre as emissões do rebanho leiteiro bubalino mostra a carência de mais estudos para este setor com boas perspectivas de crescimento.

Tabela 12 – Estimativas das emissões atmosféricas por subcategoria do rebanho bubalino alimentado em sistema extensivo (pastagem)

<b>Subcategoria</b>	<b>Búfalas lactantes</b>	<b>Búfalas secas</b>	<b>Novilhas prenhas</b>	<b>Bezerras &lt; 2 anos</b>	<b>Total</b>	<b>Unidades</b>
<b>Nº de animais</b>	100	27	46	26	199	Unidade animal (UA)
PV	540-730	540-730	382-364	137-197	-	kg
NE <sub>m</sub>	43,24	36,07	27,33	14,96	121,60	MJ/dia
NE <sub>a</sub>	15,57	12,99	9,84	5,39	43,78	MJ/dia
NE <sub>l</sub>	17,80	0	0	0	17,80	MJ/dia
NE <sub>g</sub>	0	0	12,11	12,11	24,22	MJ/dia
NE <sub>p</sub>	4,32	3,61	2,73	0	10,66	MJ/dia

Tabela 12 – Estimativas das emissões atmosféricas por subcategoria do rebanho bubalino alimentado em sistema extensivo (pastagem)

REM	0,51	0,51	0,51	0,51	-	-
REG	0,31	0,31	0,31	0,31	-	-
GE	242,30	157,68	121,32	121,32	701,18	MJ/dia
DMI	16,66	16,66	8,46	4,63	46,42	kg/dia
CH <sub>4</sub> (Entérico)	10.330,02	1.815,02	3.527,56	1.344,75	17.017,35	kg CH <sub>4</sub> /ano
CH <sub>4</sub> (Dejetos)	100	27	46	26	199	kg CH <sub>4</sub> /ano
EF (Entérico)	103,30	67,22	76,69	51,72	-	kg CH <sub>4</sub> /cabeça*ano
N <sub>2</sub> O (Diretas)	124,46	33,60	57,25	32,36	247,67	kg N <sub>2</sub> O/ano
F <sub>PRP</sub>	3.960,00	1.069,20	1.821,60	1.029,60	-	kg N/ano
N <sub>2</sub> O <sub>(L)</sub>	14,00	3,78	6,44	3,64	27,86	kg N <sub>2</sub> O/ano
N <sub>2</sub> O <sub>(ADT)</sub>	12,44	3,36	5,72	3,23	24,76	kg N <sub>2</sub> O/ano

Fonte: o autor

O lançamento de fezes e urina na pastagem – uma prática de gestão da propriedade em estudo, contribuiu com 11,69% das emissões diretas de nitrogênio (Tabela 13).

Tabela 13 – Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) para produção de 1kg FPCM de leite de búfala de animais alimentados em sistema extensivo.

<b>Emissões</b>	<b>kg de CO<sub>2</sub> equivalente/ano</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
CH <sub>4</sub> (Entérico)	4,35	84,84
CH <sub>4</sub> (Dejetos)	0,05	1,0
N <sub>2</sub> O (Diretas)	0,60	11,69
N <sub>2</sub> O <sub>(L)</sub>	0,07	1,30
N <sub>2</sub> O <sub>(ADT)</sub>	0,06	1,17
<b>Total</b>	<b>5,13</b>	<b>100</b>

Fonte: o autor

O Guia IDF afirma que, a maior fonte de emissões de GEE na fazenda é a criação de gado leiteiro (IDF, 2009). Também, o relatório de avaliação global da FAO diz que, as principais fontes de mudanças climáticas através do gado são: a produção e processamento de alimentos (45% do total), as emissões de GEE decorrente da fermentação entérica (39%), e manejo e decomposição de dejetos (10%), entre outras (06%) (FAO, 2013). No presente estudo, a alimentação dos animais não contribuiu de forma significativa para as emissões GEE por que o rebanho é alimentado exclusivamente em sistema extensivo de produção.

A alimentação animal é um dos principais aspectos ambientais na fazenda. A avaliação física e química da alimentação do rebanho nas etapas de produção, conservação e utilização pode contribuir com indicativos significativos para minimização dos GEE. Para cada fonte de alimento dos ruminantes de grande porte, há uma necessidade de se ter uma estimativa média da composição química da alimentação (concentração de matéria seca,

quantidade de energia metabolizável, digestibilidade) (LEAP, 2016). As necessidades energéticas para atender as funções fisiológicas dos animais podem ser calculadas conforme recomendações da NRC (2001). Além da alimentação, parâmetros genéticos e de manejo do rebanho pode reduzir as emissões entéricas de CH<sub>4</sub> (KNAPP et al., 2014).

Para elucidar melhor as contribuições dos impactos nas sete categorias utilizadas, a produção de leite bubalino foi modelada em duas unidades de processo com resultados de cada fluxo elementar correspondente.

### **5.1.1 Unidade de processo criação dos animais**

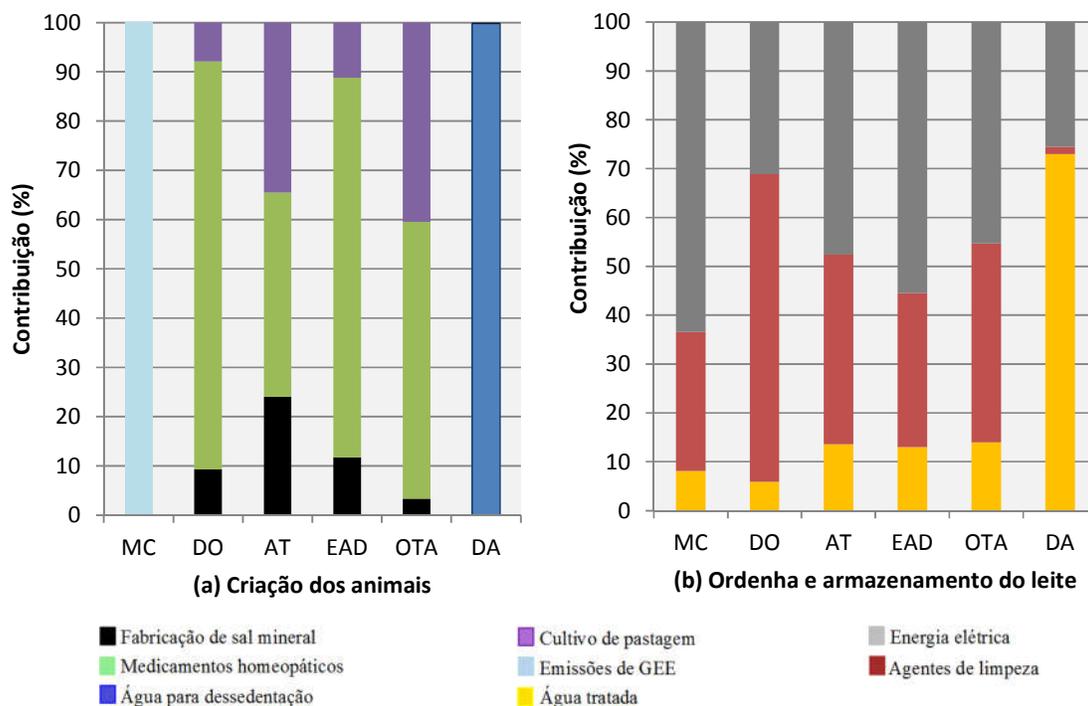
Como relatado anteriormente, as emissões de GEE foi o principal aspecto contribuinte para a categoria MC (100%) (Figura 9a). Estes resultados confirmam os encontrados na literatura específica (GARG et al., 2016; PIRLO et al., 2014a).

O fluxo elementar medicamentos homeopáticos, composto por 98% de açúcar e 1,6% de álcool, apresentou impactos expressivos em quatro das seis categorias selecionadas, 82% (DO), 41% (AT), 77% (EAD), e 56% (OTA) (Figura 9a). Em DO, as emissões estão relacionadas às fases de cultivo da cana-de-açúcar que demanda o uso de pesticidas, ureia, combustível para máquinas e irrigação da lavoura. Em AT e OTA, o principal fluxo contribuinte foi o uso de fertilizantes fosfatados e nitrogenados, utilizados na produção de cana-de-açúcar bem como o uso do fertilizante de potássio K<sub>2</sub>O. Para a EAD, as fontes de impacto estão associadas à composição química (N, Hg, Mn, Ag, Cd, outros) de resíduos de madeira (cinzas) bem como as emissões para a água e para o solo de fertilizantes fosforados (7,46E-03 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). As emissões de fertilizantes nitrogenados, corretivos para o solo, inseticidas e herbicidas estão relacionadas às fases de cultivo da cana-de-açúcar. Também contribuem negativamente para a EAD as atividades de queima da palha de cana-de-açúcar, a colheita mecânica bem como os subprodutos como a vinhaça que contém elevado percentual de fósforo, nitrogênio, sulfatos e cloretos.

As fontes associadas à unidade de processo fabricação de sal mineral apresentaram impactos nas categorias DO (9%), AT (24%), EAD (11%) e OTA (3%) (Figura 9a). A principal fonte associada à produção de sal mineral, em quase todas as categorias de impacto desta unidade, foi a geração de energia elétrica. Para a DO, o fluxo dominante foi novamente a utilização de combustível fóssil para geração de energia elétrica: óleo combustível, elemento de combustível UO<sub>2</sub> 4.2%, gás natural e MOX, um elemento de combustível utilizado em reatores nucleares. Na categoria AT, a produção de embalagem de polipropileno (PP) contribuiu com 88% e a energia elétrica com 12%, ambos decorrente da produção de gás natural para geração de eletricidade. A produção de embalagens e a geração de energia

elétrica contribuem para as emissões dos gases dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) gerados pela exploração de combustível fóssil.

Figura 9 – Resultados (%) da avaliação de impacto da unidade de processo criação dos animais e ordenha e armazenamento do leite.



MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, OTA = Ocupação de terras agrícolas, DA = Depleção de água.

Fonte: o autor

A unidade de processo cultivo de pastagem contribuiu 40,47% para a ocupação de terras agrícolas (OTA), 11% para EAD, 34% para (AT) e 7% para DO (Figura 9a). Em todas as categorias selecionadas para o cultivo de pastagem o único fluxo contribuinte foi à produção orgânica de grama para alimentação animal. As atividades de produção das gramíneas (trigo, centeio, sorgo, palha), transporte, acondicionamento e uso do solo, foram as que mais contribuíram para os impactos desta unidade de processo.

Os impactos decorrentes da mudança do uso do solo para pastagem não foram considerados, porque o sistema de produção de animais ruminantes é uma atividade pecuária estabelecida há mais de 80 anos na região deste estudo. Foi estimado o coeficiente médio de 1,4 hectares por unidade animal (UA), uma característica predominante em sistemas de produção extensiva.

Para a categoria de impacto depleção de água (DA), o principal aspecto contribuinte foi à água utilizada para dessedentação dos animais (99,81%) (Figura 9a). Palmieri et al. (2016) sugerem a substituição parcial de 28% da água oferecida aos bovinos pelo soro de queijo líquido como forma de minimizar os impactos nas categorias depleção abiótica,

toxicidade humana (TH), depleção abiótica de combustíveis fósseis (ADf), eutrofização de água doce, eco-toxicidade terrestre e eco-toxicidade marinha e de água doce.

### **5.1.2 Unidade de processo ordenha e armazenamento do leite**

O fluxo contribuinte para as MC (63%), DO (31%), AT (47%), EAD (55%) OTA (45%) e DA (25%) foi à geração de energia elétrica a partir de combustível fóssil (Figura 9b). Em MC agentes de limpeza (28%) e a água tratada (8%) foram os que mais contribuíram. As fontes associadas aos agentes de limpeza e desinfecção foram o papel toalha, o iodo, o desinfetante clorado e o desinfetante ácido. Todos estes são devido à utilização de energia térmica em indústrias químicas e petroquímicas. Para a água tratada, as contribuições são devido à utilização de combustível fóssil para geração de energia térmica. A água tratada contribuiu com 73% na categoria DA (Figura 9b). Em OTA (63,36) as contribuições são devido à celulose (papel toalha) e da energia elétrica a partir da biomassa.

O coeficiente médio de consumo da água no setor de ordenha e armazenamento do leite bubalino foi estimado em 3,5 litros de água para 1 kg de FPCM (leite corrigido pelo teor de gordura e proteína). Willers et al. (2014) determinaram o consumo indireto de água durante a produção de leite (desde a ordenha até o transporte para o laticínio) em um setor de ordenha no Sudoeste da Bahia/Brasil, sendo encontrado um coeficiente médio de 3,38 litros de água para cada litro de leite. Já o consumo médio de energia na fazenda para a unidade de processo ordenha e armazenamento do leite foi estimado em 0,0564 kWh por 1 kg FPCM.

Em suma, neste estudo, a unidade de processo criação dos animais foi a que mais contribuiu com os impactos da categoria MC (100%) e DA (72%), decorrente das emissões de GEE e da dessedentação animal, respectivamente. A unidade de processo ordenha e armazenamento do leite teve impactos expressivos, com 94% (DO), 73% (AT), 65% (EAD) e 63% (OTA).

Conclui-se que a maioria das contribuições nas cinco categorias de impactos utilizadas para a produção do leite de búfala está relacionada a uso de combustíveis fóssil para geração de energia elétrica utilizada na ordenha e no armazenamento de leite, o açúcar e a produção de sal mineral. A eletricidade foi identificada como um ponto crítico na ordenha e armazenamento do leite. A dessedentação dos animais foi o fluxo predominante na categoria depleção de água.

### **5.2 Impactos ambientais dos produtos lácteos, excluído o leite de búfala**

Foram analisados os impactos da produção de queijo, manteiga e ricota com o uso da alocação econômica e físico-química. Os resultados das contribuições nas oito categorias utilizadas podem ser vistos na Tabela 14.

A produção do queijo foi o principal contribuinte para a maioria das categorias de impacto independente do método de alocação.

Tabela 14 – Resultados da avaliação de impacto dos derivados lácteos utilizando dois métodos de alocação, o econômico e o físico-químico.

Categoria de impacto	Unidade	Produtos lácteos					
		Queijo		Ricota		Manteiga	
		Econômica	Físico-química	Econômica	Físico-química	Econômica	Físico-química
MC	kg CO <sub>2eq</sub>	0,345	0,522	0,090	0,152	0,208	0,144
DO	kg CFC-11 <sub>eq</sub>	1,63E-8	3,64E-08	1,89E-8	6,93E-09	4,90E-8	1,18E-08
AT	kg SO <sub>2eq</sub>	1,02E-3	1,91E-03	6,99E-4	4,37E-04	1,24E-3	9,53E-04
EAD	kgP <sub>eq</sub>	7,62E-6	1,30E-05	1,05E-5	3,38E-06	3,78E-5	3,36E-06
FOF	kg NMVOC	6,8E-4	1,34E-03	2,89E-4	2,95E-04	1,01E-3	5,16E-04
FMP	kg PM10 <sub>eq</sub>	4,75E-4	8,47E-04	1,98E-4	2,09E-04	4,43E-4	3,13E-04
DA	m <sup>3</sup>	0,0608	0,0817	5,82E-3	0,015	9,28E-3	0,011
DF	kg oil <sub>eq</sub>	0,0538	0,139	3,95E-2	0,021	0,133	0,084

MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil

Fonte: o autor

### 5.2.1 Queijo mozzarella

Utilizando o método de alocação econômico, o queijo teve impactos expressivos em 53% (MC), 19% (DO), 34% (AT), 13% (EAD), 34% (FOF), 42% (FMP), 80% (DA) e 23% (DF) (Tabela 14). Os resultados das contribuições utilizando a alocação físico-química foram de MC (63%), DO (66%), AT (57%), EAD (65%), FOF (62%), FMP (61%), DA (75%) e DF (56%), (Tabela 14).

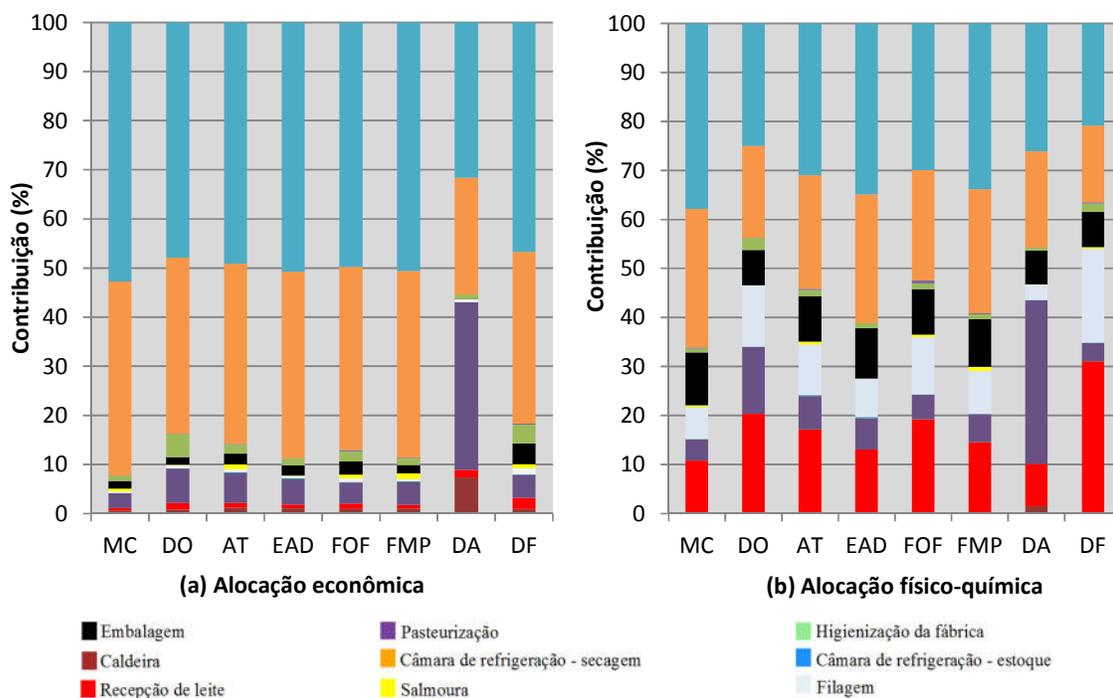
Para identificar melhor as etapas/processos que contribuíram com os impactos, foram modeladas e apresentadas as unidades de processo do queijo e os fluxos que mais contribuíram com os impactos (Figura 10a, b).

A demanda de eletricidade na unidade de processo câmaras de refrigeração (secagem e estocagem) foi claramente o principal fluxo contribuinte para o queijo com 36% a 92% nas oito categorias de impacto utilizadas e nos dois métodos de alocação adotados (Figura 10a, b). Utilizando a alocação econômica, as contribuições foram de 55 a 92% e com a alocação físico-química foram de 36 a 66%.

Estas unidades juntas, utilizando alocação econômica, registraram impactos em 92% (MC), 83% (DO), 85% (AT), 88% (EAD), 87% (FOF), 88% (FMP), 55% (DA) e 81% (DF) (Figura 10a). Ao utilizar a alocação físico-química a eletricidade das unidades de processo

teve contribuições em 66% (MC), 43% (DO), 54% (AT), 61% (EAD), 52% (FOF), 59% (FMP), 45% (DA) e 36% (DF) (Figura 10b).

Figura 10 – Resultados da avaliação de impacto do queijo mozzarella utilizando a alocação econômica e mássica.



MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

Fonte: o autor

A produção de eletricidade a partir da queima de derivados do petróleo, carvão, lignite e gás natural foram fontes de impacto mais significativas nas oito categorias utilizadas. As emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) apresentaram os maiores índices.

A modelagem do queijo utilizando o método de alocação econômico teve maiores contribuições nas categorias utilizadas e menores contribuições com o método físico-químico nas unidades câmaras de refrigeração (secagem e estoque). No entanto, em relação ao consumo de eletricidade, o método de alocação físico-químico foi 1,7% maior do que o método de alocação econômico. Foram estimados com a alocação físico-química o consumo médio de eletricidade para 1 quilograma de queijo, com 1,649 kWh e para a alocação econômica de 1,613 kWh.

É importante ressaltar que não faz parte dos objetivos deste estudo fazer comparações entre o método de alocação econômico e físico-químico. No entanto cabe inferir que o percentual de alocação físico-química do fluxo de eletricidade foi de 52% e do fator de alocação econômico (99,2%).

Palmieri et al. (2016) relatam que o consumo de energia elétrica para produção de 1kg de queijo mozzarella foi de 0,20 kWh/kg. Não obstante, com taxas diferentes, os resultados para a energia elétrica do presente estudo acompanham a tendência dos estudos de González-Garcia et al. (2013b), em que a energia elétrica teve contribuições relevantes para as categorias de impactos depleção abiótica, demanda de energia acumulada, DO, AT, EAD, MC e FOF, com variação de 20% (MC) a 29% (AT).

Djekic et al. (2014), realizaram uma ACV na Sérvia e em cinco das sete fábricas de laticínios eles registraram que o fluxo energia elétrica foi um contribuinte significativo para a categoria de impacto mudanças climáticas. A utilização de outras fontes de energia elétrica (eólica, solar, biomassa) poderiam minimizar os efeitos adversos (ROER et al. 2013) porém, devido a alta demanda de eletricidade em fábricas de laticínios, é preciso considerar a viabilidade financeira e ambiental.

