



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM  
CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA APLICADA À PECUÁRIA  
BUBALINA DE LEITE**

Bruna Borges Soares

Itapetinga  
Bahia  
Fevereiro – 2017



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM  
CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA APLICADA À PECUÁRIA  
BUBALINA DE LEITE**

Autora: Bruna Borges Soares  
Orientador: Luciano Brito Rodrigues, Dr.  
Coorientador: Sérgio Augusto de Albuquerque Fernandes, Dr.

“Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS, ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Área de concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento.”

Itapetinga  
Bahia  
Fevereiro – 2017

577.27 Soares, Bruna Borges  
S652a Avaliação do ciclo de vida aplicada à pecuária bubalina de leite. /  
Bruna Borges Soares. – Itapetinga, BA: UESB, 2017.  
94fl.

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS, ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Área de concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento. Sob a orientação do Prof. D.Sc. Luciano Brito Rodrigues e coorientação do Prof. D.Sc. Sérgio Augusto de Albuquerque Fernandes.

1. Pecuária leiteira - Impactos ambientais. 2. Búfalos – Produção leiteira - ACV. 3. Pecuária bubalina - Gestão ambiental. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, *Campus* de Itapetinga. II. Rodrigues, Luciano Brito. III. Fernandes, Sérgio Augusto de Albuquerque. IV. Título.

**CDD(21): 577.27**

Catálogo na Fonte:

Adalice Gustavo da Siva – CRB 535-5ª Região  
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por Assunto:

1. Pecuária leiteira - Impactos ambientais
2. Búfalos – Produção leiteira - ACV
3. Pecuária bubalina - Gestão ambiental

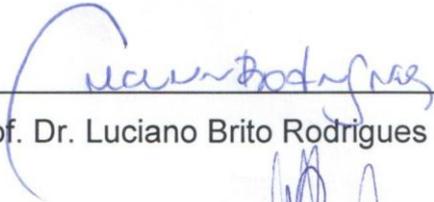
BRUNA BORGES SOARES

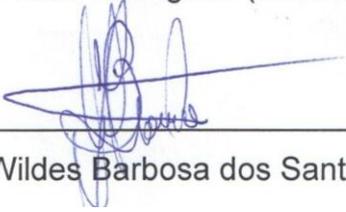
**"AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA APLICADA À PECUÁRIA BUBALINA DE LEITE"**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* de Itapetinga, BA. Área de Concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Aprovada em: 21/02/2017

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luciano Brito Rodrigues (Orientador/UESB)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Wildes Barbosa dos Santos (UESB)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fabiano Ferreira da Silva (UESB)

“Não fui eu que ordenei a você?  
Seja forte e corajoso!  
Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o seu Deus,  
estará com você por onde você andar”

(Josué 1:9)

Ao meu pai, Pedro, meu exemplo de perseverança e de aprimoramento contínuo.

À minha mãe, Dilma, por todo incentivo e apoio, à qual este mérito é atribuído.

Ao meu irmão, Pedro Filho, por torcer e vibrar comigo a cada conquista.

A Lucas, por me acalmar nos momentos mais difíceis, me mostrando que eu era capaz de superá-los.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar forças e coragem para concluir mais este estágio da minha vida, por tranquilizar meu coração e me guiar por seus caminhos.

Aos meus pais, Pedro e Dilma, e ao meu irmão, Pedro Filho, pelo amor incondicional e por me encorajar a todo instante, com injeções de ânimo e afeto. Vocês são os meus maiores incentivadores e a razão desta conquista!

Às minhas eternas amigas de Caetité, por ouvirem os meus desabafos e me aconselharem, e às amizades que construí em Itapetinga, pelos momentos de descontração e por tornarem essa jornada menos árdua e mais doce.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, pela oportunidade do mestrado e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço aos professores do PPGA e aos colegas de mestrado, por todo o conhecimento compartilhado durante estes dois anos de convívio.

Agradeço a Luciano, eterno orientador e amigo, por acreditar em mim e no meu trabalho, até mesmo quando eu duvidei.

Aos colegas do Grupo de Estudos em Materiais e Meio Ambiente, por todas as contribuições na elaboração deste trabalho. Um agradecimento especial a Edmar, pela convivência harmoniosa ao longo de todo este período e pela amizade, que levarei por toda a vida.

Agradeço a Camila, pelas vezes que se disponibilizou a ajudar, sanar dúvidas e colaborar positivamente com o trabalho.

A Sérgio Fernandes pela coorientação e colaboração na construção desta pesquisa.

A Beto, pela confiança concedida e por permitir que este estudo pudesse ser realizado.

Aos integrantes da banca examinadora, por terem aceitado o convite em contribuir com este trabalho.

Um agradecimento especial a Lucas, por estar sempre presente durante estes dois anos, me incentivando, apoiando e por me ajudar a superar qualquer problema, sempre com muita alegria e bom humor.