A unidade de processo pasteurização teve impactos nas oito categorias para a alocação econômica, com 3% (MC), 7% (DO), 6% (AT), 5% (EAD), 4% (FOF), 4% (FMP), 34% (DA) e 4% (DF). Para a alocação físico-química foi de 4% (MC), 13% (DO), 6% (AT), 6% (EAD), 5% (FOF), 5% (FMP), 33% (DA) e 3% (DF).

Utilizando a alocação físico-química, os impactos diminuíram em 1% (MC), 6% (DO), 0,9% (AT) 1% (EAD), 0,6% (FOF), 1% (FMP) e 2% (DF) (Figura 10b). As principais contribuições associadas à unidade de processo pasteurização foram à eletricidade e o tratamento da água. Nesta unidade de processo (pasteurização), a alocação econômica e físico-química mostrou que a depleção de água (DA) foi o fluxo mais contribuinte. Em ambos os casos, a água tratada demanda o consumo de eletricidade, oriunda de combustíveis fósseis. Neste particular, um dos fatores que devem ser pontuados é que a alocação econômica e a físico-química contribuíram praticamente na mesma proporção para a categoria DA.

Semelhante a unidade anterior, o fluxo eletricidade foi à principal fonte de impacto na unidade de processo caldeira em ambas as alocações, com exceção para a categoria depleção de água. Em DA (7%) o fluxo contribuinte foi às emissões (CH<sub>4</sub>) decorrentes das atividades de mineração de carvão mineral, fonte de geração de eletricidade utilizada no tratamento da água.

A unidade de processo recepção de leite teve contribuições mais expressivas com a utilização do método de alocação físico-químico (Figura 10b), em 10% (MC), 20% (DO), 16% (AT), 12% (EAD), 19% (FOF), 14% (FMP), 8% (DA) e 30% (DF). Utilizando o método de alocação econômico, a unidade de processo recepção de leite teve contribuições com variação inferior a 3% (Figura 10a). O principal fluxo contribuinte com as oito categorias nesta unidade foi à água tratada que representa 16,8% do consumo total da fábrica (Apêndice

4). A variação das contribuições nesta unidade de processo pode ser explicada pelos métodos de alocação adotados.

A alocação econômica mostrou contribuições mais adequadas para refletir o fluxo de água quando utilizada por unidade de processo. As contribuições decorrentes da alocação físico-química - que também apresenta índices de alocação para recursos (Apêndice 8) - pode ser superestimada porque não é capaz de captar as particularidades de cada unidade de processo. A realização de uma matriz de alocação (que são essencialmente matrizes de tecnologia dentro de um setor industrial) específica para o sistema de produto em estudo pode minimizar os problemas de alocação (FEITZ et al. 2007).

A unidade de processo filagem e moldagem do queijo tiveram contribuições em 6% (MC), 12% (DO), 10% (AT), 7% (EAD), 11% (FOF) 12% (FMP), 3% (DA) e 19% (DF) para a alocação físico-química. Utilizando a alocação econômica as contribuições foram abaixo de 2% nas oito categorias utilizadas. O detergente utilizado para higienização dos materiais foi o principal contribuinte nesta unidade com 92% a 99% em sete categorias consideradas, utilizando a alocação físico-química (Figura 10b). A única categoria que o fluxo detergente alcalino teve menores contribuições foi na depleção de água (16%). As emissões gases e resíduos decorrentes da produção do Alquilbenzeno Sulfonato Linear (LAS) e dos processos englobados bem como do uso deste composto químico, contribuíram com 92% a 98% nas oito categorias de impacto consideradas. É preciso reforçar as estratégias que visem minimizar o desperdício de insumos.

O desperdício acidental de produtos intermediários também foi um aspecto agravante neste estudo. Foi contabilizado durante quatro dias o desperdício médio de 0,69 kg de massa de queijo e de ricota. Fica evidente que a implantação de programas de boas práticas de fabricação (BPF) não garante a efetividade de estratégias que devem estar integradas com intervenções de educação em segurança alimentar, orientações técnicas, treinamentos focados em pontos críticos do processo e reavaliação constante de tais medidas (LIU et al., 2015).

A unidade de processo embalagem, com alocação físico-química, contribuiu com 10% (MC), 7% (DO), 9% (AT), 10% (EAD), 9% (FOF), 9% (FMP), 6% (DA) e 7% (DF) (Figura 10b). As variações na contribuição da unidade embalagem utilizadas no queijo (Polipropileno – PP) foram inferiores a 4% nas oito categorias de impacto consideradas com alocação econômica. Na produção de embalagens, o fluxo eletricidade dominou os impactos com 75 a 90% nas oito categorias utilizadas com a alocação físico-química. Os principais poluentes atmosféricos nas refinarias de petróleo são os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), materiais particulados e hidrocarbonetos.

A unidade higienização da fábrica teve contribuições com 0,7% a 3% nas oito categorias consideradas para o queijo, utilizando a alocação econômica e de 0,7% a 2% com a alocação físico-química. O principal fluxo contribuinte foi o detergente alcalino com 32% a 72% nas sete categorias consideradas e com os dois tipos de alocação. Na categoria depleção de água (DA) as contribuições da água tratada foram de 88% nos dois tipos de alocação.

Os procedimentos de higienização (limpeza e sanitização) possivelmente estão sendo ineficientes devido ao excesso de produto gasto nesta atividade. Revisões periódicas de procedimentos padrão de higiene operacional (PPHO) bem como de boas práticas de fabricação (BPF) podem aumentar a eficiência e pode ajudar e reforçar os conhecimentos e práticas dos manipuladores na área de produção (ASSELT et al., 2002). Existem ainda estudos em escala piloto que propõem a utilização de enzimas (proteases e lipases) para remover incrustações típicas em laticínios, os benefícios incluem a diminuição do consumo de energia, água e resíduos além da compatibilidade com o tratamento de efluentes e, possivelmente, a redução de impactos ambientais (BOYCE et al. 2015).

Por fim, as contribuições das águas residuais foram inferiores a 1% nas oito categorias de impacto utilizadas, porém estes resultados devem ser vistos com cautela pelos seguintes motivos. Em primeiro lugar, devido à ausência de dados específicos para águas residuais de laticínios foi utilizado o processo que concebe o tratamento de água residual da produção de fécula de batata, um processo utilizado em pesquisas de ACV em laticínios (KIM et al., 2013).

O segundo ponto é que o referido processo concebe o tratamento de águas residuais sendo que, os resultados de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio) obtidos neste estudo são referentes à água residual, ou seja, de efluentes que não foram submetidos a nenhum tipo de tratamento (biológico ou químico). Métodos convencionais de tratamento de efluentes por meio de lagoas biológicas de estabilização podem ser uma alternativa ambiental e economicamente viável para fábricas de laticínios de porte micro.

Conclui-se que com este estudo que as contribuições do fluxo de eletricidade nas oito categorias de impacto utilizadas (principalmente nas unidades de processo câmaras de refrigeração) foram de 72%, utilizando a alocação econômica e de 51% com método de alocação físico-químico. As variações nos dois tipos de alocação foram de 21%.

Feitz et al. (2007) realizaram quatro procedimentos de alocação para diversos produtos lácteos em 17 fábricas de laticínios na Austrália e mostraram variações em torno de 20% nos dois métodos de alocação econômico e físico-químico para a eletricidade no processamento

do queijo. Os autores concluem que a alocação físico-química pode evitar erros introduzidos pela alocação econômica caso esta não considere os fluxos peculiares do estabelecimento.

Diante dos resultados das contribuições nas oito categorias de impacto para o queijo, algumas observações devem ser pontuadas. A primeira delas é que o menor valor percentual de alocação físico-química atribuída à eletricidade (52%, Apêndice 8), em relação ao valor percentual econômico (94%), não refletiu em menor consumo, nas unidades de processo câmaras de refrigeração. Utilizando o método de alocação econômico o consumo médio de eletricidade para 1 kg de queijo foi de 1,611 kWh, um aumento de 18,17% em relação ao consumo médio obtido pela alocação econômica (1,912 kWh). Com isso, as contribuições das categorias de impactos podem ser super ou subestimadas. O segundo ponto, vinculado ao primeiro, é que a alocação econômica pode não refletir adequadamente os recursos utilizados para fabricação dos produtos, uma vez que os preços dos produtos sobrem flutuações de mercado. Por outro lado, segundo Feitz et al (2007), quando a modelagem do sistema considera todas as unidades de processo de um produto, a alocação econômica pode refletir satisfatoriamente os fluxos elementares setoriais e interindustriais. Provavelmente por que quando a modelagem abrange todas as etapas do processo produtivo, os possíveis erros de alocação são minimizados.

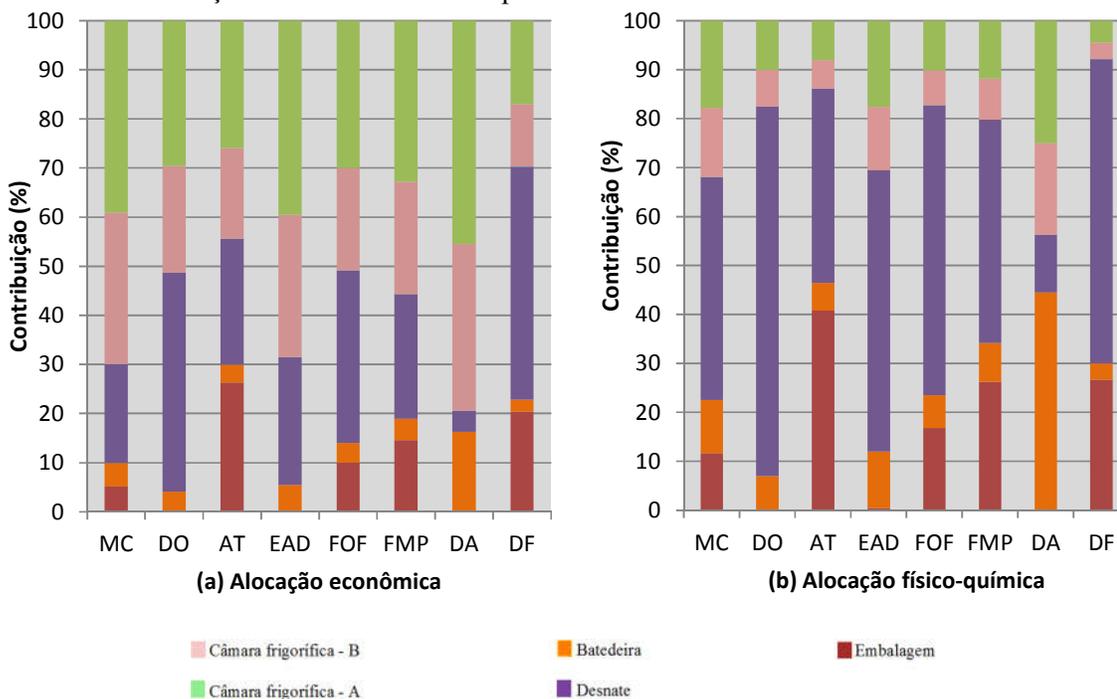
Cabe ressaltar ainda que o método de alocação físico-químico utilizado, apesar de ser recomendado pelo IDF, foi desenvolvido em fábricas de laticínios localizadas na Austrália e, provavelmente, possuem diferenças tecnológicas e características específicas da matéria-prima utilizada na região. Diante dos problemas de alocação em fábricas de laticínios Feitz et al. (2007) argumentam que a alocação físico-química pode ser melhor aceita porque é baseada no teor de sólidos totais do produto refletindo diretamente nos fluxos específicos do processamento. As implicações sugerem o desenvolvimento de matrizes de alocação físico-química específicas para o objeto de estudo, pois podem gerar resultados de impactos mais precisos.

A produção de energia elétrica, embalagens e detergentes foram os aspectos ambientais que mais contribuíram para as categorias de impacto avaliadas. A água tratada também foi um ponto crítico na unidade de processo pasteurização. De maneira geral, deve-se considerar que soluções tecnológicas podem fazer parte de um conjunto de medidas de gestão e controle ambiental, tais como a instalação de um sistema de refrigeração da água utilizada no tratamento térmico do leite. Também, a falta de padronização dos processos e produtos são algumas deficiências que podem incidir no consumo excessivo de agentes de limpeza.

### 5.2.2 Manteiga

A unidade de processo câmara de refrigeração (A e B) foi o principal contribuinte na maioria das categorias consideradas, utilizando a alocação econômica. Na categoria mudanças climáticas as contribuições foram de 69%, em DO (51%), AT (44%), EAD (68%), FOF (50%), FMP (55%), 79% (DA) e 29% (DF) (Figura 11a). Ao utilizar a alocação físico-química para a unidade câmara de refrigeração (A e B), as contribuições foram menores, com 31% (MC), 17% (DO), 13% (AT), 30% (EAD), 17% (FOF), 20% (FMP), 43% (DA) e 7% (DF) (Figura 11b).

Figura 11 – Resultados da avaliação de impacto associado à fabricação da manteiga, utilizando a alocação econômica e físico-química.



MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

Fonte: o autor

A modelagem da manteiga, utilizando duas câmaras de refrigeração pode ser justificada por que, o creme de leite (matéria-prima para a fabricação da manteiga), é maturado em uma câmara de refrigeração (utilizada para salga do queijo), e a outra câmara é utilizada para estoque dos produtos.

A demanda de energia elétrica nas câmaras (A e B) para alocação econômica contribuiu com 29% a 79% nas oito categorias utilizadas, uma variação de 50% nas categorias (Figura 11a). Utilizando o método de alocação físico-químico, as contribuições foram de 7% a 43%, nas oito categorias. As variações na contribuição dos dois tipos de alocação foram de 33% para as oito categorias utilizadas.

A unidade de processo desnate do leite, utilizando a alocação econômica para a manteiga contribuiu com 20% (MC), 44% (DO), 25% (AT), 26% (EAD), 35% (FOF), 25% (FMP), 4% (DA) e 47 (DF) (Figura 11a). Com o método físico-químico foi de 45% (MC), 75% (DO), 39% (AT), 57% (EAD), 59% (FOF), 45% (FMP), 11% (DA) e 62% (DF).

Em síntese, a unidade desnate contribuiu acima de 90% nas oito categorias de impacto utilizadas para a alocação econômica e físico-química (Figura 11a, b). O fluxo elementar detergente alcalino foi o principal contribuinte em todas as oito categorias utilizadas. O detergente é composto, principalmente, pelo Alquilbenzeno Sulfonado Linear- LAB, um tipo de surfactante utilizado como agente de limpeza. Além das emissões de gases e resíduos da produção do benzeno acrescenta-se a poluição surfactante na vida aquática e terrestre decorrente do descarte impróprio. Diversos métodos de degradação e remoção de surfactantes podem ser empregados, bem como o tratamento de águas residuais (VENHUIS e MEHRVAR 2004).

De acordo com os resultados, o fluxo embalagem contribuiu com 11% (MC), 6% (AT), 16% (FOF), 26% (FMP) e 26% (DF), utilizando a alocação físico-química (Figura 11b). Com a alocação econômica a contribuição foi de 5% (MC), 26% (AT), 9% (FOF), 14% (FMP), e 20% (DF) (Figura 11a).

A produção de embalagens demanda energia elétrica de fonte não renovável para extração de materiais. A embalagem de polipropileno (polypropylene - PP) contribuiu com 98% a 99% em MC, AT, FOF, FMP e DF, utilizando a alocação físico-química. A embalagem caixa de papelão ondulado (corrugated board) contribuiu na categoria DO (96%) e DF (99%). As fábricas de laticínios em todo o mundo enfrentam grande pressão para desenvolver e utilizar embalagens como o menor consumo possível de recursos naturais não renováveis e para utilizarem materiais que permitam a reutilização ou reciclagem (UNEP, 2004).

A unidade bateadeira de manteiga contribuiu com 3% a 5% nas categorias MC, DO, AT, EAD, FOF, FMP, DF e 16% (DA), utilizando o método de alocação econômico (Figura 11a) e em 10% (MC), 6% (DO), 5% (AT), 11% (EAD), 6% (FOF), 7% (FMP), 44% (DA) e 3% (DF) com o método de alocação físico-químico (Figura 11b). A eletricidade foi o principal fluxo contribuinte na maioria das categorias consideradas, a depleção de ozônio (DO) (78%), DF (73%), FMP (80%), FOF (80%), EAD (80%), AT (76%) e 87% (MC). O fluxo de água tratada contribuiu substancialmente na categoria depleção de água (69%). A quantidade de água necessária para lavagem da gordura foi de 2,2 L para 1 kg de manteiga de búfala, 69% a mais do usualmente recomendado para a manteiga. Nas categorias depleção fóssil, FMP, FOF, EAD, AT, DO e MC, o fluxo de detergente contribuiu com 2% a 11%.

Os resultados permitem inferir que a o aspecto eletricidade foi uma das principais contribuições nas oito categorias utilizadas. Utilizando a alocação físico-química, o consumo médio de energia elétrica para 1 kg de manteiga foi de 0,2804 kWh. Este valor é 300% menor em relação ao consumo obtido pela alocação econômica (1,1313 kWh). Este resultado deve ser visto com cautela. Como foi relatado anteriormente, a matriz de alocação físico-química foi desenvolvida em fábricas de laticínios da Austrália que, possivelmente, possuem equipamentos modernos e características de produção diferentes de fábricas brasileiras, principalmente de indústrias de porte micro. Estes resultados sugerem que a alocação econômica pode ser mais adequada quando é possível modelar os fluxos interindustriais.

O fluxo de detergente influenciou em todas as categorias de impacto utilizadas na unidade de processo desnate. Finalmente, a água tratada contribuiu em quase todas as categorias, com destaque para a depleção de água (69%) na unidade de processo bateadeira de manteiga.

As contribuições dos impactos ambientais das águas residuais foram inferiores a 1% nas oito categorias de impacto avaliadas. Como dito anteriormente é preciso precaução com a interpretação dos resultados porque a modelagem do subsistema não utilizou o processo que representa pontualmente as águas residuais de laticínios.

### 5.2.3 *Ricota fresca*

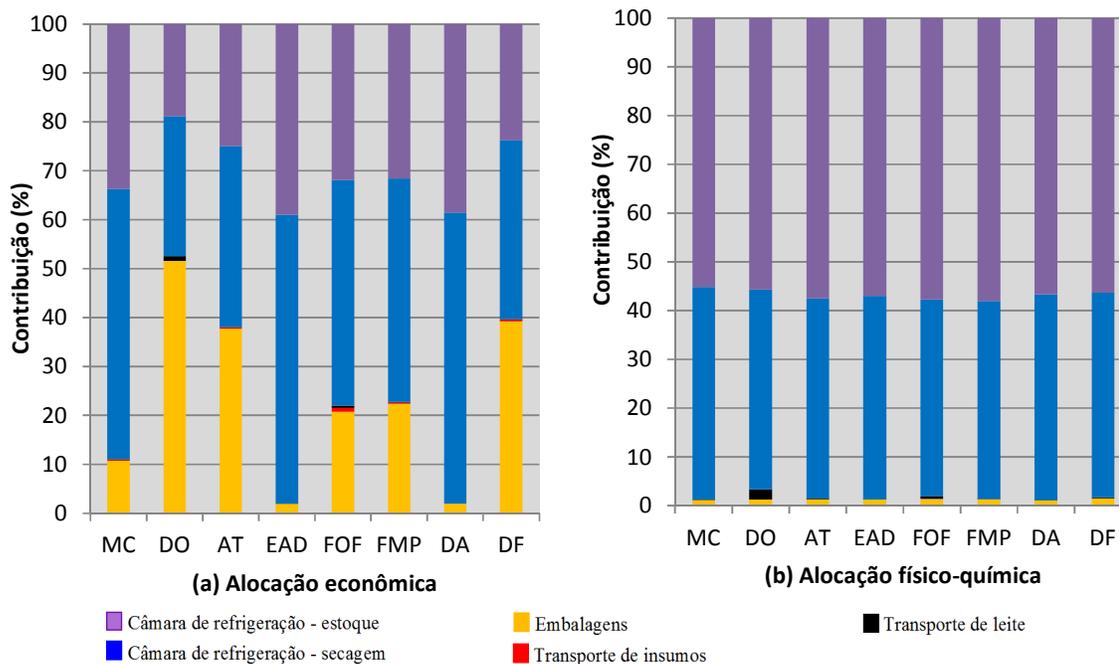
A unidade de processo câmaras de refrigeração (secagem e estoque) dominou a maioria das categorias de impactos com a alocação econômica. Para MC (88%), DO (47%), AT (62%), EAD (97%), FOF (73%), FMP (77%), DA (98%), e 60% (DF) (Figura 12a). Ao utilizar a alocação físico-química, as contribuições nas oito categorias foram de 96 a 98% (Figura 12b). Com o método físico-químico as contribuições foram maiores em 10% (MC), 51% (DO), 37% (AT), 1% (FOF), 25% (FMP), 0,8% (DA) e 38% (DF) (Figura 12a, b).