Por fim, agradeço aqueles que, mesmo não sendo mencionados, contribuíram de alguma forma e não mediram esforços para que mais uma etapa de minha vida fosse concluída.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	7
ABSTRACT .....	8
LISTA DE TABELAS .....	9
LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	13
LISTA DE SÍMBOLOS.....	14
1 INTRODUÇÃO .....	17
2 OBJETIVOS .....	19
2.1 OBJETIVO GERAL .....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	20
3.1 GESTÃO AMBIENTAL EM UNIDADES PRODUTIVAS .....	20
3.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	21
3.3 ESTRUTURA DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	22
3.3.1 FASE 1: Definição de objetivo e escopo .....	23
3.3.2 FASE 2: Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) .....	23
3.3.3 FASE 3: Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida (AICV) .....	24
3.3.4 FASE 4: Interpretação.....	24
3.4 APLICAÇÃO DA ACV NO SETOR AGROPECUÁRIO NACIONAL .....	24
3.5 BUBALINOCULTURA.....	25
3.6 IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS À PRODUÇÃO DE LEITE BUBALINO.....	27
4 METODOLOGIA .....	29
4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	29
4.2 ÁREA DE ESTUDO .....	29
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA PROPRIEDADE .....	30
4.4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	31
4.4.1 FASE 1: Definição de objetivo e escopo .....	32
4.4.2 FASE 2: Análise do inventário do ciclo de vida (ICV) .....	44
4.4.3 FASE 3: Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV).....	44
4.4.4 FASE 4: Interpretações .....	45

4.5 ANÁLISE DE CENÁRIOS.....	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
5.1 ESTIMATIVAS DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS.....	48
5.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	51
5.2.1 Análise do Inventário .....	51
5.2.2 Avaliação do Impacto – Cenário Base.....	53
5.3 ANÁLISE DE CENÁRIOS.....	64
6 CONCLUSÃO .....	73
REFERÊNCIAS .....	74
APÊNDICE .....	80

## RESUMO

Ao lado dos sistemas agropecuários, historicamente consolidados na economia brasileira, a produção bubalina vem se desenvolvendo no país como uma atividade alternativa, com positivas perspectivas de crescimento. No entanto, apesar da aparente demanda por recursos e das perceptíveis alterações ambientais, é um setor ainda carente em pesquisas. Este estudo avaliou os impactos ambientais da produção de leite de búfala e identificou as atividades que têm maiores interferências ambientais, por meio do método da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) padronizada pelas ISO 14040:2006 e 14044:2006. A propriedade foi caracterizada pela produção pecuária extensiva e orgânica, com um rebanho médio de 691 animais e 547,31 hectares de área destinada ao cultivo de pastagem. A unidade funcional foi 1 kg de leite corrigido pelo teor de gordura e proteína (FPCM), com 6,75% e 3,69% para a gordura e proteína do leite, respectivamente. A produção de leite incluiu cinco processos unitários: Produção de sal mineral, produção de medicamentos, criação dos animais, ordenha e resfriamento de leite e cultivo de pastagem. A avaliação de impacto foi realizada com base em sete categorias de impacto de ponto médio, do método ReCiPe, e o *software* Simapro® 8.0.5.13 foi usado como ferramenta de apoio. Com base no cenário de estudo, foram propostos seis cenários alternativos, baseados no incremento da produção de leite e na utilização de dietas alimentares alternativas na manutenção dos animais. O estudo revelou que a criação bubalina foi a fase que mais contribuiu para as categorias: mudanças climáticas (98,99%) e depleção de água (87,01%); a ordenha e resfriamento do leite apresentou interferências sobre as categorias: depleção de ozônio (88,09%), acidificação terrestre (68,23%), eutrofização de águas (92,37%) e depleção fóssil (73,16%); e o cultivo de pastagem foi a unidade que apresentou maiores impactos na categoria ocupação de terras agrícola (83,18%). Quanto à modelagem dos cenários alternativos, o estudo indicou que o aumento da produção de leite, embora tenha influenciado diretamente na redução dos impactos em algumas categorias ambientais, contribuiu para o acréscimo em outras. O estudo indicou ainda que o aumento da produção de leite nem sempre representa ganho para todo o sistema de produto, sendo necessário encontrar um nível de produção ótima que, paralelamente, gere menores encargos para o meio ambiente.

**Palavras-chave:** pecuária leiteira, búfalos, impactos ambientais, ACV, gestão ambiental.

## ABSTRACT

Alongside agricultural systems, historically consolidated in Brazilian economy, buffalo production has been developing in the country as an alternative activity, with positive prospects for growth. However, despite the apparent demand for resources and perceptible environmental changes, it is still a poor research sector. This study evaluated the environmental impacts of buffalo milk production and identified the activities that have the greatest environmental interference, using the Life Cycle Assessment (LCA) methodology standardized by ISO 14040: 2006 and 14044: 2006. The property was characterized by extensive livestock production and organic, with an average herd of 691 animals and 547.31 hectares of area for pasture cultivation. The functional unit was 1 kg of milk corrected for Fat-Protein Corrected Milk (FPCM), with 6.75% and 3.69% for fat and milk protein, respectively. Milk production included five unitary processes: mineral salt production, drug production, animal husbandry, milking and milk cooling, and pasture cultivation. The impact assessment was performed based on seven mid-point impact categories of the ReCiPe method, and Simapro® 8.0.5.13 software was used as a support tool. Based on the study scenario, six alternative scenarios were proposed, based on the increase of milk production and the use of alternative diets in the maintenance of the animals. The study revealed that buffalo breeding was the phase that most contributed to the categories: climate change (98.99%) and water depletion (87.01%); milking and milk cooling interfered with the categories: ozone depletion (88.09%), terrestrial acidification (68.23%), water eutrophication (92.37%) and fossil depletion (73.16%); And pasture cultivation was the unit that had the greatest impact in the category of agricultural land occupation (83.18%). Regarding the modeling of alternative scenarios, the study indicated that the increase in milk production, although it directly influenced the reduction of impacts in some environmental categories, contributed to the increase in others. The study also indicated that the increase in milk production does not always represent a gain for the whole product system, and it is necessary to find an optimum level of production that, at the same time, generates lower costs to the environment.

**Keywords:** dairy cattle, buffaloes, environmental impacts, LCA, environmental management.

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Consumo de água de dessedentação para bovinos de leite em L.dia <sup>-1</sup> .animal <sup>-1</sup> .....	36
Tabela 2. Equipamentos utilizados na produção bubalina de leite .....	36
Tabela 3. Distâncias médias entre as fábricas ou centrais de abastecimento e a propriedade .	39
Tabela 4. Coprodutos e seus respectivos pesos vivos.....	39
Tabela 5. Equações utilizadas para o cálculo de emissões atmosféricas .....	40
Tabela 6. Descrição dos processos utilizados para modelagem dos fluxos elementares no software Simapro®, versão 8.0.5.13 .....	42
Tabela 7. Descrição das categorias de impacto do método ReCipe selecionadas para a avaliação de impacto da produção de leite bubalino.....	45
Tabela 8. Descrição sucinta dos cenários modelados .....	47
Tabela 9. Coeficientes e estimativas das emissões de metano (CH <sub>4</sub> ) e óxido nitroso (N <sub>2</sub> O) por subcategorias animal .....	49
Tabela 10. Comparação dos fatores de emissão de metano entérica (kg CH <sub>4</sub> / cabeça.ano) encontras em diferentes estudos para búfalas lactantes .....	50
Tabela 11. Inventário para produção de 1 kg de leite de búfala corrigido pelo teor de gordura e proteína do leite (FPCM) – Cenário Base.....	51
Tabela 12. Avaliação dos impactos ambientais do ciclo de vida da produção de leite de búfala, por categoria de impacto, baseado em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World Recipe H/Characterization.....	53
Tabela 13. Resultados encontrados para a categoria mudanças climáticos (kg CO <sub>2</sub> eq.) em diferentes estudos de búfalos.....	58
Tabela 14. Categorias representativas de bubalinos .....	80
Tabela 15. Classificação do rebanho em subcategorias animais.....	81

Tabela 16. Coeficiente para cálculo de energia de manutenção.....	82
Tabela 17. Coeficiente de atividade correspondente à situação alimentar do animal .....	82
Tabela 18. Digestibilidade representante para bovinos e outros ruminantes .....	85
Tabela 19. Valores de <i>NEma</i> para dietas alimentares típicas de gado.....	86
Tabela 20. Fatores de conversão do metano <i>CH4</i> - <i>Ym</i> .....	88
Tabela 21. Uso do sistema de gerenciamento de dejetos (MS%) .....	92
Tabela 22. Emissão padrão, fatores de volatilização e lixiviação para emissões indiretas de N <sub>2</sub> O para o solo .....	93

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Fases de uma Avaliação do Ciclo de Vida. Fonte: ISO 14040 (2006). .....	22
Figura 2. Evolução do Rebanho bubalino brasileiro. Fonte: IBGE/SIDRA (2015).....	26
Figura 3. Território de Identidade do Médio Sudoeste. Fonte: SEI (2015).....	29
Figura 4. Mapa com a localização da área de estudo. Fonte: Propriedade. ....	30
Figura 5. Limite do sistema da produção bubalina de leite. ....	33
Figura 6. Principais contribuições do ciclo de vida da produção de leite de búfala, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization.....	54
Figura 7. Principais contribuições da unidade de processo “Criação dos animais” para a produção de leite de búfala, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization.....	55
Figura 8. Principais contribuições da unidade de processo “Produção de sal mineral” para a produção de leite de búfala, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization.....	55
Figura 9. Principais contribuições da unidade de processo “Produção de medicamentos” para a produção de leite de búfala, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization.	56
Figura 10. Principais contribuições da unidade de processo “Cultivo de pastagem” para a produção de leite de búfala, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization.....	56
Figura 11. Principais contribuições da unidade de processo “Ordenha e resfriamento do leite” para a produção de leite de búfala, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization. ....	57

Figura 12. Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o Cenário Base e o Cenário 1, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization .....	65
Figura 13. Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o Cenário base e o Cenário 2, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization .....	65
Figura 14. Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o Cenário base e os Cenários 1 e 2 para a unidade de processo “Criação dos animais”, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization .....	67
Figura 15. Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o Cenário base e o cenário 3, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization .....	68
Figura 16. Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o Cenário base e o cenário 4, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization .....	68
Figura 17. Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o cenário base e o Cenário 5, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization .....	70
Figura 18. Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o cenário base e o Cenário 6, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization .....	70
Figura 19. Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o Cenário base e os Cenários 5 e 6 para a unidade de processo “Criação dos animais”, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe <i>Midpoint</i> (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization .....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ABCB	Associação Brasileira de Criadores de Búfalos
AICV	Avaliação do impacto do ciclo de vida
COVNM	Compostos orgânicos voláteis não-metanados
CFC	Clorofluorcarbonetos
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FPCM	<i>Fat and Protein Corrected Milk</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
GWP	<i>Global Warming Potentials</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Análise do inventário do ciclo de vida
IDF	<i>International Dairy Federation</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
PIB	Produto Interno Bruto
PPM	Produção Pecuária Municipal
SEI	Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia
VAB	Valor agregado bruto