Os resultados permitem inferir, assim como já dito na revisão de literatura, que o processamento de laticínios é um dos setores com intenso consumo de energia. Este por sua vez é um ponto crítico para melhorar o desempenho ambiental, principalmente dos nichos de mercado como é o caso dos derivados do leite de búfala que buscam espaços tradicionalmente consolidados pelo leite.

Djekic et al. (2014) realizaram a ACV de seis produtos lácteos na Sérvia e confirma que as exigências de energia elétrica em plantas de laticínios é o principal fluxo contribuinte mas com diferenças relativas entre os produtos lácteos. Diversos pesquisadores já confirmaram a influencia da produção e uso da eletricidade sobre os impactos gerados pela fábrica de laticínios (NIGRI, et al. 2014; GONZÁLEZ-GARCIA et al., 2013a, b).

O fluxo de embalagens contribuiu com 10% (MC), 51% (DO), 37% (AT), 1% (EAD), 20% (FOF), 22% (FMP), 1% (DA) e 39% (DF), ao utilizar a alocação econômica. Com a alocação físico-química as contribuições nas oito categorias de impacto utilizadas foram menores que 1% (Figura 12b). Este comportamento era esperado para os materiais de embalagens que não são alocados por serem específicos do produto.

Figura 12 – Resultados da avaliação de impacto associado à fabricação da ricota fresca.



MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

Fonte: o autor

Ao avaliar as contribuições individualmente, a produção de embalagem de nylon contribuiu com 53% na categoria mudanças climáticas, 99% na DO; 95,6% para DA e 85% em EAD. Para a produção de nylon é utilizado o ácido adípico ( $C_6H_{10}O_4$ ), fonte geradora de monóxido de dinitrogênio ou gás nitroso ( $N_2O$ ). Nas categorias AT (74%), FOF (56%), FMP (69%) e DF (80%) o fluxo contribuinte foi à embalagem de polipropileno (PP), decorrente da produção de matérias-primas e do processamento nas indústrias de transformação de derivados do petróleo (etileno, propileno e diesel).

As contribuições das unidades de processo transporte de leite e transporte de insumos foram menores que 1% e 2%, respectivamente. Foi possível notar que o método de alocação econômico pode ser mais adequado em algumas unidades do que a alocação físico-química justamente porque este não foi capaz de refletir, por exemplo, os impactos do transporte de insumos e embalagens daquele (Figura 12a).

Finalmente, as contribuições das águas residuais foram inferiores a 1% nas oito categorias de impacto utilizadas, contudo, como já foi dito anteriormente, estes resultados devem ser vistos com cautela.

Conclui-se que o fluxo de energia elétrica e as emissões relacionadas é um importante ponto crítico (*hotspot*). A eletricidade de fonte não renovável contribuiu com as emissões de óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), material particulado (PM<sub>10</sub>), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), decorrentes do refino de petróleo, da geração de gás natural e da produção de carvão mineral. As alternativas de redução dos impactos devem priorizar o aproveitamento de energia. Programas de eficiência energética podem apoiar os agentes públicos e a indústria em decisões que dependem de uma série de medidas para avaliar a eficiência relativa a um processo, equipamento e/ou a indústria.

### **5.3 Análise de cenários**

Os cenários de sensibilidade visam propor alternativas que possam minimizar as contribuições dos impactos nas categorias avaliadas. Neste estudo os cenários não consideram a utilização de leite cru como matéria-prima justamente para que os impactos sejam considerados somente da fábrica de laticínios.

#### **5.3.1 Instalação de uma Torre de Resfriamento**

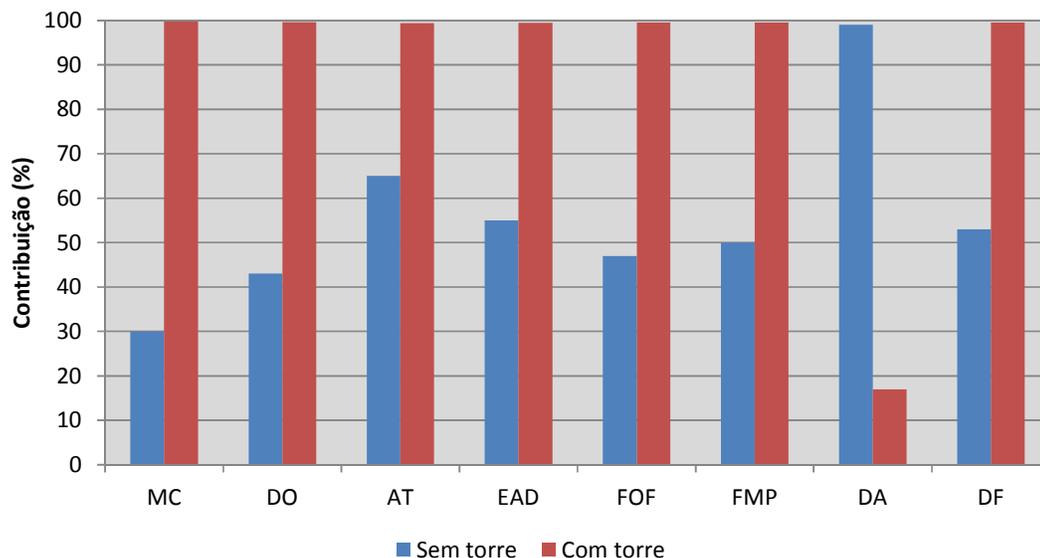
Este cenário foi desenvolvido visando minimizar o consumo de água utilizada na pasteurização do leite que representava mais de 60% do consumo total da fábrica de laticínios (Apêndice 4).

Foi proposto o cenário “com torre”, esta simulação contém o fluxo de água e eletricidade, pois concebe a instalação de uma torre de resfriamento. O segundo cenário denominado “sem torre – padrão” é o cenário real do estudo e possui somente o fluxo de água (Figura 13).

A unidade de processo pasteurização teve impactos em todas as categorias, com 29% (MC), 43% (DO), 65% (AT), 55% (EAD), 46% (FOF), 49% (FMP), 100% (DA) e 53% (DF) (Figura 13, sem torre). O único fluxo contribuinte deste cenário foi a água tratada.

Com a instalação da torre, as contribuições do fluxo de água foram inferiores a 1% em sete categorias de impacto e de 5% na categoria depleção de água. Desta forma, a maioria das contribuições dos cenários com torre e sem torre é decorrente do fluxo de eletricidade. Com a instalação da torre houve uma redução do consumo de água estimada em mais de 90%. Consequentemente, houve um aumento do consumo de energia elétrica em praticamente 100% (Figura 13, com torre). As contribuições nas oito categorias de impacto foram de 94% a 99% quando a torre foi instalada. Esta contribuição era esperada porque, sem a instalação de torre não havia fluxo de eletricidade.

Figura 13 – Resultado (%) ambiental para instalação de uma torre de resfriamento utilizada no tratamento térmico do leite



MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

Fonte: o autor

Mesmo que o custo da água tratada não seja considerado significativo e que o consumo excessivo não seja visto como relevante pela empresa, é necessário considerar a melhoria do processo. Acrescente-se que, alterações que envolvem a aquisição de materiais ou máquinas raramente inibem por completo os efeitos ambientais adversos.

Em síntese os resultados indicam que o cenário com a instalação da torre, contribuiu com uma redução superior a 90% do consumo de água o que, conseqüentemente, provocou uma diminuição superior a 94% nas oito categorias avaliadas.

As alterações com o cenário proposto influenciaram em todas as categorias de impacto (Figura 13). Assim, acredita-se, que a instalação da torre é uma alternativa viável mesmo diante das conseqüências ambientais decorrentes do fluxo de eletricidade. A instalação de torre pode ainda apresentar benefícios na qualidade (eficiência do processo, segurança do produto), benefícios econômicos (redução do consumo de água, menor volume de água residual) e benefício ambiental (menor consumo de água). Por outro lado, fica evidente que, é improvável encontrar um cenário que não apresente nenhuma contribuição negativa ao meio ambiente.

### 5.3.2 Fabricação de bebida láctea pasteurizada.

Este cenário visa propor uma alternativa ambiental e, conseqüentemente, econômica de melhor destinação do soro, considerando-a como matéria-prima para fabricação de bebida

láctea. Com base em informações técnicas e de balanço de massa foi possível estimar faixas de produção anual de bebida láctea em função do percentual de utilização do soro produzido (Tabela 15).

Tabela 15 – Cenário de produção de bebida láctea com diferentes percentuais do volume total do soro produzido

<b>Produto</b>	<b>Produção<sup>a</sup> (kg/ano)</b>	<b>Percentual de utilização do soro</b>	<b>Valor econômico<sup>b</sup> (R\$/kg)</b>	<b>Fator de alocação (econômico)</b>
Bebida láctea	69.700,00	Alocação: 100%	3,20 <sup>c</sup>	27,42%
Bebida láctea	48.790,00	Alocação: 70%	3,20	20,91%
Bebida láctea	34.850,00	Alocação: 50%	3,20	15,89%
Bebida láctea	20.910,00	Alocação: 30%	3,20	10,18%

<sup>a</sup> Volume estimado utilizando o balanço de massa.

<sup>b</sup> Estimativa de valor praticado na região de estudo.

Fonte: o autor

O método de alocação econômico foi utilizado porque a matriz de alocação físico-química, proposta pelo IDF, não contempla coeficientes de alocação para bebida láctea.

Os resultados permitem inferir que a fabricação de bebida láctea utilizando 30% do soro produzido pela fábrica foi a formulação mais impactante. Por outro lado, ao utilizar 100% do soro houve menor contribuição nas oito categorias utilizadas (Figura 14).

Mudanças de 30% a 100% na alocação do volume de soro para produção de bebida láctea resultaram em diminuição de 24% a 12% nas oito categorias de impacto utilizadas. A diminuição mais expressiva foi na alocação 100%. As variações na contribuição dos quatro índices de alocação foram superiores a 21%.

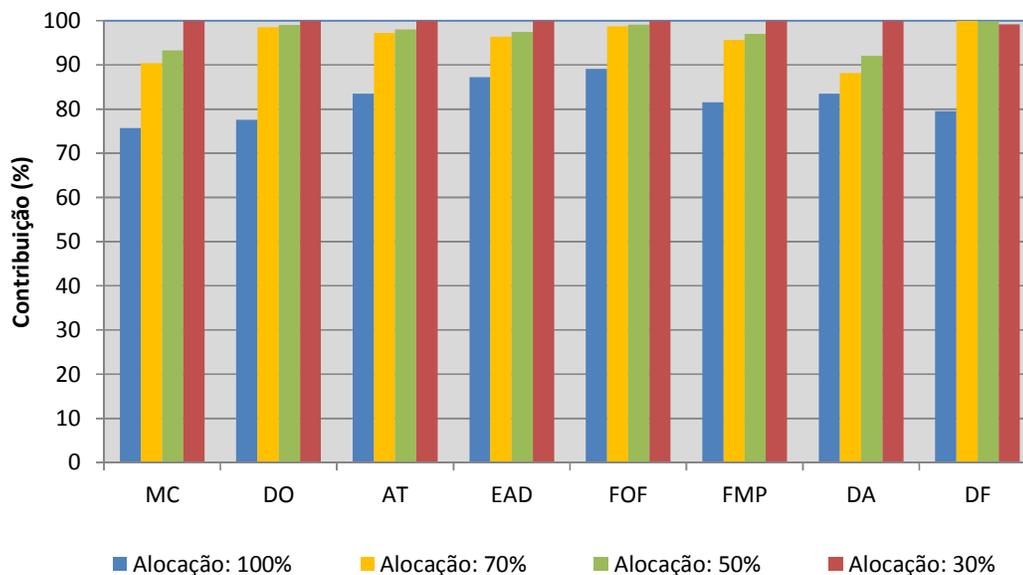
As contribuições em mudanças climáticas foram de 75%, 90%, 93% e 100%, DO (77%, 98%, 99% e 100%), AT (83%, 97%, 98% e 100%), EAD (87%, 96%, 97% e 100%), FOF (89%, 98%, 99% e 100%), FMP (81%, 95%, 97% e 100%), DA (83%, 88%, 92% e 100%) e DF (79%, 100%, 99% e 99%), para a alocação de 100%, 70%, 50% e 30%, respectivamente.

Ao avaliar as contribuições individualmente, ou seja, de cada formulação, foi possível identificar o detergente neutro, o açúcar, a embalagem e a eletricidade como os principais fluxos contribuintes nas oito categorias utilizadas e nos quatro tipos de alocação. Os demais fluxos de água, sorbato de potássio, ácido nítrico, hipoclorito de sódio e energia térmica tiveram contribuição média abaixo de 2%.

As contribuições médias do fluxo de detergente foram de 75% (DO), 72% (DF), 55% (MC), 50% (FMP), 47% (AT), 31% (FOF), 30% (EAD) e 11% (DA). As fontes associadas à produção de detergente bem como das embalagens deste são as emissões de óxidos de

nitrogênio ( $\text{NO}_x$  e  $\text{NO}_2$ ) e óxidos enxofre ( $\text{SO}_x$  e  $\text{SO}_2$ ), decorrentes da produção e derivados de petróleo.

Figura 14 – Resultado (%) ambiental associado à fabricação de bebida láctea utilizando diferentes percentuais de volume de soro produzido.



MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

Fonte: Dados da pesquisa

O segundo fluxo mais contribuinte foi o açúcar, com 33% nas oito categorias utilizadas e nos quatro tipos de alocação. Em 59% (EAD), 56% (DA), 55% (FOF), 35% (AT), 31% (FMP), 12% (MC e DO) e 4% (DF).

Na categoria EAD as fontes associadas são o uso de fertilizantes nitrogenados na produção de cana-de-açúcar, como o nitrato e sulfato de amônio, uréia e fosfatos que podem contaminar as águas superficiais e o solo. Outro agravante na categoria EAD são as cinzas oriunda da combustão de madeira para produção de energia térmica em usina de produção de cana-de-açúcar. O enxofre (S) e o cloro (Cl) sobre a forma de cloretos e sulfatos, respectivamente, podem surgir na cinza e, devido ao manejo ineficiente, podem contaminar águas superficiais, subterrâneas e o solo.

Quanto a depleção de água (DA) as contribuições são decorrentes da irrigação das plantações de cana-de-açúcar. Na categoria FOF as fontes foram a irrigação e óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), fertilizantes fosfatados ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), nitrogenados (N). Nas categorias AT, FMP, MC, DO e DF, as contribuições são devido a etapa agrícola da cana-de-açúcar (operações de colheita produção, e transporte).

É importante salientar que o processo utilizado para a produção de açúcar não representa adequadamente a realidade brasileira. Picoli et al. (2016) realizaram a adaptação de inventários do ciclo de vida de cana-de-açúcar de sete estados brasileiros e confirmaram haver grande efeito do uso do inventário regionalizado nos resultados da ACV da cana-de-açúcar. A pesquisa mostrou que existem grandes diferenças nos tipos e quantidades de fertilizantes e pesticidas utilizados nos sistemas de produção de cana-de-açúcar, ocorrência de colheita mecanizada, sem queima e contabilização das emissões de gases de efeito estufa (GEE) por mudanças de uso da terra.

A embalagem de polipropileno de baixa densidade (LDPE) foi o terceiro fluxo mais contribuinte, com 6% nas oito categorias selecionadas. As contribuições médias em depleção fóssil foram de 17%, MC (14%), AT, FOF e FOM (7%) e 2% (DA). As contribuições estão relacionadas às emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) liberadas devido a queima de combustíveis fósseis e às emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) exaladas durante produção de combustíveis não renováveis como o carvão, petróleo e gás natural.

Por fim, a geração de eletricidade contribuiu em média com 7% nas oito categorias e nos quatro tipos de alocação. As contribuições foram em 14% (DA e MC), 7% (FOF), 5% (DA, AT e EAD), e 3% (FOF e DF). Como já foi dito, produção de energia elétrica de fonte não renovável contribui com as emissões de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) para o ar, gerados durante a queima de combustíveis fósseis.

A avaliação do ciclo de vida realizada por Djekic et al. (2014) com seis produtos lácteos em sete fábricas de laticínios, na Sérvia, mostra que a demanda de eletricidade para o iogurte contribuiu com 40% em mudanças climáticas, no entanto, os pesquisadores alegam também que, a fabricação de produtos lácteos fluidos (leite UHT e iogurte) requer menos energia elétrica do que a fabricação de queijos.

Santos Júnior, et al. (2017) descreveram a eletricidade, a embalagem e o açúcar como fontes importantes de impacto no iogurte de leite bovino produzido na região Sudoeste da Bahia. A produção de embalagens e de açúcar contribuiu em 52% e 33%, respectivamente, na categoria acidificação terrestre; a geração de eletricidade em 38% na categoria eutrofização de água doce (EAD).

González-Garcia et al. (2013c) registraram contribuições significativas para depleção de água (DA) (41%) e 43% em Demanda Acumulada de Energia, devido as embalagens (polietileno e polietileno de alta densidade – HDPE) utilizadas na fabricação de iogurte, produzido em fábrica de laticínios localizada em Portugal. Os autores concluem que a produção de materiais de embalagem tem impactos ambientais importantes.

Em suma, o cenário permitiu identificar que os principais fluxos de detergente neutro, açúcar, embalagem e eletricidade foram os aspectos ambientais que mais contribuíram para as categorias de impacto avaliadas.

O cenário mostra ainda que o beneficiamento do soro é uma alternativa viável e de melhor aproveitamento deste subproduto em comparação com a prática de alimentação animal, que não agrega valor para a cadeia produtiva do leite de búfala. A inclusão da bebida láctea no rol de produtos pode ainda minimizar as contribuições nas oito categorias de impacto utilizadas dependendo do método de alocação utilizado e da modelagem dos processos.

É importante ressaltar ainda que, a inclusão da bebida láctea no rol de produtos provocou um acréscimo em torno de 47 kg de manteiga, devido ao desnate de leite utilizado na formulação da bebida. No entanto o aumento não provocou contribuições expressivas nos impactos (< 1%).

## 6 CONCLUSÕES

As principais conclusões obtidas foram:

- De forma geral, os principais *hotspots* da produção do leite de búfala considerado orgânico foram: a energia elétrica, a produção de açúcar, o cultivo de pastagem, as emissões diretas de GEE e a água utilizada para dessedentação animal.
- As unidades de processo da fabricação dos produtos lácteos mais impactantes foram as câmaras de refrigeração, o desnate, a pasteurização, a recepção de leite e as embalagens.
- O cenário com a instalação de uma torre de resfriamento contribuiu com redução dos impactos nas oito categorias utilizadas.
- O beneficiamento do soro utilizado para a fabricação de bebida láctea pode ser uma alternativa viável devido à capacidade poluente deste subproduto.

Os resultados obtidos no presente estudo indicaram que a fase de produção do leite de búfala, considerado orgânico, apresentou diferentes contribuições de impactos nas sete categorias avaliadas. A unidade de processo “criação dos animais” teve impactos expressivos em mudanças climáticas e depleção de água; enquanto que a unidade “ordenha e armazenamento do leite” apresentaram contribuições nas categorias depleção de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce e ocupação de solo agrícola. Visto que não houve predominância dos impactos de nenhum fluxo elementar comparado nas duas unidades de processo, não seria possível indicar o principal fluxo contribuinte nas sete categorias utilizadas.

É notável que o processamento industrial dos derivados do leite de búfala foi um importante ponto crítico ambiental no ciclo de vida do leite. Grande parte dos impactos estão associados ao fluxo de recursos e insumos que se encontram fora dos limites deste subsistema. Os resultados indicam também, como era esperado, que é improvável encontrar um sistema de produto que seja considerado a melhor opção ambiental para o sistema de produto.

A eletricidade permeia todas as atividades produtivas e a eficiência energética devem ser vista como prioridade. Deve-se considerar, também, que a instalação de uma torre de resfriamento precisa fazer parte de um sistema de medidas de gestão e controle do consumo da água.

Uma questão a ser pontuada é que as águas residuais apresentaram contribuições abaixo de 1% nas oito categorias de impacto utilizadas. Mesmo não apresentando resultados expressivos, a empresa deve considerar a necessidade de tratamento da água residual, seja para reuso ou para o descarte.

Cabe ressaltar também que a empresa realizou ações que visam minimizar os efeitos ambientais adversos, tais como o sistema de coleta de fuligem acoplado a caldeira e a construção de caixas de separação de gordura e resíduos sólidos suspensos das águas residuais.

Medidas que visem a realização de cursos de aperfeiçoamento das práticas de manipulação de alimentos com foco nos pontos críticos do processo produtivo podem minimizar os impactos devido ao desperdício acidental de insumos, recursos e resíduos de produtos.

Por fim, a utilização do soro de queijo e do leiteiro como matéria-prima para fabricação de bebida láctea é uma alternativa ambiental viável e de melhor aproveitamento destes, uma vez que a empresa estudada não tem implementado um sistema de recuperação do soro devido a sua produção em pequena escala. Contudo, é necessário um estudo de viabilidade econômica, pois neste caso a empresa teria que adequar a estrutura física e seria classificada como usina de beneficiamento.

## 7 REFERÊNCIAS

- ABCB. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE BÚFALOS. Laticínios. Disponível em: <<http://www.bufalo.com.br/laticinios.html>>. Acesso em: 31 de jul. 2016.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14001:2004. Sistemas de gestão ambiental. Requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro, 2004.
- ABIA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO. **IIº Fórum Brasileiro da Indústria de Alimentos – Mercado interno para alimentos industrializados: gargalos**, 11 de abr. 2014. Disponível em: <<http://www.forumindustriadealimentos.com.br>>. Acesso em 27 de mar. 2016.
- ADAB. AGÊNCIA ESTADUAL DE DEFESA AGROPECUÁRIA DA BAHIA. Decreto nº 7.854 de 11 de outubro de 2000. Coordenadoria Regional de Itapetinga. 2016.
- ADISSI, P. J.; NETO, J. A. A. Conceitos básicos de gestão ambiental. In: Adissi, et al. (Org). **Gestão ambiental de unidades produtivas**: ABEPRO: Associação Brasileira de Engenharia de Produção. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013, p. 9.
- ANDRIGHETTO, C. Cadeia produtiva do leite de búfala: visão da universidade. II Simpósio da Cadeia Produtiva da Bubalinocultura. **1º International Symposium of Buffalo Production Chain**. São Paulo de 07 a 10 de abr. 2011. Disponível em: <<http://www.fmvz.unesp.br>>. Acesso em: 26 de mar. 2016.
- ARCESE, G.; MERLI, R.; LUCCHETTI, M. C. Life cycle approach: a critical review in the Tourism Sector. **The 3<sup>rd</sup> World Sustainability Forum**, Oshawa, Canadá, de 01 a 30 nov. 2013.
- ARIMURA, T. H.; DARNALL, N.; GANGULI, R.; KATAYAMA, H. The effect of ISO 14001 on environmental performance: Resolving equivocal finding. **Journal of Environmental Management**, n. 166, p. 556-566, 2016.
- ASSELT, A. J. V. HOUWELINGEN, G. V.; GIFFET, M. C. T. Monitoring system for improving cleaning efficiency of cleaning-in-place processes in dairy environments. **Food and Bioproducts processing**, v. 80, n. 4, p. 276-280, 2002
- BARRETO, Ranieri Muricy (Org.). Bahia 2000-2013. São Paulo: Ed. Fundação Perseu Abramo, 2014.
- BATALHA, M. O.; SILVA, A. L. Gerenciamento de sistemas agroindustriais: definições, especificidades e correntes metodológicas. In: BATALHA, M. O. (Cord) **Gestão Agroindustrial**: GEPAI: Grupos de Estudos e Pesquisas Agroindustrial. v. 1. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- BERNARDES, Otávio. Desafios na produção de leite de búfalas. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RUMINANTES LEITEIROS (UDILEITE), 2014. **Anais...** Uberlândia, MG: FAMEV, nov. 2014. p. 33-72, 2014.
- BOYCE, A.; PITERINA, A. V.; WALSH, G. Assessment of the potential suitability of selected commercially available enzymes for cleaning-in-place (CIP) in the dairy industry.

Biofouling: **The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research**, v. 26, n.7, p. 837-850, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento/MAPA. Assessoria de Gestão Estratégica. **Projeções do Agronegócio, Brasil 2014/2015** as Projeções a Longo Prazo, jul. 2015a.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento/MAPA. Decreto 30.6919 de 29 de março de 1952 e alterado pelos Decretos 1.255 de 25 de junho de 1962, 1.236 de 02 de setembro de 1994, 1.812 de 02 de fevereiro de 1996 e 2.244 de 04 de junho de 1997. Inspeção industrial de sanitária do leite e derivados. In: **Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal**. Poder Executivo, Brasília, Brasília, 1980.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento/MAPA. Secretaria de Defesa Agropecuária. Departamento de Saúde Animal. **Dados de rebanho bovino e bubalino no Brasil. 2014**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>> Acesso em: 03 de jan. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento/MAPA. Instrução normativa nº 16 de 23 de agosto de 2005. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 ago. 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Boletim mensal de monitoramento do sistema elétrico brasileiro, jan/dez 2015. Secretaria de Energia Elétrica/Departamento do Sistema Elétrico Brasileiro – Brasília, 2015c. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 11 de nov. 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2015**: Ano base 2014. Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2015b.

\_\_\_\_\_. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2016**: Ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016b.

BRIAM, R.; WALKER, M. E.; MASANET, E. A comparison of product-based energy intensity for cheese and whey processing. **Journal of Food Engineering**, n., 151, p. 25-33, 2015.

BUENO, C.; HAUSCHILD, M. Z.; ROSSIGNOLO, J. A.; OMETTO, A. R.; MENDES, N. C. Sensitivity analysis of the use of life cycle impact assessment methods: a case study on building materials. **Journal of Cleaner Production**, v.112, p.2208-2220, 2016.

BUZI, K. A.; PINTO, J. P. A. N.; RAMOS, P. R. R. BIONDI, G. F. Análise microbiológica e caracterização eletroforética do queijo mussarela elaborado a partir de leite de búfala. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 7-11, 2009. jan./mar.2009.

CARVALHO, L. S.; WILLERS, C. D.; SILVA, N. L.; RODRIGUES, L. B. Avaliação do consumo de água durante a ordenha em um setor de bovinocultura leiteira de médio porte. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Belo Horizonte, Minas Gerais. **Anais...** Minas Gerais: ENEGEP: 2011

CARVALHO, R. F. Dossiê técnico. Ricota e bebida láctea. Rede de tecnologia da Bahia – RETEC/BA. Serviço Brasileiro de Resposta Técnica, Julho 2007.

CEPRAM. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 3.925 de 30 de janeiro de 2009. Dispõe sobre o Programa Estadual de Gestão Ambiental compartilhada com fins ao fortalecimento da gestão ambiental [...] e dá outras providências. Diário Oficial do Estado da Bahia, 04 de março de 2009.

CHERUBINI, E.; RIBEIRO, P. T. (Org.). Diálogos setoriais Brasil e União européia: desafios e soluções para o fortalecimento da ACV no Brasil. **Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT**, Brasília: 2015.

CHRISTOFOROU, E. A.; FOKAIDES, P. A. Life cycle assessment (LCA) of olive husk torrefaction. **Renewable Energy**, v. 90, p. 257-266, 2016.

CIROTH, A.; MULLER, S.; WEIDEMA, B. Empirically based uncertainty factors for the pedigree matrix in ecoinvent. The **International Journal Life Cycle Assessment**, v.3, p. 1-11, 2013.

CLAUDINO, E. S.; TALAMINI, E. Análise do ciclo de vida (LCA) aplicada ao agronegócio – uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 77-85, 2013.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTA. **RESOLUÇÃO Nº 237**, de 19 de dez. 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 21 de mar. 2016.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Conjuntura mensal: Leite e derivados Janeiro/2014**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_02\\_17\\_09\\_54\\_47\\_leite\\_janeiro\\_2014.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_02_17_09_54_47_leite_janeiro_2014.pdf)>. Acesso em: 18 de julho de 2016.

DIAS, Reinaldo. Responsabilidade social e sustentabilidade. 2 ed. Revista e atualizada, São Paulo: **Atlas**, 2011, p. 102.

DJEKIC, I.; MIOCINOVIC, J.; TOMASEVIC, I.; SMIGIC, N.; TOMIC, N. Environmental life-cycle assessment of various dairy products. **Journal of Cleaner Production**, n. 68, p. 64-72, 2014.

DONGYAN, M.; ADDY, M.; ANDERSON, E.; CHEN, P.; RUAN, R. A live cycle assessment and economic analysis of the Scum-to-Biodiesel technology in wastewater treatment plants. **Bioresource Technology**, v. 204, p. 89-87, 2016.

DRD. Departamento do Governo Local e Regional da Austrália. **Code of practice for farmed buffalo in Western Australia**. Western Australia, March, 2003.

EC, EUROPEAN COMMISSION, Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability, 2010. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook – **General Guide for Life Cycle Assessment – Detailed Guidance**, first ed. Publication Office of the European Union, Luxembourg, 12 march 2010.

EKVALL, T.; AZAPAGIC, A.; FINNVEDEN, G.; RYDBERG, T.; WEIDEMA, ZAMAGNI, A. Attributional and consequential LCA in the ILCD handbook. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 3, p. 293-296, 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos para todos, perguntas e respostas**. Dados eletrônicos, Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2014.

EPA. Environmental Protection Agency. **Emission factors: greenhouse gas biogenic sources. Enteric Fermentation – Greenhouse Gases**. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch14/final/c14s04.pdf>>. Acesso em: 28/10/2016.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Dairy production and products. **Water buffaloes**. Disponível em: <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/milk-production/dairy-animals/water-buffaloes/en/#.V4TjetlrLIU>>. Acesso em: 12 de jul. 2016.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Roma, Italy, 2013.

FEITZ, A. J.; LUNDIE, S.; DENNIEN, G.; MORAIN, M.; JONES, M. Generation of an industry-specific physico-chemical allocation matrix, application in the dairy industry and implication for system analysis. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 12, n. 2, p. 109-117, 2007.

FIGUEIREDO, B. A. C. **Proposta de produção mais limpa estudo de caso em uma indústria de laticínios**. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS, 2014. 75p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC.

FLYSJÖ, A.; THRANE, M.; HERMANSEN, J. E.; Method to assess the carbon footprint at product level in the dairy industry. **International Dairy Journal**, n. 34, p. 86-92, 2014.

FREITAS, J. L.; BUFREM, L. S.; BRETA, S. M. Methodological choices for research in information Science: contributions to domain analysis. **Transinformação**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 5-13, jan./abr., 2016.

GARG, M. R.; PHONDBA, B. T.; SHERASIA P. L.; MAKKAR, H. P. S.; Carbon footprint of milk production under smallholder dairying in Anand district of Western India: a cradle-to-farm gate life cycle assessment. **Animal Production**, v. 56, n. 2-3, p. 423-436, 2016.

GIORDANO, G. Tratamento e controle de efluentes e industriais. **Revista ABES**, v. 4, n.76, 2004.

GOEDKOOOP, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; SCHRYVER, A. STRUIJS, J.; ZELM, R. **ReCiPe 2008** – A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint end endpoint level. 1 ed. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM).2013.

GONZÁLEZ-GARCIA, S.; CASTANHEIRA, E. G.; DIAS, A. C.; ARROJA, L. Environmental performance of a Portuguese mature cheese-making dairy mill. **Journal of Cleaner Production**, v. 41, p. 65-73, 2013a.

GONZÁLEZ-GARCIA, S.; HOSPIDO, A.; MOREIRA, M. T.; Environmental life cycle assessment of a Galician cheese: San Simon da Costa. **Journal of Cleaner Production**, v. 52, p. 253-262, 2013b.

- GONZÁLEZ-GARCIA, S.; CATANHEIRA, E. G; ARROJA, L. Environmental life cycle assessment of dairy product: the yogurt. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 4, p. 796-811, 2013c.
- HOSPIDO, A.; MOREIRA, M. T.; FEIJOO, G. Simplified life cycle assessment of Galician milk production. **International of Dairy Journal**, v. 13, n. 5, p. 305-308, 2003.
- HUANG, J.; XU, C.C.; RIDOUTT, B.; LIU, J. J.; ZHANG, H. L.; CHEN, F.; LI, Y. Water availability footprint of milk and milk products from large-scale dairy production systems in Northeast China. **Journal of Cleaner Production**, v.79, p. 91-97, 2014.
- IBD Certificações. **Inspeções e certificações agropecuárias e alimentícias**. Disponível em:<<http://ibd.com.br/pt/Default.aspx>>. Acesso em: abr. 2016.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Efetivo dos rebanhos**. 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 13 de abr. 2016b.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Efetivo dos rebanhos**. 2014. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/v3/cidades/home-cidades>>. Acesso em: 17 de dez. 2016c.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Trimestral do Leite – PTL**. Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 21 de mar. 2016a.
- IDF. International Dairy Federation Bulletin. 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. **Bulletin of the International Dairy Federation**, Brussels, Belgium, n. 436, p.32, 2009.
- IDF. International Dairy Federation Bulletin. A common carbon footprint approach for the dairy sector – The IDF guide to standard life cycle assessment methodology. **Bulletin of the International Dairy Federation**, Brussels, Belgium, n. 445, p. 60, 2015.
- IDF. International Dairy Federation Bulletin. A common carbon footprint approach for the dairy sector – The IDF guide to standard life cycle assessment methodology. **Bulletin of the International Dairy Federation**, Brussels, Belgium, n. 479, p. 22, 2010.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change: the physical science basis. Chapter 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. Contribution of Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 659 - 740, 2013.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use: Chapter 10 emissions from livestock and manure management; Chapter 11: N<sub>2</sub>O emissions from managed soils, and CO<sub>2</sub> emissions from lime and urea application, 2006.
- ISO. International Organization For Standardization. ISO 14040 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework. Geneva, Switzerland, 2006a.

ISO. International Organization For Standardization. ISO 14041 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines. Geneva, Switzerland, 2006b.

JUNTUNEN, M. K.; AKSELA, M. K. Improving students' argumentation skills through a product life-cycle analysis project in chemistry education. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 15, p. 639-649, 2014.

KAWANO, B. R.; MORES, G. V.; SILVA, R. F.; CUGNASCA, C. E. Eficiência energética é a chave para a competitividade. **Agroanalysis (FGV)**, v. 33, p. 20-21, 2013.

KJAER, L. L.; PAGOROPOULOS, A.; SCHMIDT, J. H.; McALONE, T. C. Challenges when evaluating product/service-systems through lifecycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, n. 120, p. 95-104, 2016.

KLEIN, D.; WOLF, C.; SCHULZ, C.; WEBER-BLASCHKE, G. 20 Years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. The **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 4, p. 556-575, 2015.

KLÖPPFER, W. The critical review of life cycle assessment studies according to ISO 14040 and 14044. The **International Journal Life Cycle Assessment**, v. 17, p. 1087-1093, 2012.

KNAPP, J. R.; LAUR, G. L.; VADAS, P. A.; WEISS, W. P.; TRICARICO, J. M. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 6, p. 3231-3261, 2014.

KRISTENSEN, T.; SOEGAARD, K.; ERIKSEN, J.; MOGENSEN, L. Carbon footprint of cheese produced on milk from Holstein and Jersey cows fed hay differing in herd content. **Journal of Cleaner Production**, n. 101, p. 229-237, 2015.

KUMAR, S.; KANAWJIA, S. K.; KUMAR, S. KHATKAR, S. Comparative study of buffalo and cow milk feta-type cheese with respect to sensory and biochemical characteristics during ripening. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, n. 3, p. 823-829, 2014.

LEAP. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. **Environmental performance of large ruminant supply chain: guidelines for assessment**. Version 1. YFAFAO, Roma, Italy, 2016.

LIMA, G. B. A.; FRANÇA, S. L. B. Normalização e gestão ambiental no contexto da ISO 14001. In: Adissi, et al. (Org). **Gestão ambiental de unidades produtivas: ABEPRO**: Associação Brasileira de Engenharia de Produção. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

LIU, S.; LIU, Z.; ZHANG, H.; LU, L.; LIANG, J.; HUANG, Q. Knowledge, attitude and practices of food safety amongst food handlers in the coastal resort of Guangdong, China. **Food Control**, v. 47, p. 457-461, 2015.

LOTTEAL, M.; LOUBET, P.; POUSSE, M.; DUFRASNES, E.; SONNEMANN, G. Critical review of life cycle assessment (LCA) for the built environment at the neighborhood scale. **Building and Environment**, n. 93, p. 167-178, 2015.

LUZ, L. M.; FRANCISCO, A. C.; PIEKASKI, C. M. Proposed model for assessing the contribution of the indicators obtained from the analysis of life-cycle inventory to generation of industry innovation. **Journal of Cleaner Production**, n. 96, p. 339-346, 2015.

MADERI, T. R. **Diagnóstico da gestão integrada em indústrias de laticínios do Território de Identidade do Médio Sudoeste**. 2014. 63p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2014.

MARQUES, J. R. F. Búfalos. **O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Embrapa Amazônia Oriental (Belém, PA). Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 176p (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

MARTINS, R. A. Gestão da qualidade agroindustrial. In: BATALHA, M. O. (Coord) et al. **Gestão Agroindustrial: GEPAI: Grupos de Estudos e Pesquisas Agroindustrial**. 3. ed. v. 1. p. 354, São Paulo: Atlas, 2009.

McAULIFFE, G. A.; CHAPAMAN, D. V.; SAGE, C. L. A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. **Environmental Impact Assessment Review**, n. 56, p. 12-22, 2016.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Inventários Não Controlados pelo Protocolo de Montreal por Comunicação Inicial do Brasil. Parte II, 2010.

MEIER, M. S.; STOESSEL, F.; JUNGBLUTH, N.; JURASKE, R.; SCHADER, C.; STOUZE, M. Environmental impacts of organic and conventional agricultural products – Are the differences captured by life cycle assessment? **Journal of Environmental Management**, n. 149, p. 193-208, 2015.

MIGLIAVACCA, A.; SCARTAZZINI, L. S. A energia solar aplicada à atividade leiteira em pequena propriedade do sul do Brasil. In: 10º CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 2015, São Paulo/SP. *Anais...* São Paulo: EGRENER, 2015.

NIGRI, E. M.; BARROS, A. C.; ROCHA, S. D. F.; FILHO, E. R. Assessing environmental impacts using a comparative LCA of industrial and artisanal production processes: “Minas cheese” case. **Food Science Technology**, v. 34, n. 3, 522-531, 2014.

NRC. National Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7 Ed., National Academies Press, Washington, D. C. USA, 2001.

OECD/FAO. AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Agricultural Outlook, 2015, **OECD Publishing**, Paris. 2015. Disponível em: <<http://www.agri-outlook.org/publication/>>. Acesso em: 18 de mar. 2016.

PALMIERI, N.; FORLEO, M. B.; SALIMEI, E. Environmental impacts of dairy cheese chain including whey feeding: Na Italian case study. **Journal of Cleaner Production**, v.124, n. 186, p. 1-28, 2016.

- PATIL, S. A.; AHIRE, V. V.; HUSSAIN, M. H. Dairy wastewater: a case study. **International Journal of Research in Engineering and Technology** – IJRET, v. 3, n. 09, p. 30-34, 2014
- PAUL, S. S.; LAL, D. **Nutrient requirements of buffaloes**. Delhi: Satish Serial Publishing House SSPH, 2010. p. 6.
- PICOLI, J. F.; et al. Adaptação de inventários de ciclo de vida de cana de açúcar para o contexto brasileiro. In: V CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 2016. Fortaleza *Anais*...Fortaleza: set. 2016, p. 566-572.
- PIRLO, G.; CARE, S.; FANTIN, V.; FALCONI, F.; BUTTOL, P.; TERZANO, G. M.; MASONI, P.; PACELLI, C. Factors affecting life cycle assessment of milk produced on 6 Mediterranean buffalo farms. **Journal of Dairy Science**, v. 97 n. 10, p. 6583-6593, 2014a
- PIRLO, G.; TERZANO, G.; PECELLI, C.; ABENI, F.; CARÈ, S. Carbon footprint of milk produced at Italian buffalo farms. **Livestock Science**, n. 161, 176184, 2014b.
- PITACAS, F. I.; RODRIGUÊS, A. M. Produção de búfalos de leite na Europa. Divulgação técnica. **Agroforum**, n. 3, ano 21, 2013.
- PRÉ CONSULTANTS. Software to measure and improve the impact of your product life cycle. Disponível em:< <https://www.pre-sustainability.com/simapro>>. Acesso em: 01 jan. 2017.
- RICCI, G. D.; DOMINGUÊS, P. F.; O leite de búfala. **Journal of Continuing Education in Animal Science of CRMV-SP**, v. 10, n. 1, p. 14-19, 2012.
- ROER, A. G.; JOHANSEN, A.; BAKKEN, A. K.; DAUGSTAD, K.; FYSTRO, G.; STRØMMAN, A. H. Environmental impacts of combined milk and meat production in Norway according to a life cycle assessment with expanded system boundaries. **Livestock Science**, v. 155, p. 384-396, 2013.
- ROSALES, F. P.; BATALHA, M. O. Coordination of the chain of Buffalo milk in São Paulo State (Brazil). **Buffalo Bulletin**, v.32, n. 2, 1200-1203, 2013
- ROSA, B. R. T.; FERREIRA, M. M. G.; AVANTE, M. L.; FILHO, D. Z.; MARTINS, I. S. Introdução de búfalas no Brasil e sua aptidão leiteira. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, Garça, v. 5. n. 8, 1-6, 2007.
- ROY, P.; NEI, D.; ORIKASA, T.; XU, Q.; OKADOME, H.; NAKAMURA, N.; SHIINA, T. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. **Journal of Food Engineering**, n. 90, 1-10, 2009.
- SANTINI, G. A.; BERNARDES, O.; SCARPELLI, J. U. Análise das relações comerciais do segmento de processamento de leite e derivados de leite de búfala no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, SP, v. 43, n. 5, set./out. 2013.
- SANTOS, T. D.; ARRUDA, J. R. F.; BRISAUD, D. Treating input data uncertainty in LCA: Monte Carlo and Fuzzy approach. In: **4º International Workshop Advances in Cleaner Production, Integrating Cleaner Production into Sustainability Strategies**: São Paulo, Brazil, de 22 a 24 de may. 2013.