## LISTA DE SÍMBOLOS

$C_a$	Coeficiente correspondente à situação alimentar do animal
$C_{f_i}$	Coeficiente que varia para cada categoria de animais
$C_g$	Coeficiente de gestação
$CH_4$	Metano
$CH_4$ (Entérico)	Emissões de $CH_4$ proveniente da fermentação entérica de animais
$CH_4$ (Estrume)	Emissões de $CH_4$ proveniente da gestão do estrume
CMS	Consumo de matéria seca
$CO_2$	Dióxido de carbono
COVNM	Compostos orgânicos voláteis não-metanados
DE%	Energia digestível
$E_i$	Emissões para as categorias e subcategorias de gado
FE	Fator de emissão entérico para a população animal
$FE_1$	Fator de emissões para emissões de $N_2O$ a partir de entradas de N
$FE_{1i}$	Fatores de emissão desenvolvidos para as emissões de $N_2O$ de fertilizantes sintéticos e aplicação de N orgânico sob condições $i$
$FE_{(T)}$	Fator de emissão para a população de animais definida
$FE_{3PRP}$	Fator de emissão para emissões de $N_2O$ depositados através de urina e excrementos por animais pastores sobre o pasto e outras áreas
$FE_4$	Fator de emissão para emissões de $N_2O$ advindos da deposição atmosférica de N em solos e superfícies aquáticas
$FE_5$	Fator de emissão para emissões de $N_2O$ da lixiviação N e escoamento
G%	Percentual de gordura contida no leite
$F_{CR}$	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

$F_{ON}$	Quantidade anual de estrume animal, compostagem, lodo de esgoto e outras fontes de nitrogênio orgânico adicionados ao solo
$F_{SOM}$	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
$F_{SN}$	Quantidade anual de N de sintético fertilizante aplicado aos solos
$F_{SN_i}$	Quantidade anual de N sintético fertilizante aplicado aos solos
$F_{PRP}$	Quantidade anual de N depositados através de urina e excrementos por animais pastores sobre o pasto e outras áreas
$Frac_{GASM}$	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 $NO_x$
$Frac_{GASF_i}$	Fração de fertilizante nitrogenado sintético que volatiliza como $NH_3$ e $NO_x$ em condições diferentes i
$Frac_{LEACH-(H)}$	Fração de todo o N adicionado/ mineralizada em solos manejados que é perdido em regiões onde a lixiviação/ escoamento ocorre
$EB$	Energia bruta requerida
$EL_a$	Energia para atividade
$EL_c$	Energia líquida para o crescimento
$EL_t$	Energia líquida para trabalho
$EL_l$	Energia líquida para lactação
$EL_m$	Energia líquida para manutenção
$EL_g$	Energia líquida para gestação
$EL_{Dieta}$	Concentração estimada e energia líquida da dieta
$Nex_{(T)}$	Excreção de nitrogênio média anual per capta de espécies/ categoria T no país
$M_{carne}$	Soma do peso vivo de todos os animais vendidos incluindo bezerros e animais maduros abatidos
$M_{leite}$	Soma de leite vendido corrigido pelo teor de gordura e proteína
MS%	Sistema de gerenciamento de dejetos
$MS_{(T,PRP)}$	Fração de excreção anual total N para cada espécie animal/ categoria T que é depositado no pasto

$PV_f$	Peso corporal de uma fêmea adulta na condição corporal moderada
$P\%$	Percentual de proteína contida no leite
$PV_m$	Peso vivo médio dos animais na população
$N_{(T)}$	Número de cabeças de animais por categoria
$N_2O$	Óxido Nitroso
$N_2O_{Diretas} - N$	Emissões diretas anuais de $N_2O-N$ produzidos a partir de solos manejados
$N_2O - N_{OS}$	Emissões diretas anuais de $N_2O-N$ de solos orgânicos manejados
$N_2O - N_{PRP}$	Emissões diretas anuais de $N_2O-N$ a partir de entradas de fezes e urina para solos de pastos
$N_2O_{(V)} - N$	Quantidade anual de $N_2O - N$ produzido a partir de deposição atmosférica de N volatilizado de solos manejados
$N_2O_{(L)} - N$	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
REC	Razão de energia líquida disponível para o crescimento
REM	Razão de energia líquida disponível na dieta para manutenção
$SO_2$	Dióxido de enxofre
$SO_4^{2-}$	Sulfato
T	Categoria de animais/espécie animal
$Total CH_4 (Entérico)$	Emissões totais de metano decorrentes da fermentação entérica
$Y_m$	Fator de conversão do metano
PV	Peso vivo do animal
GP	Ganho de peso médio diário dos animais na população

## 1 INTRODUÇÃO

A produção animal no Brasil é uma atividade econômica de grande relevância, sendo o país um dos maiores produtores agropecuários e destaque no mercado internacional como grande exportador agrícola-alimentício.