SANTOS JÚNIOR, H. C. M.; MARANDUBA, H. L.; NETO, J. A. A.; RODRIGUES, L. B. Life cycle assessment of cheese production process in a small-sized dairy industry in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 3470-3482, 2017.

SEBRAE. SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Participação das micro e pequenas empresas na economia brasileira**. Unidade de Gestão Estratégica – UGE/SGAS 605/Brasília-DF, jul. 2014.

SCALIZE, P. S.; LEITE, W. C. A.; RODRIGUÊS, J. M.; CORREA, M. S.; VENUZO, S. B.; LOMBARD, R.; OLIVEIRA, S. C.; SANTOS, M. F. Correlação entre os valores de DBO e DQO no afluente e efluente de duas ETE'S da cidade de Araraquara. In: **VIII Exposição de experiências municipais em saneamento: Caxias do Sul/RS. 34ª**. Assembleia Nacional da ASSEMAE, p. 1-13, 2004.

SEAGRI. SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA, IRRIGAÇÃO, PESCA E AQUICULTURA. 2014. Disponível em: <<http://www.seagri.ba.gov.br>>. Acesso em: 10 de jul. de 2016.

SEIDEL C. The application of life cycle assessment to public policy development. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 3, 337-348, 2016.

SIKKA, P.; SETHI, R. K.; TOMER, A. K. S.; CHOPRA, S. C. Blood metabolite levels in relation to age and live weight in young buffalo calves. **Asian – Australasian Journal of Animal Science**, v. 7, n. 2, p. 201-205, 1994.

SILVA, S. L.; NADIR JÚNIOR, G. Produção de derivados bubalinos e mercado consumidor. **Tekhne e Logos**, Botucatu, SP, v. 5, n. 1, Abr./Jul., 2014.

SKIDMORE, A. The effect of animal removal on herd internal growth rate. **Journal of Animal Science**, v.83, p.122-125, 2005. Supplementum 1.

SPECK, R.; SELKE, S.; AURAS, R. Choice of life cycle assessment software can packaging system decision. **Packaging Technology and Science** v. 28, n. 7, 579-588, 2015.

SEI. SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. Economia Baiana em 2013 – PIB baiano ultrapassa o montante dos R\$ 200 bilhões em 2013. Disponível em: <<http://www.sei.ba.gov.br>>. Acesso em: 12 de nov. 2016.

SEI. SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. Perfil dos Territórios de Identidade. Salvador: SEI, 2015.

SEI. SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. Cartogramas físicos ambientais. Solos: 2001.

TIKARIHA, A.; SAHU, O. Study of characteristics and treatments of dairy industry waste water. **Journal of Applied & Environmental Microbiology**, v. 2, n. 1, 16-22, 2014.

UFV. UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Caderno de homeopatia: instruções práticas geradas por agricultores sobre o uso da homeopatia no meio rural**. 3. ed. Departamento de fitotecnia do centro de ciências agrárias, 2009. Disponível

em:<ao.org.br/ao/pdfs/publicacoes/apostila-de-homeopatia-UFV.pdf>. Acesso em: 23, ago. 2016.

UGAYA, C. M. L. Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos. In: ADISSI, P. J. et al. (ORG). **Gestão Ambiental de Unidades Produtivas**. 1ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

UNEP. The Working Group Cleaner Production in the Food Industry. **Eco-efficiency for the Dairy Processing Industry**. Dairy Australia: Southbank Victoria/Austrália, 2004

VENHUIS, S. H.; MEHRVAR, M. Health effects, environmental impacts, and photochemical degradation of selected surfactants in water. **International Journal of Photoenergy**, v. 6, p. 115-125, 2004.

VERGE, X. P. C.; MAXIME, D.; DYER, J. A.; DESJARDINS, R. L.; ARCOND, Y.; VENDERZAAG, A. Carbon footprint of Canadian dairy products: calculations and issues. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 9, p. 6091-6104, 2013

XIE, X. M.; ZANG, Z. P.; QI, G. Y. Assessing the environmental management efficiency of manufacturing sectors: evidence from emerging economies. **Journal of Clean Production**, v. 112, 1422-1431, 2016.

WILLERS, C. D.; MARANDUBA, H. L.; ALMEIDA NETO, J. A.; RODRIGUES, L. B. Environmental impact assessment of a semi-intensive beef cattle production in Brazil's northeast. The **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, p. 516-524, 2016.

WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B. A critical evaluation of Brazilian life cycle assessment studies. The **International Journal Life Cycle Assessment**, v. 19, p. 144-152, 2014.

WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B. Um panorama sobre avaliação de ciclo de vida com base nos anais do simpósio de engenharia de produção. **Revista Gestão Industrial**, Paraná, v. 08, n. 01, 199-218, 2012.

APÊNDICES  
APÊNDICE 1 – Inventário para fabricação de 1 kg de queijo mozzarella

Fluxos elementares	Quantidade	Unidade	Método <sup>a</sup>	Variância ( $\sigma^2$ )
<b>ENTRADA</b>				
Leite cru	6,838	kg	Verificado	0,0026
Cloreto de sódio (sal)	0,0325	kg	Verificado	0,0026
Fermento lácteo	3,03E-04	kg	Verificado	0,0026
Coalho bovino	$3,62 \times 10^{-4}$	kg	Verificado	0,0026
Cloreto de cálcio (NaCl <sub>2</sub> )	$2,43 \times 10^{-3}$	g/m <sup>3</sup>	Verificado	0,0026
Água	49,566	L	Medido	0,0026
Energia elétrica	1,6118	kWh	Medido	0,0032
Madeira (energia térmica)	7,303	MJ	Medido	0,0052
Embalagem termoencolhível	$7,78 \times 10^{-4}$	kg	Medido	0,0027
Embalagem de Nylon	0,0130	kg	Medido	0,0092
Caixa de papelão ondulado	0,02313	kg	Estimado	0,0092
Hidróxido de sódio	$7,19 \times 10^{-3}$	kg	Verificado	0,0032
Hipoclorito de sódio	$8,71 \times 10^{-3}$	kg	Verificado	0,0032
Ácido nítrico	$1,12 \times 10^{-3}$	kg	Verificado	0,0032
Detergente alcalino	0,02464	kg	Medido	0,0092
Ácido paracético	$2,89 \times 10^{-3}$	kg	Verificado	0,0032
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>Especificações</b>				
Transporte de leite	45,438	kg km	Verificado	0,1226
Transporte de insumos	0,0022	tkm	Estimado	0,1306
<b>Fluxos elementares</b>				
<b>SAÍDA</b>				
Queijo mozzarella	1,0	kg	-	-
Soro (coproduto)	4,649	kg	Calculado	0,0087
Água residual	49,573	L	Estimado	0,0060
Resíduos de produção (massa)	0,0132	kg	Medido	0,086
Frasco em polietileno	$3,13 \times 10^{-4}$	kg	Estimado	0,086
Cinzas	0,157	kg	Medido	0,087
Carvão	0,020	kg	Medido	0,087
Fuligem	0,0016	kg	Estimado	0,087

**Fonte:** Dados da pesquisa

<sup>a</sup> Método de geração dos dados. **Verificado:** são dados que fazem parte dos registros de produção do estabelecimento e que foram considerados para realização dos cálculos; **Medidos:** são dados e informações de elevada confiança, mensurados no local durante as atividades de processamento; **Estimado:** são medidas obtidas com base em afirmações dos colaboradores do setor de produção e reproduzidos e/ou extrapolados em um horizonte de um ano ou ainda de valores estimados considerando experiências de medições em pequena escala realizadas no local ou com base na literatura (referenciados); **Calculado:** São dados obtidos aplicando balanço de massa do sistema de produção

\* A quantidade de material que entra não confere exatamente com a quantidade de saída porque ocorrem perdas no processo, tais como, perdas de massa no processo de picagem, redução do volume da massa em decorrência do processo de filagem, entre outros. Por outro lado, em decorrência do teor de umidade da massa, os o balanço de entrada e saída não conferem.

## APÊNDICE 2 – Inventário para a fabricação de 1kg de manteiga

Fluxos elementares	Quantidade	Unidade	Método <sup>a</sup>	Variância ( $\sigma^2$ )
<b>ENTRADA</b>				
Leite cru	23,323	kg	Verificado	0,0026
Cloreto de sódio (sal)	0,0150	kg	Verificado	0,0026
Água	4,773	L	Medido	0,0046
Energia elétrica	1,1313	kWh	Medido	0,0032
Embalagem de polipropileno (PP)	0,0222	kg	Medido	0,0506
Hipoclorito de sódio	$3,18 \times 10^{-4}$	kg	Verificado	0,0032
Caixa de papelão ondulado	$3,05 \times 10^{-4}$	kg	Verificado	0,0092
Hidróxido de sódio	$6,35 \times 10^{-4}$	kg	Verificado	0,0032
Hipoclorito de sódio	$1,4 \times 10^{-5}$	kg	Verificado	0,0092
Detergente alcalino	$6,85 \times 10^{-3}$	kg	Verificado	0,0092
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>Especificações</b>				
Transporte de leite cru	0,608	kg km	Verificado	0,1226
Transporte de insumos	0,062	tkm	Estimado	0,1306
<b>Fluxos elementares</b>				
<b>SAÍDA<sup>b</sup></b>				
Manteiga	1,0	kg	-	
Leitelho (buttermilk) <sup>c</sup>	0,898	kg	Calculado	0,0021
Leite desnatado	22,095	kg	Verificado	0,0080
Água residual	4,770	m <sup>3</sup>	Estimado	0,0060

Fonte: Dados da pesquisa

<sup>a</sup> Método de geração dos dados. **Verificado**: são dados que fazem parte dos registros de produção do estabelecimento e que foram considerados para realização dos cálculos; **Medidos**: são dados e informações de elevada confiança, mensurados no local durante as atividades de processamento; **Estimado**: são dados médios obtidos com base em afirmações dos colaboradores do setor de produção e reproduzidos e/ou extrapolados em um horizonte de um ano ou ainda de valores médios estimados considerando medições em pequena escala realizadas no local ou com base na literatura (referenciados); **Calculado**: São dados obtidos aplicando balanço de massa do sistema de produção.

<sup>b</sup> A quantidade de material que entra não confere exatamente com a quantidade que sai porque ocorrem perdas no processo, tais como, adesão de produto a superfície de utensílios e equipamentos, extravasamento do produto durante a lavagem, entre outros. Por outro lado, em decorrência da água adicionada na lavagem (que faz parte do volume do leitelho fresco), o balanço da matéria-prima que entra e dos subprodutos de saem pode ser superestimado.

<sup>c</sup> Considerou-se como leitelho o volume resultante de até a terceira lavagem da manteiga, de um total de cinco. Este critério foi adotado com base em análises laboratoriais do teor de gordura, sendo de: 1,35g/100g (1ª lavagem), 0,89g/100g (2ª lavagem), e 0,57g/100g (3ª lavagem).

## APÊNDICE 3 – Inventário para fabricação de 1kg de ricota fresca

Fluxos elementares	Quantidade	Unidade	Método <sup>a</sup>	Variância ( $\sigma^2$ )
<b>ENTRADA</b>				
Leite cru	41,072	kg	Verificado	0,0026
Água	2,333	L	Medido	0,0080
Cloreto de sódio (sal)	0,0092	kg	Verificado	0,0026
Energia elétrica	0,548	kWh	Medido	0,0080
Madeira (energia térmica)	0,516	MJ	Medido	0,0052
Embalagem: polipropileno (PP)	0,0222	kg	Medido	0,1246
Embalagem de nylon	0,0101	kg	Medido	0,0027
Caixa de papelão ondulado	0,0145	kg	Medido	0,0027
Hipoclorito de sódio	$5,69 \times 10^{-4}$	kg	Medido	0,0032
Detergente alcalino	0,0167	kg	Verificado	0,0092
Ácido paracético	$1,20 \times 10^{-5}$	kg	Medido	0,0086
Hidróxido de sódio	$8,82 \times 10^{-4}$	kg	Medido	0,0032
Ácido nítrico	$6,08 \times 10^{-6}$	kg	Medido	0,0032
Hipoclorito de sódio	$2,01 \times 10^{-3}$	kg	Medido	0,0032
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>Especificações</b>				
Transporte de leite cru	1,70	kg km	Verificado	0,1226
Transporte de insumos	0,067	tkm	Estimado	0,1306
<b>SAÍDA<sup>b</sup></b>				
<b>Fluxos elementares</b>				
Ricota	1,0	kg	-	-
Massa de queijo	0,571	kg	Calculado	0,0087
Soro residual	4,778	kg	Calculado	0,0021
Água residual	2,30	L	Estimado	0,0060
Cinzas	$5,23 \times 10^{-4}$	kg	Estimado	0,0087
Carvão	$1,0 \times 10^{-3}$	kg	Medido	0,0087
Fuligem	$8 \times 10^{-5}$	kg	Medido	0,0087

Fonte: Dados da pesquisa

<sup>a</sup>Método de obtenção dos dados. **Verificado:** são dados que fazem parte dos registros de produção do estabelecimento e que foram considerados para realização dos cálculos; **Medido:** são dados e informações de elevada confiança, mensurados no local durante as atividades de processamento ou ainda de valores obtidos de medições em pequena escala; **Estimado:** são medidas obtidas com base em afirmações de colaboradores do setor de produção e reproduzidos e/ou extrapolados para um horizonte de um ano ou ainda de valores estimados considerando experiências de medições em pequena escala realizadas no local ou com base na literatura (referenciados); **Calculado:** São dados obtidos aplicando balanço de massa do sistema de produção.

<sup>b</sup> A quantidade de leite que entra não confere exatamente com a quantidade que sai porque ocorrem perdas no processo, tais como, adesão de produto na superfície de utensílios e equipamentos, percas de produto durante a coleta da proteína na superfície, entre outros enquanto o teor de humidade dos coprodutos (massa de queijo e creme de leite) pode superestimar o balanço de massa.

## APÊNDICE 4 – Inventário das unidades de processo da fábrica de laticínios

Fluxos	Quantidade Total	Higienização do sistema	Processos elementares (unidades de processo)											
			Recepção de leite	Energia térmica (Caldeira)	Pasteurização	Coagulação e aquecimento	Filagem e moldagem	Salmoura e secagem de queijos	Embalagem de produtos	Estoque	Produção de ricota	Desnate de leite	Batedeira de manteiga	
<b>ENTRADAS</b>														
Leite cru (kg)	109.605,0		109.605,0											
Leite cru (kg) <sup>a</sup>	8.379,0												8.379,0	
Água (L)	791.600,4	68.678,0	134.511,8	25.706,9	486.420,0	8.954,0	44.286,0	1.430,2	0	0	2.547,1	404,1	18.660,6	
Energia elétrica (kWh)	29.703,362	0	0	21,560	123,73	0	0	12.248,122	435,68	16.330,830	0	11,84	531,60	
Energia térmica - madeira (MJ)	133.121,38			133.121,38										
Ingredientes														
<i>Fermento lácteo (kg)</i>	5,094					5,094								
<i>Cloreto de cálcio(kg<sup>3</sup>)</i>	55,967					55,967								
<i>Coalho bovino (kg)</i>	6,086					6,086								
<i>Cloreto de sódio (kg)</i>	1.513,00							1.507,6					5,385	
Embalagem														
<i>Filme termoenc. (kg)</i>	130,84								130,84					

## APÊNDICE 4 – Inventário das unidades de processo da fábrica de laticínios

Fluxos	Quantidade Total	Higienização do sistema	Processos elementares (unidades de processo)											
			Recepção de leite	Energia térmica (Caldeira)	Pasteurização	Coagulação e aquecimento	Filagem e moldagem	Salmoura e secagem de queijos	Embalagem de produtos	Estoque	Produção de ricota	Desnate de leite	Batedeira de manteiga	
<i>Embalagem de nylon (kg)</i>	63,51									51,825				
<i>Potes – resina de polipropileno (PP) – (kg)</i>	139,128									139,128		11,275		
<i>Caixa de papelão ondulado (kg)</i>	414,7									388,9		25,8		
<i>Produto de higienização</i>										388,91		25,79		
<i>Hidróxido de sódio, 14% (kg)</i>	122,08					120,874				0,984			0,222	
<i>Hipoclorito de sódio, 10% (kg)</i>	147,3	144,9										2,23		0,17
<i>Ácido nítrico (kg)</i>	19,7					19,7								
<i>Detergente alcalino - Ácido Dodesil Benzeno Sulfônico (kg)</i>	435,445	185,664	145,147					79,86				18,75	3,564	2,46
<i>Ácido Paracético 13% (kg)</i>	81,315	81,30										0,013		



## APÊNDICE 4 – Inventário das unidades de processo da fábrica de laticínios

Fluxos	Quantidade Total	Higienização do sistema	Processos elementares (unidades de processo)										
			Recepção de leite	Energia térmica (Caldeira)	Pasteurização	Coagulação e aquecimento	Filagem e moldagem	Salmoura e secagem de queijos	Embalagem de produtos	Estoque	Produção de ricota	Desnate de leite	Batedeira de manteiga
<b>TRANSPORTES</b>													
Transporte de insumos <sup>d</sup> (km)	35.620,61												
Transporte de leite cru (km)	212.152,688												

<sup>a</sup> Leite recebido e submetido apenas para o desnate

<sup>b</sup> O volume de soro foi estimado de acordo com a quantidade de produto (ricota) que o estabelecimento fabricou no ano de 2015

<sup>c</sup> O volume foi estimado com base na quantidade produzida durante o ano de 2015

<sup>d</sup> Insumos: produtos de higienização; ingredientes (sal, cloreto de cálcio, coalho bovino e fermento lácteo) e embalagens

## APÊNDICE 5 – Inventário para produção de 1 FPCM - sistema extensivo

CRIAÇÃO DE ANIMAIS					
Fluxos elementares	Quantidade	Unidade	Método <sup>a</sup>	Fonte	Variância ( $\sigma^2$ )
<b>ENTRADA</b>					
Área de pastagem	1,5 x 10 <sup>-3</sup>	ha	Verificado	Dados da pesquisa	0,0102
- Pastagem orgânica	3,08 x 10 <sup>-5</sup>	kg	Estimado	Dados da pesquisa	0,429
Produção de mineral					
- Sal	0,088	kg	Estimado	Marques (2000)	0,0507
- Embalagem (PP)	2,5 x 10 <sup>-3</sup>	kg	Estimado	Marques (2000)	0,0507
- Energia elétrica	1,27 x 10 <sup>-2</sup>	kWh	Estimado	Marques (2000)	0,0507
Água (rio ou riacho)	0,016	L	Estimado	DRD (2003)	0,0581
Medicamentos homeopáticos <sup>b</sup>					
- Açúcar cristal	2,9 x 10 <sup>-3</sup>	kg	Estimado	UFV (2009)	0,0261
- Álcool etílico 70%	4,8 x 10 <sup>-5</sup>	kg	Estimado	UFV (2009)	0,0261
<b>SAÍDAS</b>					
Emissões					
CH <sub>4</sub> (Entérico)	0,155	kg CH <sub>4</sub> /ano	Estimado	Dados da pesquisa	0,0120
CH <sub>4</sub> (Dejetos)	1,81 x 10 <sup>-3</sup>	kg CH <sub>4</sub> /ano	Estimado	Dados da pesquisa	0,0120
N <sub>2</sub> O (Diretas)	2,26 x 10 <sup>-3</sup>	kg N <sub>2</sub> O/ano	Estimado	Dados da pesquisa	0,0440
N <sub>l</sub> (lixiviação)	2,26 x 10 <sup>-4</sup>	kg N <sub>2</sub> O/ano	Estimado	Dados da pesquisa	0,0440
N <sub>v</sub> (volatilização)	2,54 x 10 <sup>-4</sup>	kg N <sub>2</sub> O/ano	Estimado	Dados da pesquisa	0,0440
<b>ORDENHA E ARMAZENAMENTO DO LEITE</b>					
<b>ENTRADAS</b>					
Água	3,50	L	Estimado	Carvalho et al (2011)	0,0429
Energia elétrica	0,0437	kWh	Estimado	Migliavacca (2015)	0,0807
Toalha de papel	2,34 x 10 <sup>-4</sup>	kg	Estimado	Calculado	0,0413
Agentes de limpeza					
- Ácido paracético	4,92 x 10 <sup>-4</sup>	kg	Estimado	Site específico <sup>c</sup>	0,1301
- Detergente neutro	2,73 x 10 <sup>-4</sup>	kg	Estimado	Site específico <sup>c</sup>	0,1301
- Desinfetante iodado	3,34 x 10 <sup>-4</sup>	kg	Estimado	Site específico <sup>c</sup>	0,1301
- Desinfetante clorado	1,03 x 10 <sup>-3</sup>	kg	Estimado	Site específico <sup>c</sup>	0,1301
- Desinfetante ácido	1,12 x 10 <sup>-4</sup>	kg	Estimado	Site específico <sup>c</sup>	0,1301
<b>SAÍDAS</b>					
Água residual	3,50	L	Estimado	-	0,1292
Animais descartados	0,0226	kg	Estimado	Skidmore (2005)	0,1766
Transporte de insumos	1,32 x 10 <sup>-4</sup>	t/km	Estimado	Dados da pesquisa	0,0102

<sup>a</sup> Método de obtenção dos dados. **Estimado**: são dados obtidos com base em afirmações de especialistas da área e reproduzidos e/ou extrapolados em um horizonte de um ano ou ainda com base na literatura (referenciados); **Verificado**: são dados que fazem parte dos registros de produção do estabelecimento e que foram considerados para realização dos cálculos.

<sup>b</sup> Em decorrência dos critérios de corte (< 1% da massa total do produto principal), não foram considerados as demais composições.

<sup>c</sup> www.delaval.com.br

APÊNDICE 6 – Estimativas de dados do inventário para fabricação de 1 kg de bebida láctea  
(densidade: 1,028 g/mL)

Fluxos elementares	Quantidade	Unidade	Método <sup>a</sup>	Fonte	Variância ( $\sigma^2$ )
<b>ENTRADA</b>					
Soro de queijo/leite	0,1542	kg	Estimado	Carvalho (2007) <sup>b</sup>	0,0220
Leite de búfala <sup>c</sup>	0,1542	kg	Estimado	Carvalho (2007)	0,1326
Açúcar cristal	0,07238	kg	Estimado	Carvalho (2007)	0,1326
Sorbato de potássio	3,1E-04	kg	Estimado	Carvalho (2007)	0,0206
Energia elétrica	1,44E-03	kWh	Estimado	Carvalho et al. (2011)	0,0600
Água	2,22	L	Estimado	Adaptado de Figueiredo (2014)	0,0886
Energia térmica <sup>d</sup>	0,258	MJ	Estimado	Dados da pesquisa	0,0106
Filme de polietileno	0,013	kg	Verificado	Site específico <sup>1</sup>	0,0087
Agentes de limpeza					
<i>Detergente ácido</i>	4,9E-07	kg	Estimado	Adaptado de Figueiredo (2014)	0,0886
<i>Detergente neutro</i>	2,73E-7	kg	Estimado	Adaptado de Figueiredo (2014)	0,0886
<i>Desinfetante clorado</i>	7,53E-07	kg	Estimado	Adaptado de Figueiredo (2014)	0,0886
<b>SAÍDAS</b>					
Bebida láctea	1,0	kg	-	-	-
Água residual	2,22	L	Estimado	-	0,0086
Cinzas <sup>d</sup>	2,61 x 10 <sup>-4</sup>	kg	Estimado	Dados da pesquisa	0,0106
Carvão <sup>d</sup>	5,0 x 10 <sup>-4</sup>	kg	Estimado	Dados da pesquisa	0,0106
Fuligem <sup>d</sup>	4,0 x 10 <sup>-5</sup>	kg	Estimado	Dados da pesquisa	0,0106

Fonte: Dados da pesquisa

<sup>a</sup>Método de obtenção dos dados. **Estimado:** são medidas obtidas com base em afirmações de colaboradores do setor de produção e reproduzidos e/ou extrapolados para um horizonte de um ano ou ainda de valores estimados considerando experiências de medições em pequena escala realizadas no local ou com base na literatura (referenciados); **Verificado:** são dados específicos de indústrias que fornecem matéria-prima e insumos.

<sup>b</sup>Dados obtidos de material científico denominado “dossiê técnico”, um publicação cujo objetivo é disseminar informações com maior valor agregado. Estes materiais abordam de forma abrangente diversos aspectos de natureza tecnológica sobre um determinado tema que possam promover melhorias junto às Micro e Pequenas Empresas (MPes) ou com a função de alerta/antecipação de suas necessidades”.

<sup>c</sup> Para a modelagem da produção de bebida não foi incluso o leite por que o objetivo era saber os impactos da produção. Mesmo assim, optou-se por elencar esta matéria-prima no inventário da bebida láctea.

<sup>d</sup> Os dados foram baseados em relatos de experiências de profissionais da área

<sup>1</sup><http://www.jpreambalagem.com.br>

## APÊNDICE 7 – Fatores de concentração do leite bubalino.

	Sólidos do leite (%)	kg de sólidos do leite por kg do leite cru bubalino	Fator de concentração do leite bubalino
Leite cru bubalino	9,86	102	1.0
Queijo mozzarella	51,4 <sup>1</sup>	531	5.2
Manteiga	81,7 <sup>2</sup>	843	8,2
Ricota fresca	21 <sup>3</sup>	217	2.1

<sup>1</sup> Os sólidos do leite equivale ao valor do estrato seco total do queijo (52%) menos aproximadamente 0,6% de sal adicionado

<sup>2</sup> Os sólidos do leite equivale ao valor do estrato seco total da manteiga (82,0%) menos aproximadamente 0,3% de sal adicionado

<sup>3</sup> Os sólidos do leite equivale ao teor médio de gordura (5,0%) mais o teor médio de proteína (16%).

OBS: Densidade relativa do leite de búfala (1,0327 g/mL 15°C)

## APÊNDICE 8 – Alocação físico-química de entradas e saídas para os derivados lácteos

Leite cru					
	Fator de alocação <sup>14</sup>	Produto (kg)	% Alocação	Leite (kg)	Fator de concentração
Queijo mozzarella	0,64	10.759,04	43,0	89.098,3	5.2
Manteiga	0,87	312,33	37,0	2.943,5	8,2
Ricota <sup>1</sup>	0,14	156,24	20,0	2.790,0	2.5
<b>Total</b>			<b>100</b>		

<sup>1</sup> O fator de alocação foi adaptado para o creme (cream), conforme consta na Tabela 1 (Feits et al. 2007).

Energia elétrica					
	Fator de alocação	Produto (kg)	% Alocação	Leite (kg)	Fator de concentração
Queijo mozzarella	0,57	9.582,3	52,0	89.098,3	5.3
Manteiga	0,36	129,2	21,0	2.943,8	8,2
Ricota	0,14	156,24	27,0	2.790,0	2.5
<b>Total</b>			<b>100</b>		

Energia térmica					
	Fator de alocação	Produto (kg)	% Alocação	Leite (kg)	Fator de concentração
Queijo mozzarella	0,1	16.811,0	91,3	89.098,3	5.3
Manteiga	0,05	17,95	2,9	2943,8	8,2
Ricota	0,03	33,48	5,8	2.790,0	2.5
<b>Total</b>			<b>100</b>		

<sup>14</sup> Valores do fator de alocação utilizado conforme preconizado pelo IDF (2010).

## APÊNDICE 8 – Alocação físico-química de entradas e saídas para os derivados lácteos

Água tratada					
	Fator de alocação	Produto (kg)	% Alocação	Leite (kg)	Fator de concentração
Queijo mozzarella	1,4	23.535,4	71,0	89.098,3	5,3
Manteiga	0,40	143,6	13,0	2943,8	8,2
Ricota	0,15	167,4	16,0	2.790,0	2,5
<b>Total</b>			<b>100</b>		
Água residual					
	Fator de alocação	Produto (kg)	% Alocação	Leite (kg)	Fator de concentração
Queijo mozzarella	1,4	23.535,4	71,0	89.098,3	5,3
Manteiga	0,40	143,6	13,0	2943,8	8,2
Ricota	0,15	167,4	16,0	2.790,0	2,5
<b>Total</b>			<b>100</b>		
Desinfetantes alcalinos					
	Fator de alocação	Produto (kg)	% Alocação	Leite (kg)	Fator de concentração
Queijo mozzarella	0,70	11.767,7	75,0	89.098,3	5,3
Manteiga	0,10	35,90	7,0	2943,8	8,2
Ricota	0,08	89,28	18,0	2.790,0	2,5
<b>Total</b>			<b>100</b>		
Desinfetantes ácidos					
	Fator de alocação	Produto (kg)	% Alocação	Leite (kg)	Fator de concentração
Queijo mozzarella	1,0	16.811,00	74,4	89.098,3	5,3
Manteiga	0,5	179,5	24	2943,8	8,2
Ricota	0,01	11,16	1,6	2.790,0	2,5
<b>Total</b>			<b>100</b>		
Transporte do leite					
	Fator de alocação	Produto (kg)	% Alocação	Leite (kg)	Fator de concentração
Queijo mozzarella	0,64	10.759,04	29,0	89.098,3	5,3
Manteiga	0,88	315,92	26,0	2943,8	8,2
Ricota	0,47	524,52	45,00	2.790,0	2,5
<b>Total</b>			<b>100</b>		

## APÊNDICE 9 – Processos selecionados no software SimaPro® para os produtos lácteos

FLUXOS ELEMENTARES DE ENTRADA E SAÍDA		PROCESSO	BASE DE DADOS
Leite cru - orgânico		Produção de leite bubalino	Modelagem do autor
Produtos de higienização	Ácidonítrico	Nitric acid, without water, in 50% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Hidróxido de sódio	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Hipoclorito de sódio	Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Detergente alcanino	Alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Ácido paracético	Acetic acid, without water, in 98% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Transporte - leite cru		Delivery van <3.5t	LCA food DK
Transporte - insumos		Transport, truck 10-20t, EURO5, 100%LF, default/GLO Mass	Agri-footprint
Água		Tap water {RoW}  tap water production, conventional treatment   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Energia elétrica		Electricity, low voltage {BR}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Soro	Coproduto	Whey {GLO}  cheese production, soft, from cow milk   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Embalagens	Termoencolhível	Packaging film, low density polyethylene {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Caixa de papelão ondulado	Corrugated board box {GLO}  market for corrugated board box   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Nylon	Nylon	LCA Food DK
	Potes de polipropileno	Polypropylene resin, at plant/RNA	USLCI
Leitelho (buttermilk)		Buttermilk, from cow milk {GLO}  buttermilk, cow milk to generic market for protein feed  Conseq, U	Ecoinvent 3
Leite desnatado		Skimmed milk, from dairy	LCA Food DK
Soro residual	Alimentação animal	Animal feed production (low protein)	LCA Food DK
Ingredientes	Cloreto de sódio	Sodium chloride, production mix, at plant, dissolved RER System – Copied from ELCD	Agri-footprint
	Cloreto de calico	Calcium chloride, CaCl <sub>2</sub> , at plant/RER S	Ecoinvent
Energia térmica	Madeira	Heat, onsite boiler, hardwood mill, average, SE/MJ/RNA	USLCI
	Cinza	Wood waste	-
	Carvão	Coal tailings	-
	Fuligem	Soot	-
Frasco em polietileno		Carton waste	-
Água residual <sup>a</sup>		Wastewater from potato starch production {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3

<sup>a</sup><http://www.ecoinvent.org/database>. Obs: Não foram encontrados os itens: coalho e fermento lácteo (cultura de arranque). Por outro lado, em decorrência dos critérios de corte (< 1% da massa total do produto principal), não foi incluído o coalho e o fermento no inventário.

## APÊNDICE 10 – Processos selecionados no software SimaPro® para produção de leite bubalino

FLUXOS ELEMENTARES		PROCESSO	BASE DE DADOS
Água (rio e riacho)	Dessedentação animal	Water, unspecified natural origin, BR	Sem especificação
Cultivo de pastagem	Sistema extensivo	Ocupation, grassland, for livestock grazing	Sem especificação
Sal mineral	Composição	Calcium	Sem especificação
		Phosphorus	Sem especificação
		Sulfur	Sem especificação
		Cobalt	Sem especificação
		Copper	Sem especificação
		Iron	Sem especificação
		Iodine	Sem especificação
		Manganese	Sem especificação
		Selenium	Sem especificação
		Zinc	Sem especificação
		Fluorine	Sem especificação
		Sodium	Sem especificação
		Sodium chloride	Sem especificação
		Kaolin ore	Sem especificação
		Polypropylene resin, at plant/RNA	USLCI
		Electricity, medium voltage {BR}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Medicamentos homeopáticos	Álcool	Ethanol, from ethene, at plant/RER Mass	Agri-footprint
	Açúcar	Sugar, from sugar cane {GLO}  market for   AllocDef, U	Ecoinvent 3
Emissões de GEE	Para o ar	Methane, biogenic	Sem especificação
		Dinitrogen monoxide	Sem especificação
	Para a água	Dinitrogen monoxide	Sem especificação
	Para o solo	Dinitrogen monoxide	Sem especificação
Água tratada		Tap water {RoW}  tap water production, conventional treatment   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Toalha de papel		Tissue paper {GLO}  production, virgin   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Produtos químicos	Desinfetante Iodado	Iodine {GLO}  market for Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Detergente neutro	Alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Desencrustante alcalino clorado	Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Desencrustante a base de ácido nítrico	Nitric acid, without water, in 50% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Sanitizante a base de ácido paracético	Acetic acid, without water, in 98% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3

## APÊNDICE 11 – Processos utilizados no software SimaPro® para a bebida láctea

FLUXOS ELEMENTARES		PROCESSO	BASE DE DADOS
Leite cru - orgânico		Produção de leite bubalino	Modelagem do autor
Açúcar cristal		Sugar, from sugar cane {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Embalagem		Polypropylene low density granulate (PE-LD), production mix, at plant RER	ELCD
Ácido cítrico		Citric acid {GLO}  market for   AllocDef, U	Ecoinvent 3
Agentes de limpeza	Detergente neutro	Alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Desencrustante alcalino clorado	Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {GLO}  market for   AllocDef, U	Ecoinvent 3
	Desencrustante a base de ácido nítrico	Nitric acid, without water, in 50% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Água tratada		Tap water {RoW}  tap water production, conventional treatment   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Energia elétrica		Electricity, low voltage {BR}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3

APÊNDICE 12 – Resultado da avaliação de impactos da unidade de processo: criação dos animais.

	CATEGORIA DE IMPACTO*					
	MC	DO	AT	EAD	OTA	DA
	kg CO <sub>2eq</sub>	kg CFC-11 <sub>eq</sub>	kg CO <sub>2eq</sub>	kgP <sub>eq</sub>	M <sup>2</sup> a	m <sup>3</sup>
Fabricação de sal mineral	3,39E-04	7,91E-12	4,44E-06	3,94E-09	7,19E-05	1,85E-05
Fabricação de medicamentos homeopáticos	6,57E-04	6,21E-11	1,15E-05	2,00E-07	1,67E-03	2,68E-04
Cultivo de pastagem	7,92E-05	6,55E-12	4,50E-06	3,12E-08	1,34E-03	2,43E-07
Emissões de GEE**	2,49	x	x	x	x	x
						1,02E-02 <sup>1</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>2,49</b>	<b>7,65E-11</b>	<b>2,04E-5</b>	<b>2,35E-07</b>	<b>3,08E-03</b>	<b>1,02E-2</b>

\* MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Potencial de acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, OTA = Ocupação de terras agrícolas, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

\*\* Gases de efeito estufa (GEE)

<sup>1</sup>Valor referente a dessedentação animal

APÊNDICE 13 – Resultado da avaliação de impactos da unidade de processo: ordenha e armazenamento do leite.

Unidades de processo	MC	DO	AT	EAD	OTA	DA	DF
	kg CO <sub>2eq</sub>	kg CFC-11 <sub>eq</sub>	kg CO <sub>2eq</sub>	kgP <sub>eq</sub>	M <sup>2</sup> a	m <sup>3</sup>	kg oil <sub>eq</sub>
Desinfetante iodado	1,73E-03	2,94E-10	7,10E-06	3,40E-08	1,43E-05	9,17E-06	5,06E-04
Água tratada	1,17E-03	8,02E-11	7,81E-06	5,05E-08	6,42E-06	2,82E-03	3,12E-04
Toalha de papel descartável	1,01E-03	8,02E-11	6,94E-06	1,18E-07	1,73E-03	1,30E-05	2,48E-04
Detergente neutro	4,39E-04	5,93E-11	2,52E-06	1,29E-08	1,57E-05	5,55E-06	3,50E-04
Desencrustante alcalino clorado	8,89E-04	4,55E-10	5,31E-06	3,60E-08	3,05E-05	2,25E-05	2,38E-04
Desencrustante a base de ácido nítrico	3,58E-04	1,27E-11	1,41E-06	3,75E-10	2,53E-07	1,95E-06	3,23E-05
Sanitizante a base de ácido paracético	7,31E-04	1,69E10	4,82E-06	2,68E-08	2,15E-05	2,05E-05	4,84E-04
Energia elétrica	9,16E-03	4,22E-10	2,74E-05	2,11E-07	2,09E-05	9,89E-04	1,34E-03
<b>TOTAL</b>	<b>1,44E-02</b>	<b>1,36E-09</b>	<b>5,76E-05</b>	<b>4,43E-07</b>	<b>4,61E-05</b>	<b>3,87E-03</b>	<b>3,14E-03</b>

MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Potencial de acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

\*

## APÊNDICE 14 – Resultado da avaliação de impactos do queijo mozzarella, utilizando a alocação econômica.

Unidades de processo	CATEGORIA DE IMPACTO*							
	MC	DO	AT	EAD	FOF	FMP	DA	DF
	kg CO <sub>2</sub> eq	kg CFC-11 <sub>eq</sub>	kg CO <sub>2</sub> eq	kgP <sub>eq</sub>	kg NMVOC	kg PM10 <sub>eq</sub>	m <sup>3</sup>	Kg oil <sub>eq</sub>
Caldeira	2,26E-03	1,49E-10	1,41E-5	9,24E-08	7,01E-06	5,29E-06	4,87E-3	5,73E-04
Recepção de leite	2,02E-03	2,45E-10	1,20E-05	6,50E-08	8,80E-06	4,51E-06	1,00E-3	1,39E-03
Pasteurização do leite	2,26E-02	4,99E-09	1,31E-04	8,32E-07	6,70E-05	4,76E-05	2,72E-02	5,24E-03
Fermentação do leite	3,32E-04	1,71E-11	3,50E-06	2,80E-08	1,09E-06	9,04E-07	1,35E-05	7,70E-05
Filagem e moldagem do queijo	1,10E-03	1,39E-10	6,46E-06	3,42E-08	4,92E-06	2,43E-06	3,48E-4	8,04E-04
Salmoura do queijo (água e sal)	1,88E-03	3,48E-13	1,12E-05	8,11E-09	6,63E-06	6,82E-06	3,98E-05	4,53E-04
Embalagem	5,88E-03	2,86E-10	2,58E-05	1,79E-07	2,15E-05	9,01E-06	1,13E-4	2,60E-03
Câmara de refrigeração (estoque)	0,193	8,91E-09	5,78E-04	4,44E-06	3,93E-04	2,80E-04	2,08E-02	2,32E-03
Higienização da fábrica	3,71E-03	8,77E-10	2,22E-05	1,26E-07	1,58E-05	8,11E-06	5,58E-04	8,26E-05
Câmara de refrigeração (secagem)	0,145	6,68E-09	4,34E-04	3,33E-06	2,95E-04	2,10E-04	1,56E-02	6,91E-07
Transporte do leite	2,09E-06	2,75E-12	1,10E-08	5,06E-12	3,19E-08	3,99E-09	1,37E-08	2,13E-02
Transporte de insumos	2,57E-04	5,26E-13	1,18E-06	8,29E-10	2,01E-06	4,89E-07	2,33E-08	2,84E-02
<b>FÁBRICA DE LATICÍNIOS</b>	<b>2,88</b>	<b>3,51E-8</b>	<b>9,37E-4</b>	<b>2,02E-5</b>	<b>1,56E-3</b>	<b>3,0E-4</b>	<b>2,51E-2</b>	<b>5,26E-2</b>

\* MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Potencial de acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

APÊNDICE 15 – Resultado da avaliação de impactos do queijo mozzarella, utilizando a alocação físico-química.