Embora ainda tímido, um segmento que vem apresentando elevado potencial de crescimento na produção agropecuária nacional é a criação bubalina. Devido à superioridade que os búfalos podem apresentar em relação a outros ruminantes doméstico, quanto a características particulares de adaptação e manejo, além da crescente demanda por alimentos mais saudáveis, têm impulsionado a exploração da pecuária bubalina e difundido a atividade em todo o país, especialmente no que se refere à produção leiteira.

Aliado ao desenvolvimento do setor, os impactos ambientais decorrentes da atividade bubalina não podem ser negados. Acredita-se que a bubalinocultura representa um segmento de grandes interferências ambientais, especialmente no que diz respeito a emissões de gases de efeito estufa e a associação destes gases com o aquecimento global. Outros impactos podem ainda estar relacionados à criação de bubalinos como depleção abiótica, acidificação terrestre e eutrofização de águas doces (PIRLO et al., 2014b), entretanto, poucos estudos têm sido realizados sobre o efeito ambiental de fazendas de búfalos leiteiros no meio.

A necessidade de definir critérios ambientais confiáveis para produtos agro-alimentares trouxe ao segmento agropecuário a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como forma de apoiar os processos de tomada de decisão no que se refere à produção de alimentos e minimizar o impacto gerado pela atividade. A ACV permite estimar os efeitos ambientais que um produto ou processo causa durante todo o ciclo de vida, considerando diferentes categorias de impacto e, é especialmente útil na identificação e quantificação de impactos ambientais associados à pecuária bubalina.

Nos anos recentes, alguns estudos usaram a Avaliação do Ciclo de Vida para avaliar a estimar os efeitos da produção de leite de búfalo na Itália (PIRLO et al, 2014a; PIRLO et al., 2014b) e na Índia (GARG et al., 2016). Diante desse contexto, o estudo brasileiro é principalmente útil, podendo contribuir com uma melhor visualização dos impactos associados à atividade e criar um inventário de dados aplicáveis às condições brasileiras.

Nesse sentido, a pesquisa em questão visa avaliar os impactos ambientais da produção de leite bubalino a partir da Avaliação do Ciclo de Vida, particularmente em função do potencial impacto gerado pela atividade, da sua demanda por recursos e da contribuição do setor para a economia brasileira. Busca-se ainda utilizar a ACV como instrumento de gestão dentro da unidade estudada e sugerir estratégias mais eficazes para reduzir o impacto ambiental da produção de leite bubalino, servindo de modelo para demais empreendimentos do mesmo segmento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar os impactos ambientais no ciclo de vida da produção pecuária leiteira em uma fazenda de búfalos localizada no Território de Identidade do Médio Sudoeste da Bahia.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar o ciclo de vida da produção de leite bubalino;
- Realizar o Inventário do Ciclo de Vida do sistema analisado;
- Identificar os pontos críticos e os aspectos ambientais existentes na produção;
- Apontar sugestões de melhorias para os problemas identificados;
- Estimar condições de produção diferentes do modelo estudado (Cenário Base).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 GESTÃO AMBIENTAL EM UNIDADES PRODUTIVAS

A insustentabilidade das atividades humanas e a pressão antrópica exercida sobre os estoques globais de recursos naturais têm despertado cada vez mais a atenção da sociedade científica e intensificando a necessidade da adoção de práticas ambientais em sistemas de produção.

A necessidade de reduzir e controlar os custos ambientais associados aos seus processos produtivos tem, dessa forma, difundido o conceito de gestão (ou gerenciamento) ambiental entre unidades produtivas. Gestão Ambiental é definida como o conjunto de rotinas e procedimentos ambientais que permite a uma organização gerenciar adequadamente as relações entre suas atividades e o meio ambiente, devido, principalmente, à necessidade de realinhar as estratégias e operações do empreendimento a iniciativas ambientais. Segundo Adissi et al. (2013), a Gestão Ambiental volta-se para a minimização dos efeitos negativos, associados aos processos produtivos empresariais, a fim de garantir padrões ecológicos e socialmente aceitáveis de qualidade ambiental.

A gestão ambiental é definida ainda, como a incorporação de preocupações e oportunidades em um contexto de negócios, relacionado com o ambiente, tornando os processos de produção e produtos ambientalmente mais adequados (HADEN et al., 2009). Esse conjunto de princípios tem se tornado comum entre os empreendimentos, principalmente entre aqueles que objetivam, além de melhorar e controlar suas atividades nas operações de produção, alcançar com essas atitudes oportunidades de mercado, a partir de uma visão estratégica em relação ao meio ambiente.

A normatização do conjunto de padrões ambientais é preconizada pela *International Organization for Standardization* (ISO), série ISO 14000, que fornece orientações para o desenvolvimento de uma abordagem abrangente para a gestão ambiental e uniformiza algumas metodologias fundamentais, como Auditorias Ambientais, Avaliação de Desempenho Ambiental, Rotulagem Ambiental e Avaliação do Ciclo de Vida dos produtos (CURKOVIC et al., 2005).