Unidades de processo	CATEGORIA DE IMPACTO*							
	MC	DO	AT	EAD	FOF	FMP	DA	DF
	kg CO <sub>2eq</sub>	kg CFC-11 <sub>eq</sub>	kg CO <sub>2eq</sub>	kgP <sub>eq</sub>	kg NMVOC	kg PM10 <sub>eq</sub>	m <sup>3</sup>	kg oil <sub>eq</sub>
Caldeira (lenha e água)	7,67E-04	4,66E-11	4,15E-06	2,78E-08	2,16E-06	1,62E-06	1,24E-03	1,73E-04
Recepção da leite	5,58E-02	7,35E-09	3,22E-04	1,67E-06	2,55E-04	1,22E-04	7,05E-03	4,31E-02
Pasteurização do leite	2,26E-02	4,99E-09	1,31E-04	8,31E-07	6,70E-05	4,76E-05	2,72E-02	5,24E-03
Fermentação do leite	3,42E-04	1,71E-11	3,50E-06	2,80E-08	1,09E-06	9,04E-07	1,35E-05	7,70E-05
Filagem e moldagem do queijo	3,40E-02	4,54E-09	1,96E-04	1,01E-06	1,57E-04	7,44E-05	2,54E-03	2,67E-02
Salmoura do queijo (água e sal)	1,90E-03	1,96E-12	1,14E-05	9,13E-09	6,71E-06	6,88E-06	9,68E-05	4,59E-04
Embalagem	5,65E-02	2,62E-09	1,77E-04	1,34E-06	1,24E-04	8,23E-05	5,59E-03	9,99E-03
Câmara de refrigeração (estoque)	0,197	9,11E-09	5,91E-04	4,54E-06	4,02E-04	2,86E-04	2,13E-02	2,90E-02
Higienização da fábrica	3,86E-03	9,13E-10	2,31E-05	1,31E-07	1,64E-05	8,43E-06	5,81E-04	2,41E-03
Câmara de refrigeração (secagem)	0,148	6,83E-09	4,43E-04	3,41E-06	3,01E-04	3,14E-04	1,60E-02	2,17E-02
Transporte do leite	2,53E-06	3,35E-12	1,34E-08	6,15E-12	3,87E-08	4,84E-09	1,66E-08	8,39E-07
Transporte de insumos	9,81E-04	2,01E-12	4,50E-06	3,17E-09	7,67E-06	1,87E-06	8,88E-08	3,15E-04

\* MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Potencial de acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

## APÊNDICE 16 – Resultado da avaliação de impactos da ricota fresca, utilizando a alocação econômica.

Unidades de processo**	CATEGORIA DE IMPACTO*							
	MC	DO	AT	EAD	FOF	FMP	DA	DF
	kg CO <sub>2eq</sub>	kg CFC-11 <sub>eq</sub>	kg CO <sub>2eq</sub>	kgP <sub>eq</sub>	kg NMVOC	kg PM10 <sub>eq</sub>	m <sup>3</sup>	Kg oil <sub>eq</sub>
Sala de embalagens	3,64E-02	1,45E-08	5,18E-04	1,28E-07	1,51E-04	1,17E-04	6,01E-04	2,78E-02
Câmara de refrigeração (estoque)	0,114	5,29E-09	3,43E-04	2,64E-06	2,33E-04	1,66E-04	1,23E-02	1,68E-02
Higienização da fábrica	1,46E-04	3,46E-11	8,74E-07	4,97E-09	6,23E-07	3,20E-07	2,20E-05	9,14E-05
Câmara de refrigeração (secagem)	0,188	8,05E-09	5,08E-04	4,00E-06	3,37E-04	2,40E-04	1,91E-02	2,60E-02
Transporte do leite	1,98E-04	2,63E-10	1,05E-06	4,83E-10	3,04E-06	3,80E-07	1,30E-06	6,59E-05
Transporte de insumos	7,24E-04	1,48E-12	3,32E-06	2,34E-09	5,66E-06	1,38E-06	6,55E-08	2,32E-04
<b>FÁBRICA DE LATICÍNIOS</b>	<b>9,03E-2</b>	<b>1,89E-8</b>	<b>6,99E-4</b>	<b>1,05E-5</b>	<b>2,89E-4</b>	<b>1,98E-4</b>	<b>5,82E-3</b>	<b>3,95E-2</b>

\* MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Potencial de acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

\*\* Não foram incluídas as unidades de processo: Caldeira, recepção do leite e pasteurização do leite em decorrência da baixa (<1%) representação das referidas unidades de processo para a fabricação da ricota.

## APÊNDICE 17 – Resultado da avaliação de impactos da ricota fresca, utilizando a alocação físico-química.

Unidades de processo**	CATEGORIA DE IMPACTO*							
	MC	DO	AT	EAD	FOF	FMP	DA	DF
	kg CO <sub>2eq</sub>	kg CFC-11 <sub>eq</sub>	kg CO <sub>2eq</sub>	kgP <sub>eq</sub>	kg NMVOC	kg PM10 <sub>eq</sub>	m <sup>3</sup>	Kg oil <sub>eq</sub>
Sala de embalagens	1,74E-03	8,10E-11	5,48E-06	4,15E-08	3,84E-06	2,55E-06	1,73E-04	3,09E-04
Câmara de refrigeração (estoque)								
Higienização da fábrica	2,74E-05	6,48E-12	1,64E-07	9,30E-10	1,17E-07	5,98E-08	4,12E-06	1,71E-05
Câmara de refrigeração (secagem)	6,63E-02	2,84E-09	1,79E-04	1,41E-06	1,18E-04	8,49E-05	6,75E-03	9,18E-03
Transporte do leite	1,08E-04	1,44E-10	5,74E-07	2,64E-10	1,66E-06	2,08E-07	7,12E-07	3,60E-05
Transporte de insumos	4,22E-05	8,63E-14	1,93E-07	1,36E-10	3,30E-07	8,01E-08	3,81E-09	1,36E-05
<b>FÁBRICA DE LATICÍNIOS</b>	<b>0,152</b>	<b>6,93E-09</b>	<b>4,36E-04</b>	<b>3,38E-06</b>	<b>2,95E-04</b>	<b>2,09E-04</b>	<b>1,59E-02</b>	<b>2,18E-02</b>

\* MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Potencial de acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

## APÊNDICE 18 – Resultado da avaliação de impactos da manteiga, utilizando a alocação econômica.

Unidades de processo	CATEGORIA DE IMPACTO*							
	MC	DO	AT	EAD	FOF	FMP	DA	DF
	kg CO <sub>2eq</sub>	kg CFC-11 <sub>eq</sub>	kg CO <sub>2eq</sub>	kgP <sub>eq</sub>	kg NMVOC	kg PM10 <sub>eq</sub>	m <sup>3</sup>	Kg oil <sub>eq</sub>
Embalagem (PP)	1,68E-02	2,06E-11	3,88E-04	1,39E-08	8,65E-05	8,25E-05	1,87E-06	2,25E-02
Batedeira de manteiga	1,56E-02	8,05E-10	5,36E-05	3,91E-07	3,48E-05	2,46E-05	4,94E-03	2,74E-03
Desnate do leite	6,58E-02	8,87E-09	3,78E-04	1,93E-06	3,05E-04	1,43E-04	1,30E-03	5,24E-02
Higienização da fábrica	5,25E-05	1,24E-11	3,13E-07	1,78E-09	2,23E-07	1,15E-07	7,89E-06	3,28E-05
Câmara de refrigeração (secagem)**	0,101	4,33E-09	2,73E-04	2,15E-06	1,81E-04	1,29E-04	1,02E-02	1,39E-02
Câmara de refrigeração (estoque)	0,127	5,89E-09	3,84E-04	2,94E-06	2,60E-04	1,85E-04	1,38E-02	1,88E-02
Transporte de insumos	7,25E-05	1,48E-13	3,32E-07	2,34E-10	5,66E-07	1,38E-07	6,55E-09	2,33E-05
Transporte do leite	4,33E-07	5,71E-13	2,28E-09	1,05E-12	6,61E-09	8,27E-10	2,84E-09	1,43E-07
<b>FÁBRICA DE LATICÍNIOS</b>	<b>0,327</b>	<b>1,99E-08</b>	<b>1,47E-03</b>	<b>7,43E-06</b>	<b>8,68E-04</b>	<b>5,65E-04</b>	<b>3,03E-02</b>	<b>0,110</b>

\* MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Potencial de acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

\*\* Foi incluso a câmara de refrigeração (secagem do queijo) por que o creme de leite permanecia nesta até ser utilizado.

## APÊNDICE 19 – Resultado da avaliação de impactos da bebida láctea (Alocação 100%).

Unidades de processo	CATEGORIA DE IMPACTO*							
	MC	DO	AT	EAD	FOF	FMP	DA	DF
	kg CO <sub>2</sub> eq	kg CFC-11 <sub>eq</sub>	kg CO <sub>2</sub> eq	kgP <sub>eq</sub>	kg NMVOC	kg PM10 <sub>eq</sub>	m <sup>3</sup>	kg oil <sub>eq</sub>
Açúcar	2,18E-02	2,24E-09	4,14E-04	5,50E-06	7,74E-04	1,31E-04	9,77E-03	1,40E-04
Ácido cítrico	2,49E-03	4,50E-10	1,74E-05	2,07E-07	8,18E-06	5,57E-06	1,26E-04	1,47E-04
Água tratada	8,74E-04	5,97E-11	5,81E-06	3,76E-08	2,82E-06	2,14E-06	2,10E-03	1,15E-05
Embalagem de polipropileno (PP)	2,54E-02	0	8,69E-05	1,16E-08	1,10E-04	3,08E-05	4,08E-04	1,21E-05
Detergente neutro	4,11E-07	5,55E-14	2,36E-09	1,20E-11	1,91E-09	8,94E-10	5,19E-09	2,89E-09
Desinfetante clorado	6,01E-07	3,15E-13	3,61E-09	2,49E-11	2,06E-09	1,32E-09	1,54E-08	2,92E-09
Desinfetante ácido	1,46E-07	5,21E-15	5,76E-10	1,53E-13	2,92E-10	1,38E-10	7,99E-10	1,42E-10
Desnate do leite	7,73E-02	1,04E-08	4,44E-04	2,27E-06	3,58E-04	1,68E-04	1,52E-03	5,45E-04
Higienização da fábrica	1,25E-03	2,98E-10	7,52E-06	4,27E-08	5,36E-06	2,75E-06	1,89E-04	8,92E-06
Empacotadeira	3,54E-04	1,63E-11	1,06E-06	8,15E-09	7,22E-07	5,13E-07	3,83E-05	6,22E-06
Câmara de refrigeração	1,84E-02	7,91E-10	5,00E-05	3,93E-07	3,31E-05	2,37E-05	1,81E-03	8,87E-06

\* MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Potencial de acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

Obs: A energia térmica contribuiu com menos de <1% em todas as categorias de impactos utilizadas

APÊNDICE 20 – Resultado da avaliação de impactos da unidade de processo pasteurização.

Unidades de processo	CATEGORIA DE IMPACTO*							
	MC	DO	AT	EAD	FOF	FMP	DA	DF
	kg CO <sub>2eq</sub>	kg CFC-11 <sub>eq</sub>	kg CO <sub>2eq</sub>	kgP <sub>eq</sub>	kg NMVOC	kg PM10 <sub>eq</sub>	m <sup>3</sup>	Kg oil <sub>eq</sub>
Pasteurização s/ Torre	1,17E-02	7,94E-10	7,68E-05	4,98E-07	3,74E-05	2,83E-05	2,75E-02	1,55E-04
Pasteurização c/ Torre	3,93E-02	1,81E-09	1,18E-04	9,05E-07	8,01E-05	5,70E-05	4,47E-03	6,88E-04

\* MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção de ozônio, AT = Potencial de acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

*Obs. Estão inclusos na modelagem todos os fluxos elementares da unidade de processo pasteurização do leite. Para saber quais fluxos foram inclusos, consulte o Apêndice 04.*

## APÊNDICE 21 – Considerações para os cálculos das emissões

### CONSIDERAÇÕES PARA OS CÁLCULOS DE EMISSÕES DE METANO DECORRENTES DA FERMENTAÇÃO ENTÉRICA DOS BUBALINOS E DO MANEJO DOS DEJETOS

#### I. Energia bruta (GE)

Para realização das estimativas de emissões de gás metano e de óxido nitroso, foi necessário obter os cálculos de energia bruta requerida (GE), em megajoules por dia (MJ/d). Este tipo de energia é a que o animal necessita para o crescimento ( $NE_g$ ), manutenção ( $NE_m$ ), lactação ( $NE_l$ ), prenhes ( $NE_p$ ) e atividade ( $NE_a$ ).

Antes disso, o guia de Emissões da Pecuária e Gestão de estrume IPCC (2006) recomenda que a população animal seja dividida em subcategorias, relativamente homogêneas, a fim de refletir as variações específicas.

Tabela 16 – Definição para subcategorias do gado bubalino leiteiro

Principais categorias	Subcategorias
Búfalos leiteiros adultos	Búfalas lactantes de alta ou baixa produção de leite que tenham parido pelo menos uma vez.
Demais búfalos adultos e/ou secos (não leiteiros)	Búfalos utilizados para prole ou para carne; búfalos utilizados para reprodução e para fins de tração animal.
Búfalos em crescimento	Bezerros de pré-desmame e pós-desmame; novilhas prenhas; búfalos de engorda/crescimento;

Fonte: IPCC (2009)

Em seguida, a simulação da composição do rebanho bubalino (Tabela 17) foi dividida em subcategorias, baseando-se no estudo de Pirlo et al. (2014b).

Tabela 17 – Classificação do rebanho bubalino

Categorias dos animais	Subcategoria	Peso vivo (kg)	Quantidade (n)
Búfalos leiteiros adultos	Búfalas lactantes	540-730 <sup>a</sup>	100
Búfalos adultos não leiteiros	Búfalas secas e búfalos de reprodução	540-730 <sup>a</sup>	27
Búfalos em crescimento	Novilhas prenhas	382-364 <sup>b</sup>	46
Búfalos em crescimento	Novilhas com < 2 anos	137-197 <sup>c</sup>	26
<b>Total</b>			<b>199</b>

Fonte: Adaptado de Pirlo et al. (2014b)

<sup>a</sup> Departamento de Governo Local e Regional da Austrália (DRD, 2003).

<sup>b</sup> Anjum et al., 2012

<sup>c</sup> Sikka et al., 1994

## II. Energia líquida requerida para o crescimento ( $NE_g$ )

O cálculo de  $NE_g$  considerou que o rebanho adulto é composto por animais adultos com um peso corporal médio (BW) de 500 kg e as fêmeas adultas em condição corporal moderada (MW) de 540 kg. As búfalas lactantes e secas e os búfalos de reprodução não foram atribuídos valor (zero), considerando que o ganho de peso seja insignificante. Para as novilhas prenhas e novilhas com menos de dois anos considerou-se o valor de 0,575 (kg/dia) para o ganho de peso médio diário (CAMARÃO, 1994).

$$NE_g = 22,02 \cdot \left( \frac{BW}{C \cdot MW} \right)^{0,75} \cdot WG^{1,097} \quad (07)$$

Onde:

$NE_g$  = Energia líquida para o crescimento (MJ/dia);

BW = Peso médio corporal dos animais (kg);

C = Coeficiente: 0,8 para fêmeas; 1,0 para machos e 1,2 para touros (NCR<sup>15</sup>);

MW = Peso vivo de uma fêmea adulta em condição corporal moderada (kg);

WG = Ganho de peso médio diário dos animais da população (kg/dia)

**III. Energia líquida requerida para a manutenção ( $NE_m$ ):** É a energia necessária para manter o animal.

$$NE_m = Cf_i \cdot (Weight)^{0,75} \quad (08)$$

Sendo:

$NE_m$  = Energia líquida requerida para a manutenção do animal (MJ/d);

$Cf_i$  = Coeficiente para cada grupo ou categorias de animais (MJ/dia. kg), conforme Tabela 18;

W = Peso vivo do animal em kg.

Tabela 18 – Coeficiente para cálculo de energia de manutenção

Categoria animal	$Cf_i$ (MJ/dia. kg)	Comentários
Búfalas lactantes	0,322	-
Búfalas secas e búfalos de reprodução	0,386	O valor é 20% maior para manutenção durante a lactação;
Novilhas prenhas	0,370	O valor é 15% maior para a manutenção dos machos.

Fonte: Adaptado do IPCC (2006).

<sup>15</sup>National Research Council (NRC). *Nutrient Requirements of Beef Cattle, 7th Revised Ed., Nat. Acad. Press, Washington., DC, 2001.*

**IV - Energia líquida para atividade ( $NE_a$ )** – Energia necessária pelos animais para, por exemplo, acessar a alimentação, consumir de água e procurar abrigo. Fundamenta-se nas atividades relacionadas a alimentação e não de características da própria alimentação.

$$NE_a = C_a \cdot NE_m \quad (09)$$

Onde:

$NE_a$  = Energia líquida para as atividades dos animais (MJ/d);

$C_a$  = Coeficiente relacionado à situação alimentar do animal (Tabela 19);

$NE_m$  = Energia líquida requerida pelo animal para a manutenção (MJ/d) (Eq. 08).

Tabela 19 – Coeficiente de atividade relacionadas à situação alimentar do animal

Condições	Características	Coeficiente adimensional ( $C_a$ )
Piquetes	Os animais são dispostos em uma pequena área (por exemplo, presos em baias), conseqüentemente, o rebanho gasta pouca ou nenhuma energia para adquirir alimentação.	0,0
Pastagem limitada	Os animais são confinados em áreas com forragem suficiente, exigindo gasto energético modesto para adquirir o alimento.	0,17
Pastagem livre	Animais pastam em terras abrangentes ou terreno montanhoso, com gasto significativo de energia para adquirir alimentos.	0,36

Fonte: Adaptado do IPCC (2006).

**V - Energia líquida para lactação ( $NE_l$ )** – Energia líquida requerida pela búfala para lactação expressa pela quantidade de leite produzido (kg/dia) e o teor médio de gordura, conforme Equação 10:

$$NE_l = \text{Leite} \cdot (1,47 + 0,40 \cdot \% \text{ Gordura}) \quad (10)$$

Onde:

$NE_l$  = Energia líquida para lactação (MJ/dia);

Leite = Quantidade de leite produzido (kg /dia);

% Gordura = Teor de gordura do leite em porcentagem média.

**VI - Energia líquida para prenhes (gravidez) ( $NE_p$ )** – Energia líquida necessária para as novilhas prenhas. A exigência total de energia para a gravidez por um período de gestação de 280 dias em média por um ano inteiro é calculado como 10% de  $NE_m$ . Foram calculados neste tipo de energia as búfalas lactante, secas e novilhas penhas (Equação 11):

$$NE_p = C_p \cdot NE_m \quad (11)$$

Sendo:

$NE_p$  = Energia líquida requerida para a prenhes (MJ/dia);

$C_p$  = Coeficiente de gravidez de 0,10;

$NE_m$  = Energia líquida requerida para a manutenção (MJ/d) (Eq. 08).

**VII - Razão de energia líquida disponível na dieta para manutenção (REM)** – É a fração de energia líquida disponível em uma dieta de manutenção de energia digestível consumida (Equação 12).

$$REM = \left[ 1,123 - (4,092 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + [1,126 \cdot 10^{-5} \cdot (DE\%)^2] - \left( \frac{25,4}{DE\%} \right) \right] \quad (12)$$

Sendo:

REM = Relação de energia líquida disponível em uma dieta de manutenção de energia digestível consumida

DE% = Energia digestível, expressa em percentagem da energia bruta, de acordo com a Tabela 20.

Tabela 20 – Digestibilidade para ruminantes em geral

<b>Categorias</b>	<b>Classe</b>	<b>Digestibilidade (DE %)</b>
Bovinos e outros ruminantes	Animais em confinamento alimentados com > 90% ração concentrada;	75 – 85%
	Animais alimentados a pasto;	55 – 75 %
	Animais alimentados com forragem de baixa qualidade.	45 – 55%

Fonte: Adaptado do IPCC (2006).

**VIII - Razão de energia líquida disponível para o crescimento (REG)**

Energia líquida disponível para o crescimento em uma dieta para energia digestível consumida (Equação 13).

$$REG = \left[ 1,164 - (5,160 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + [1,308 \cdot 10^{-5} \cdot (DE\%)^2] - \left( \frac{37,4}{DE\%} \right) \right] \quad (13)$$

Sendo:

REG = Relação de energia líquida disponível para o crescimento em uma dieta para energia digestível consumida;

DE% = Energia digestível, expressa em percentagem da energia bruta (Tabela 20).

### IX - Energia bruta requerida para o gado (GE)

Energia decorrente dos requisitos de energia líquida adicionada e das características de disponibilidade de energia do alimento dos animais

$$GE = \left[ \frac{\left( \frac{NE_m + NE_a + NE_l + NE_{Work} + NE_p}{REM} \right) + \left( \frac{NE_g}{REG} \right)}{\frac{DE \%}{100}} \right] \quad (14)$$

Sendo:

GE = Energia bruta (MJ/dia)

NE<sub>m</sub> = Energia líquida requerida pelo animal para a manutenção (MJ/dia) (Eq. 08).

NE<sub>a</sub> = Energia líquida para as atividades dos animais (MJ/dia) (Eq. 09).

NE<sub>l</sub> = Energia líquida para lactação (MJ/dia) (Eq. 10).

NE<sub>p</sub> = Energia líquida para a gravidez (MJ/dia) (Eq. 11).

NE<sub>g</sub> = Energia líquida para o crescimento (MJ/dia) (Eq. 07).

REM = Razão de energia líquida disponível na dieta para manutenção (Eq. 12).

REG = Razão de energia líquida disponível para o crescimento (Eq. 13).

DE%: Energia digestível expressa como uma porcentagem da energia bruta (Tab.20).

O cálculo do consumo de ração em quilograma de matéria seca (kg/dia) para cada subcategoria animal em unidade de energia para energia bruta (GE) é realizado pela divisão da GE pela densidade da energia da ração. O valor de 18,45 MJ/kg de matéria seca pode ser utilizado quando não se dispõe do valor específico do alimento (IPCC, 2006). Os cálculos devem considerar a ingestão diária de matéria seca na ordem de 2% a 3% do peso corporal dos ruminantes adultos ou em crescimento.

### X - Consumo de matéria seca (DMI)

O DMI foi calculado com base no peso vivo dos animais e na concentração estimada de acordo com a energia líquida da dieta (NE<sub>ma</sub>).