Dentre os métodos citados, a Avaliação do Ciclo de Vida ganha destaque como importante método para a avaliação ambiental dos sistemas de produção e de produtos, auxiliando os empreendimentos a diminuir seus impactos no meio ambiente (LOCKREY, 2015).

### 3.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A ACV aborda os aspectos ambientais e possíveis impactos associados a todo o ciclo de vida de um produto (bens e serviços) desde a aquisição de matéria-prima, através das fases de produção, de uso, até a fase de gestão dos resíduos (SANTOS, 2006). Dessa forma, o seu princípio consiste em quantificar os recursos consumidos e as emissões para o meio ambiente que um produto gera no meio durante todas as fases da sua vida útil, conhecido como "do berço ao túmulo" (LEHUGER et al., 2009).

As pesquisas sobre ACV tiveram início nos Estados Unidos, sob diferentes formas e com uma variedade de nomes. Em função da grande crise do petróleo, evidenciada no final da década de 1960, a sociedade passou a se questionar sobre o limite da extração de recursos naturais, especialmente de combustíveis fósseis e de recursos minerais. Surgem assim, as primeiras iniciativas em desenvolver uma metodologia capaz de quantificar o uso de recursos ambientais (HUNT et al., 1996; VIGON et al., 1993).

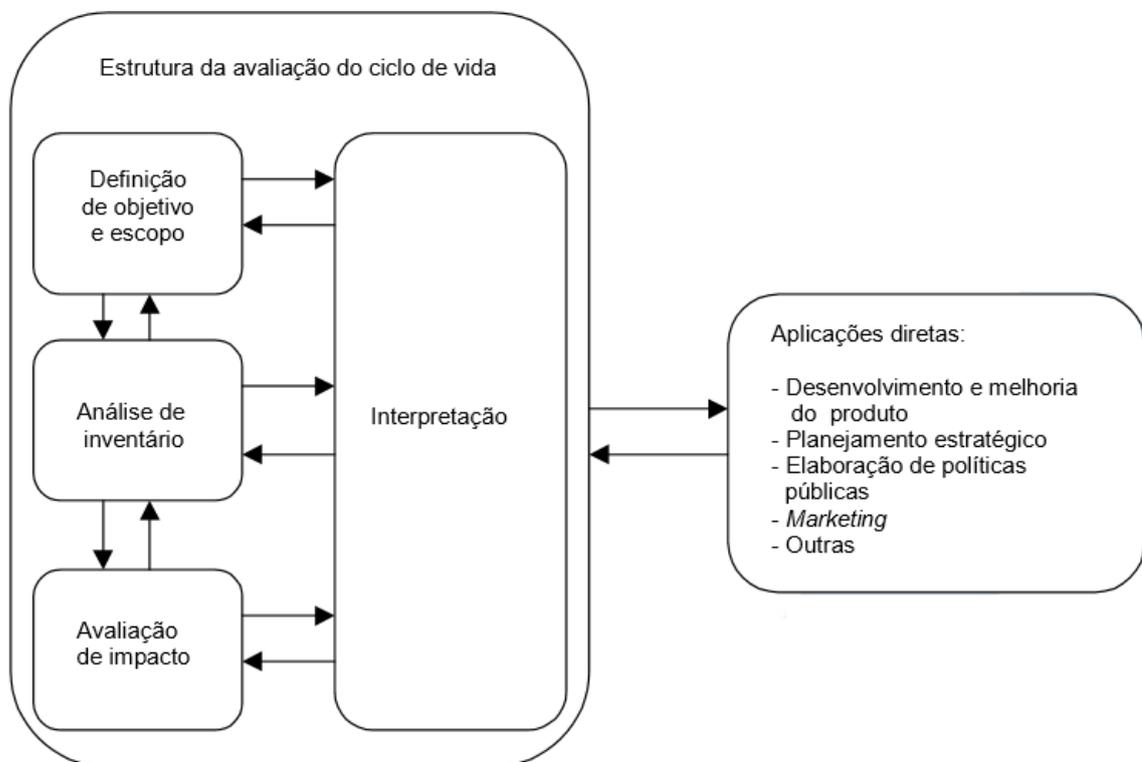
Entretanto, o interesse por estudos de ACV enfraqueceram após a crise, ressurgindo apenas nos anos de 1980, em função do crescente interesse pelo meio ambiente (COLTRO, 2007). Com a normalização da ferramenta, pela criação da série de normas ISO, e a preocupação com os resíduos sólidos (WILLERS & RODRIGUES, 2014) os estudos foram então intensificados, permitindo que a metodologia ganhasse maior popularidade (GUINÉE et al., 2011).

Desde então, o termo "Avaliação do Ciclo de Vida" tem sido adotado para refletir estudos do ciclo de vida ambiental e vem sendo amplamente utilizado e reconhecido por permitir muitas aplicações em sistemas produtivos (KHASREEN et al., 2009; RUVIARO et al., 2012), especialmente no que se refere à identificação de estágios do ciclo de vida de produtos que contribuem desproporcionalmente para as áreas específicas de interesse ambiental (*hotspots*), bem como a comparação do desempenho ambiental de produtos concorrentes ou tecnologias de produção (CASTANHEIRA et al., 2010). Segundo Notarnicola et al. (2017), o pensamento do ciclo de vida é cada vez mais visto como um conceito-chave para assegurar uma transição para padrões de produção mais sustentáveis.