Tabela 21 – Valores de energia líquida da dieta (NE<sub>ma</sub>) para dietas alimentares dos ruminantes

<b>Tipo de dieta</b>	<b>NE<sub>ma</sub> (MJ/ kg de matéria seca)</b>
Dieta com alto teor de grãos > 90% ração concentrada;	7,5 – 8,5
Fornagem de alta qualidade (ex.: leguminosas e gramíneas)	6,5 – 7,5
Fornagem de qualidade moderada (ex.: leguminosas e gramíneas de meia estação)	5,5 – 6,5
Fornagem de baixa qualidade (ex: gramíneas velhas e palhas)	3,5 – 5,5

Fonte: Adaptado do IPCC (2006).

Foram calculados o consumo de matéria seca para crescimento e terminação de gado (Eq.14) para vacas leiteiras maduras conforme equações abaixo (Equação 14):

$$DMI = BW^{0,75} \cdot \left[ \frac{(0,2444 \cdot NE_{ma} - 0,0111 \cdot NE_{ma}^2 - 0,472)}{NE_{ma}} \right] \quad (15)$$

Sendo:

DMI= Consumo de matéria seca(kg/dia);

BW = Peso vivo em kg;

NE<sub>ma</sub> = Concentração estimada de energia líquida da dieta (MJ/kg), conforme Tabela 21.

Consumo de matéria seca (Equação 16).

$$DMI = \left[ \frac{\left( \frac{5,4 \cdot BW}{500} \right)}{\left( \frac{100 - DE\%}{100} \right)} \right] \quad (16)$$

Sendo:

DMI= Consumo de matéria seca (kg/dia);

BW = Peso vivo em kg;

DE% = Energia digestível expressa em porcentagem da energia bruta (conforme Tabela 20).

## EMISSÕES DE METANO PROVENIENTES DA FERMENTAÇÃO ENTÉRICA

De acordo com os grupos e subgrupos de animais definidos no estudo (Tabela 18), calculou-se as emissões com base na equação abaixo (Equação 17):

$$\text{Emissões} = EF_{(T)} \cdot \left( \frac{N_{(T)}}{10^6} \right) \quad (17)$$

Sendo:

Emissões = Emissões de metano decorrentes da fermentação entérica (Gg CH<sub>4</sub>/ano);

EF<sub>(T)</sub> = Fator de emissão para a população animal (kg CH<sub>4</sub>/cabeça x ano);

N<sub>(T)</sub> = Número de animais por categoria;

T = Categoria de animal.

Emissões para o rebanho total (Equação 18) :

$$\text{Total CH}_4 \text{ (Entérico)} = \sum_i E_i \quad (18)$$

Sendo:

Total CH<sub>4</sub> (Entérico) = Emissões totais de metano decorrentes da fermentação entérica (Gg CH<sub>4</sub>/ano);

E<sub>i</sub> = Emissões para as categorias e subcategorias de animais;

Em seguida, os fatores de emissão para a população animal (EF<sub>(T)</sub>) foram definidos para cada categoria animal, referente ao fator de ingestão de energia bruta para a categoria (Equação 19).

$$EF = \left[ \frac{GE \cdot \frac{Y_m}{100} \cdot 365}{55,65} \right] \quad (19)$$

Sendo:

EF = Fator de emissão para a população animal (kg CH<sub>4</sub>/cabeça . ano);

GE = Ingestão de energia bruta (MJ/cabeça . dia);

Y<sub>m</sub> = Fator de conversão de metano, percentual de energia bruta contida na ração convertida em metano (Tabela 22).

O valor de 55.65 (MJ /kg CH<sub>4</sub>) é o fator corresponde ao conteúdo energético do metano

Tabela 22 – Fatores de conversão do metano<sup>16</sup> (CH<sub>4</sub>) - Y<sub>m</sub>

Categoria de animais	Y <sub>m</sub>
Animais em confinamento	3,0% ± 1,0%
Gado leiteiro e suas proles	6,5% ± 1,0%

<sup>16</sup> Foi considerado um fator de conversão do metano de 6,5% com base nas características do objeto de estudo.

Tabela 22 – Fatores de conversão do metano<sup>16</sup> (CH<sub>4</sub>) - Ym

Outros búfalos que são alimentados principalmente com resíduos de culturas de baixa qualidade e subprodutos	6,5% ± 1,0%
Outros búfalos alimentados com pastagem	6,5% ± 1,0%

Fonte: Adaptado do IPCC (2006).

### EMISSÕES DE METANO PROVENIENTE DO MANEJO DE DEJETOS

As estimativas de metano provenientes do estrume e da urina dos animais são geradas durante o armazenamento ou tratamento dos dejetos e a partir da deposição destes no pasto. Os cálculo de metano provenitentedo da gestão de dejetos seguiu a abordagem do *Tier 1*, conforme a equação de fatores de emissão para população animal ( $EF_{(T)}$ ), a partir da Equação 20:

$$CH_4_{(Estrume)} = \sum_T \frac{(EF_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6} \quad (20)$$

Sendo:

$CH_4_{(Estrume)}$  = CH<sub>4</sub> proveniente da gestão do estrume (Gg CH<sub>4</sub>/ ano);

$EF_{(T)}$  = Fator de emissão (kg CH<sub>4</sub>/ cabeça.ano)\*;

$N_{(T)}$  = Número de cabeças de animais/ categoria;

$T$  = Categoria de animais/ espécie animal.

\* Adotou-se 1 kg CH<sub>4</sub>/cabeça.ano considerando que os dejetos são dispersos diretamente nas pastagens (MCT 2010; IPCC, 2006).

### EMISSÕES DE N<sub>2</sub>O DE SOLOS MANEJADOS

Emissões de N<sub>2</sub>O de solos agrícolas são aquelas diretas e indiretas provenientes da deposição de dejetos (fezes e urina) dos animais em pastagens sem o manejo humano, ou seja, os animais depositam seus dejetos diretamente no solo. Por causa disso, as emissões foram consideradas como emissões do solo (MCT, 2010; IPCC, 2006).

**I - Emissões diretas:** Estimadas a partir do *Tier 2*

Os cálculos consideraram adições de nitrogênio ao solo, devido essencialmente a deposição de urina e excrementos ao solo e a mineralização de N da matéria orgânica contida neste (Equação 21).

$$N_2O_{Direct} - N = \sum_i (F_{SN} + F_{ON})_i \cdot EF_{1i} + (F_{CR} + F_{SOM}) \cdot EF_1 + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP} \quad (21)$$

Sendo:

$N_2O_{Direct} - N$  = Emissões diretas de  $N_2O-N$  produzidos a partir de solos manejados (kg  $N_2O-N$ /ano);

$N_2O - N_{PRP}$  = Emissões diretas de  $N_2O-N$  a partir de entradas de fezes e urina para solos de pastos (kg  $N_2O/N$ .ano);

$N_2O - N_{OS}$  = Emissões diretas de  $N_2O-N$  de solos considerados orgânicos manejados (kg  $N_2O/N$ .ano);

$F_{SN}$  = Quantidade de N sintético fertilizante aplicado aos solos, kg N/ano;

$F_{ON}$  = Quantidade anual de estrume animal, compostagem, lodo de esgoto e outras fontes de nitrogênio orgânico adicionados ao solo;

$F_{CR}$  = Quantidade de N em resíduos de colheita (acima do solo e embaixo do solo), incluindo N fixadoras de colheita e vindas de renovação de forragem/pasto retornados do solo, kg N/ano;

$F_{SOM}$  = Quantidade anual de N em solos minerais que está mineralizado, em associação com perdas de solo C advindas da matéria orgânica do solo como resultados de mudança na gestão ou no uso da terra, kg N/ano;

$EF_{1i}$  = Fatores de emissão desenvolvidos para as emissões de  $N_2O$  de fertilizantes sintéticos e aplicação de N orgânico sob condições  $i$  (kg  $N_2O-N$  (kg  $N_{input}$ )<sup>-1</sup>);  $i = 1, \dots$

$EF_1$  = Fator de emissões para  $N_2O$  a partir de entradas de N, kg  $N_2O-N$ / (entrada kg N);

Para o cálculo de dejetos depositados no solo utilizou-se a seguinte Equação 22:

$$N_2O - N_{PRP} = [(F_{PRP,CPP} \cdot EF_{3PRP,CPP}) + (F_{PRP,SO} \cdot EF_{3PRP,SO})] \quad (22)$$

Sendo:

$N_2O - N_{PRP}$  = Emissões diretas de  $N_2O-N$  a partir do lançamento de fezes e urina em pastagem (kg  $N_2O-N$ /ano);

$F_{PRP}$  = Quantidade de N depositados através de urina e excrementos por animais sobre o pasto e outras áreas (kg N/ano)

$EF_{3PRP}$  = Fator de emissão para emissões de  $N_2O$  depositados através de urina e excrementos por animais sobre o pasto e outras áreas - kg  $N_2O$ /(entrada kg N), padrão adotado 0,020 (IPCC, 2006 cap. 11, p. 11).

44/28 = Conversão das emissões de  $N_2O-N$  para emissões de  $N_2O$ .

$$F_{PRP} = \sum_T [(N_{(T)} + N_{EX(T)}) + MS_{(T,PRP)}] \quad (23)$$

Sendo:

$F_{PRP}$  = Quantidade de N depositados através de urina e excrementos por animais pastores sobre o pasto e outras áreas, kg N/ano;

$N_{(T)}$  = Quantidade de cabeças de gado (grupo) T no país;

$N_{ex(T)}$  = Excreção de N média per capita de categoria/grupo T no país (kg N/ animal/ ano);

Valor de referência para bubalinos de 40 kg N/animal/ano (MCT, 2010);

$MS_{(T,PRP)}$  = Fração de excreção total N para cada espécie animal grupo T que é depositado na pastagem conforme a Tabela 23:

Tabela 23 – Uso do sistema de gerenciamento de dejetos (MS%)

Gerenciamento de Dejetos	Abrangência América Latina (MS%)
Lagoa	0
Armazenamento sólido	0
Chorume/Líquido	0
Armazenamento sólido	0
Lote de secagem	0
Lote de secagem	0
Pastagem/aprisionamento	99,0
Dispersão Diária	0
Digestor	0
Queima para combustível	0
Outros	1

Fonte: IPCC (2006, p. 79, cap. 10).

## II - Emissões indiretas de $N_2O$

As emissões indiretas foram estimadas com base no *Tier 1*, considerando a volatilização e lixiviação de N devido analogamente à deposição de urina e excretas animais sobre o solo (Equação 24).

$$N_2O_{(ADT)} - N = \left\{ \sum_i (F_{SN_i} \cdot \text{Frac}_{GASF_i}) + [(F_{ON} + F_{PRP}) \cdot \text{Frac}_{GASM}] \right\} \cdot EF_4 \quad (24)$$

Sendo:

$N_2O_{(ADT)} - N$  = montante anual de  $N_2O - N$  produzido a partir de deposição atmosférica de N volatilizado de solos manejados, kg  $N_2O - N$ /ano;

$F_{SN_i}$  = Quantidade anual de N sintético fertilizante aplicado aos solos, kg N/ano;

$\text{Frac}_{GASF_i}$  = Fração de fertilizante nitrogenado sintético que volatiliza como  $NH_3$  e  $NO_x$  em condições diferentes i, kg N volatilizado (kg de N aplicado)<sup>-1</sup>;

$F_{ON}$  = Quantidade anual de estrume animal, compostagem, lodo de esgoto e outras fontes de nitrogênio orgânico adicionados ao solo;

$F_{PRP}$  = Quantidade anual de N depositados através de urina e excrementos por animais pastores sobre o pasto e outras áreas, kg N/ano (Nota: os índices CPP e SO referem-se a bovinos, aves e porcos, ovelhas e outros animais, respectivamente);

$Frac_{GASM}$  = Fração aplicada de N orgânico advindo de materiais fertilizantes (FON) e N de urina e excrementos depositado por animais de pasto (FPRP) que volatiliza como  $NH_3$  e  $NO_x$ , kg N volatilizado ( kg de N aplicada ou depositados )<sup>-1</sup>, Tabela 20;

$EF_4$  = Fator de emissão para emissões de  $N_2O$  advindos da deposição atmosférica de N em solos e superfícies aquáticas, [kg N-  $N_2O$  (kg  $NH_3$ -N +  $NO_x$ -N volatilizado)<sup>-1</sup> ], conforme Tabela 24.

44/28 = Conversão de emissões de  $N_2O_{(ADT)} - N$  para emissões de  $N_2O_{(ADT)}$ .

Tabela 24 – Emissão padrão, fatores de volatilização e lixiviação para emissões indiretas de  $N_2O$  para o solo

Fator	Valor padrão
$EF_4$ [N volatilização e re- deposição ], kg $N_2O-N$ ( kg $NH_3-N$ + $NO_x-N$ volatilizado ) <sup>-1</sup>	0,010
$Frac_{GASM}$ [Volatilização a partir de todos os fertilizantes orgânicos N aplicadas e esterco e urina depositada por animais no pasto ], ( kg $NH_3 - N$ + $NO_x-N$ ) ( kg N aplicada ou depositados ) <sup>-1</sup>	0,20
$EF_5$ [lixiviação / escoamento], kg $N_2O - N$ (kg N lixiviação / escoamento) <sup>-1</sup>	0,0075
$Frac_{LEACH-(H)}$ [perdas de N por lixiviação/escoamento para as regiões onde $\Sigma$ (chuva na estação chuvosa)- $\Sigma$ (Potencial de evaporação do mesmo período)> capacidade de retenção de água no solo, ou onde a irrigação (exceto irrigação por gotejamento) é empregada] , kg N (kg adições N ou deposição por animais de pasto) <sup>-1</sup>	0,30

Fonte: Adaptado do IPCC (2006, p. 24, cap.11).

Equação 25:

$$N_2O_{(L)} - N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \cdot Frac_{LEACH-(H)} \cdot EF_5 \quad (25)$$

Em que:

$N_2O_{(L)} - N$  = Quantidade anual de  $N_2O - N$  produzido a partir de lixiviação e do escoamento de adições N para solos manejados em regiões onde a lixiviação / escoamento ocorre , kg  $N_2O - N$ /ano;

$F_{SN}$  = Quantidade anual de N sintético fertilizante aplicado aos solos, kg N/ano;

$F_{ON}$  = Quantidade anual de estrume animal, compostagem, lodo de esgoto e outras fontes de nitrogênio orgânico adicionados ao solo;

$F_{PRP}$  = Quantidade anual de N depositados através de urina e excrementos por animais pastores sobre o pasto e outras áreas, kg N/ano (Nota: Os índices CPP e SO referem-se a bovinos, aves e porcos, ovelhas e outros animais, respectivamente);

$F_{CR}$  = Quantidade anual de N em resíduos de colheita (acima do solo e embaixo do solo), incluindo N fixadoras de colheita e vindas de renovação de forragem/pasto retornados do solo, kg N/ano;

$F_{SOM}$  = Quantidade anual de N em solos minerais que está mineralizado, em associação com perdas de solo C advindas da matéria orgânica do solo como resultados de mudança na gestão ou no uso da terra, kg N/ano;

$Frac_{LEACH-(H)}$  = Fração de todo o N adicionado/ mineralizada em solos manejados que é perdido em regiões onde a lixiviação / escoamento ocorre, kg de N (kg de N adicionado)<sup>-1</sup>;

$EF_5$  = Fator de emissão para emissões de N<sub>2</sub>O da lixiviação N e escoamento, kg N<sub>2</sub>O –N/ano (kg N lixiviado e escoado)<sup>-1</sup>;

44/28 = Conversão de emissões de N<sub>2</sub>O(L) – N para emissões de N<sub>2</sub>O(L).

Para conversão das emissões atmosféricas em CO<sub>2</sub> eq. foram considerados os valores de Potencial de Aquecimento global “Global Warming Potentials – GWP” dos gases CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, de acordo com o IPCC:

Tabela 25 – Potencial de aquecimento global (GWP) em CO<sub>2</sub> equivalente

Nome	Formula	GWP (100 anos)
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	28
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	298

Fonte: IPCC, 2013 cap. 8, p. 714

## APÊNDICE 22 – Equações utilizadas para o calculo das emissões

Tabela 26 – Relação de equações utilizadas para o calculo de emissões de CH<sub>4</sub> decorrentes da fermentação entérica e manejo dos dejetos.

<b>Coefficiente</b>	<b>Equações</b>
Energia líquida requerida para crescimento (MJ/dia)	$NE_g = 22,02 \cdot \left(\frac{BW}{C \cdot MW}\right)^{0,75} \cdot WG^{1,097}$
Energia líquida requerida para manutenção (MJ/dia)	$NE_m = Cf_i \cdot (Weight)^{0,75}$
Energia líquida requerida para atividade (MJ/dia)	$NE_a = C_a \cdot NE_m$
Energia líquida requerida para lactação (MJ/dia)	$NE_l = Leite \cdot (1,47 + 0,40 \cdot \% \text{ Gordura})$
Energia líquida requerida para prenhes (MJ/dia)	$NE_p = C_p \cdot NE_m$
Energia bruta para o gado (MJ/dia)	$GE = \left[ \frac{\left(\frac{NE_m + NE_a + NE_l + NE_{Work} + NE_p}{REM}\right) + \left(\frac{NE_g}{REG}\right)}{\frac{DE\%}{100}} \right]$
Razão de energia líquida disponível na dieta para manutenção	$REM = \left[ 1,123 - (4,092 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + [1,126 \cdot 10^{-5} \cdot (DE\%)^2] - \left(\frac{25,4}{DE\%}\right) \right]$
Razão de energia líquida disponível para o crescimento	$REG = \left[ 1,164 - (5,160 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + [1,308 \cdot 10^{-5} \cdot (DE\%)^2] - \left(\frac{37,4}{DE\%}\right) \right]$
Estimativa do consumo de matéria seca para o crescimento e finalização do gado (kg/dia)	$= BW^{0,75} \cdot \left[ \frac{(0,2444 \cdot NE_{ma} - 0,0111 \cdot NE_{ma}^2 - 0,472)}{NE_{ma}} \right]^{DMI}$
Estimativa do consumo de matéria seca para o gado leiteiro adulto (kg/dia)	$DMI = \left[ \frac{\left(\frac{5,4 \cdot BW}{500}\right)}{\left(\frac{100 - DE\%}{100}\right)} \right]$
Emissões de metano decorrente de fermentação entérica por subcategoria animal (Gg CH <sub>4</sub> /ano)	$Emissões = EF_{(T)} \cdot \left(\frac{N_{(T)}}{10^6}\right)$

Tabela 26 – Relação de equações utilizadas para o calculo de emissões de CH<sub>4</sub> decorrentes da fermentação entérica e manejo dos dejetos.

<b>Coefficiente</b>	<b>Equações</b>
Emissões totais de metano provenientes da fermentação entérica (Gg CH <sub>4</sub> /ano)	$\text{Total CH}_4 (\text{Entérico}) = \sum_i E_i$
Emissões de metano proveniente do manejo dos dejetos (Gg CH <sub>4</sub> /ano)	$\text{CH}_4 (\text{Dejetos}) = \sum_T \frac{(\text{EF}_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6}$
Fator de emissão da população (kg CH <sub>4</sub> /cabeça . ano)	$\text{EF} = \left[ \frac{\text{GE} \cdot \frac{Y_m}{100} \cdot 365}{55,65} \right]$

Fonte: IPCC (2006)

Tabela 27 – Relação de equações utilizadas para o calculo de emissões de N<sub>2</sub>O decorrentes de manejo dos solos.

<b>COEFICIENTE</b>	<b>EQUAÇÕES</b>
Emissões diretas de solos manejados (kg N <sub>2</sub> O/N.ano)	$\begin{aligned} & N_2O_{\text{Diretas}} - N \\ & = \sum_i (F_{SN} + F_{ON})_i \cdot \text{EF}_{1i} + (F_{CR} + F_{SOM}) \cdot \text{EF}_1 \\ & + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP} \end{aligned}$
Emissões de dejetos lançados no solo (kg N <sub>2</sub> O – N/ano)	$\begin{aligned} N_2O - N_{PRP} = & [(F_{PRP,CPP} \cdot \text{EF}_{3PRP,CPP}) \\ & + (F_{PRP,SO} \cdot \text{EF}_{3PRP,SO})] \end{aligned}$
Quantidade de N de urina e excretas (fezes e urina) lançados no solo pelo gado (kg N/ano)	$F_{PRP} = \sum_T [(N_{(T)} + N_{ex(T)}) + MS_{(T,PRP)}]$
Emissões indiretas (lixiviação/escoamento)	$\begin{aligned} N_2O_{(L)} - N = & (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} \\ & + F_{SOM}) \cdot \text{Frac}_{LEACH-(H)} \cdot \text{EF}_5 \end{aligned}$
Emissões indiretas - volatilização (kg N <sub>2</sub> O – N/ano)	$\begin{aligned} N_2O_{(ADT)} - N = & \left\{ \sum_i (F_{SN_i} \cdot \text{Frac}_{GASF_i}) \right. \\ & \left. + [(F_{ON} + F_{PRP}) \cdot \text{Frac}_{GASM}] \right\} \cdot \text{EF}_4 \end{aligned}$

Fonte: IPCC (2006)