O desenvolvimento de um estudo de ACV é padronizado por duas normas da série ISO 14000, a ISO 14040:2006, que dita os princípios e estrutura e ISO 14044:2006, que fornece os requisitos e orientações. As áreas de atuação para a ACV são inúmeras. Segundo a ISO 14040 (2006), a ACV pode: (1) Auxiliar na Identificação de oportunidades para melhorar o desempenho ambiental dos produtos em vários pontos do seu ciclo de vida; (2) Fornecer informações aos gestores na indústria, organizações governamentais ou não governamentais; (3) Contribuir com a seleção de indicadores relevantes de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição e (4) *Marketing*, através da declaração ambiental.

### 3.3 ESTRUTURA DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

De acordo a ISO 14040 (2006), a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) consiste em uma compilação e avaliação das entradas, saídas e os potenciais impactos ecológicos de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. Conforme retrata a norma, um estudo completo de ACV compreende quatro fases (Figura 1), a saber:



**Figura 1.** Fases de uma Avaliação do Ciclo de Vida. **Fonte:** ISO 14040 (2006).

### **3.3.1 FASE 1: Definição de objetivo e escopo**

Nesta fase o objetivo e escopo da ACV são claramente definidos, de forma coerente com a aplicação pretendida. Deve ser definida a aplicação à que se destina a ACV, as razões para a realização do estudo, público-alvo e a intenção de divulgação pública dos resultados.

A abrangência do estudo é demonstrada no escopo. O escopo de aplicação deve ser suficientemente bem definido para garantir que as unidades de processos inclusas no estudo e o nível de detalhamento destes sejam compatíveis e suficientes para resolver o objetivo declarado. Compõe o escopo:

- A Função - É o alvo de análise do estudo, a finalidade para a qual o produto avaliado se destina. A função selecionada para o estudo depende da meta e do âmbito da ACV.

- A Unidade funcional - A unidade funcional é definida como a função principal de um sistema de produção expressa em termos quantitativos do produto. O objetivo principal de uma unidade funcional é proporcionar uma referência para que as entradas e saídas sejam relacionados (em um sentido matemático), possibilitando a comparabilidade dos resultados da ACV. A unidade funcional é muitas vezes baseada na massa do produto em estudo, no entanto, outros valores vêm sendo comumente utilizados como valor econômico e nutricional.

- Limite do sistema - O limite do sistema determina quais processos unitários serão incluídos dentro da ACV, sendo dessa forma, a interface entre um sistema de produto e o meio ambiente ou outros sistemas de produto. Todas as operações que contribuem para o ciclo de vida do produto, processo ou atividade devem se enquadrar dentro dos limites do sistema.

- Requisitos de qualidade dos dados - Os requisitos de qualidade dos dados especificam, em termos gerais, as características dos dados necessários para o estudo. A descrição de qualidade de dados é importante para compreender a confiabilidade dos resultados do estudo e devidamente interpretar os resultados deste.

### **3.3.2 FASE 2: Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)**

É a segunda fase da ACV. O Inventário de Ciclo de Vida (ICV) envolve procedimentos de coleta de dados e de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema de produto. Em sua preparação os consumos de energia e matérias-primas, emissões atmosféricas, emissões para os corpos d'água, resíduos sólidos ou qualquer outra forma de saída dos processos inclusos no estudo, são identificadas e quantificadas.

### **3.3.3 FASE 3: Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida (AICV)**

É terceira fase da ACV. A fase de avaliação do impacto da ACV tem por objetivo identificar os potenciais impactos ambientais associados à cadeia produtiva do produto, fornecendo dessa forma, informações adicionais para ajudar a avaliar os resultados do sistema de ICV, de modo a compreender melhor o seu significado ambiental. Em geral, essa fase envolve a associação dos dados do inventário com categorias de impacto ambientais específicas e indicadores de categoria, procurando dessa forma entender os impactos. Embora o ICV já forneça resultados importantes quanto aos impactos causados pelo processo, sua análise é importante, pois permite uma base de comparação mais consistente.

Existem diferentes métodos de AICV disponíveis na literatura (Eco-indicador 99, CML, Impact 2002+, EDIP 2003, ReCiPe 2008, EPS200d, entre outros) capazes de converter emissões e extrações de recursos naturais em indicadores de categoria de impacto (ALVARENGA et al., 2016).

### **3.3.4 FASE 4: Interpretação.**

Constitui a última etapa dos estudos de ACV. A interpretação é a fase da ACV em que os resultados da Análise de Inventário e da Avaliação dos Impactos são considerados em conjunto. Fornece resultados que são consistentes com o objetivo definido e escopo, permitindo chegar a conclusões, explicar limitações e fornecer recomendações. Trata-se, portanto, de um resumo do estudo. No caso de estudos de ICV, corresponde apenas a Análise de inventário.

Apesar de uma ACV estar estruturada segundo a ISO 14040 (2006) em quatro fases a ACV é uma técnica interativa. Dessa forma, as fases individuais de uma ACV utilizam os resultados das outras fases. A abordagem iterativa entre as fases contribui para a abrangência e consistência do estudo e os resultados apresentados.

## **3.4 APLICAÇÃO DA ACV NO SETOR AGROPECUÁRIO NACIONAL**

Os estudos em ACV avançaram consideravelmente nos últimos anos, principalmente devido à difusão do método pelo mercado internacional. O interesse por metodologias voltadas a questão ambiental vem refletindo nesse sentido, as preocupações generalizadas sobre como os impactos ambientais do setor agropecuário interferem na dinâmica ambiental.

Devido a relevante importância que a produção agropecuária representa a nível nacional e global, o segmento tem sido uma área de interesse para os estudos de ACV. Segundo Ruviaro et al. (2012), embora a maioria dos estudos se concentre na produção agrícola europeia, os estudos brasileiros apresentam uma tendência crescente desde o ano de 2010.

O Brasil se destaca como o segundo maior exportador agrícola mundial, além ser um dos maiores produtores e exportadores de grãos e carnes do mundo (OECD-FAO, 2015). Nesse sentido, estudos de ACV relacionados ao setor agropecuário vêm refletindo a importância deste segmento para o Brasil e as atuais preocupações em alcançar métodos de produção sustentáveis, que gerem menos impactos ao meio ambiente.

A metodologia tem sido empregada em sistemas agropecuários distintos como: produção de frango (DA SILVA et al., 2014); produção de grão para alimentação de frangos de corte (ALVARENGA et al., 2012); produção de soja (DA SILVA et al., 2010), balanço energético de biocombustíveis (ROCHA et al., 2014); produção de suínos (CHERUBINI et al., 2015); produção de leite bovino (DE LÉIS et al., 2015); produção de bovinos de corte (WILLERS et al., 2016; RUVIARO et al. 2015; DICK et al., 2015a; DICK et al., 2015b).

De forma geral, sistemas pecuários têm sido cada vez mais estudados a partir da ACV (HUYSVELD et al., 2015), no entanto, ainda existem diversos segmentos a serem explorados e que representam áreas oportunas para a aplicação da metodologia, a exemplo da pecuária bubalina, uma área que têm despertado crescente interesse dentre as produções nacionais.

Autores na Itália (PIRLO et al, 2014a, 2014b) e na Índia (GARG et al., 2016) já demonstraram que este é um campo de estudo promissor para a aplicação da ACV, principalmente em virtude das interferências ambientais e das perspectivas de evolução vislumbradas para este setor pecuário. No entanto, ainda são escassos os estudos sobre os efeitos da criação bubalinos sobre o meio ambiente, ou inexistentes, como no caso do Brasil. Tal fato reforça a necessidade de pesquisas que reflitam as condições nacionais e que sejam capazes de criar um inventário de dados aplicáveis às condições brasileiras.

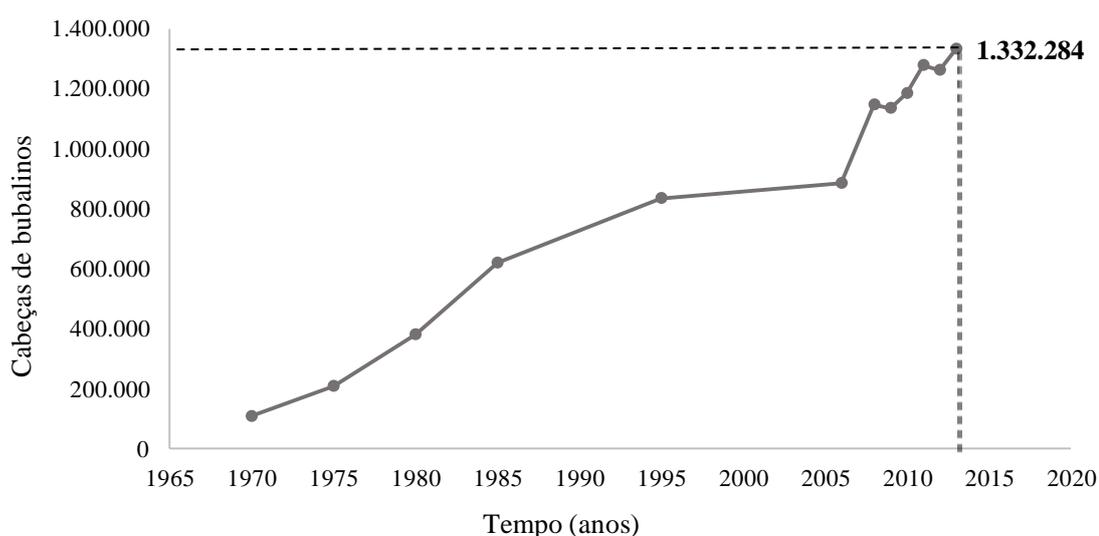
### 3.5 BUBALINOCULTURA

Originário da Ásia, o búfalo (*Bubalus bubalis*) chegou ao Brasil em 1890, quando desembarcaram os primeiros rebanhos à Ilha de Marajó, no Pará (ZAVA, 1987). Nos anos seguintes, ocorreram diversas importações de lotes de búfalos para outras regiões brasileiras, o que contribuiu com a disseminação e crescimento da população bubalina no país, sendo a

partir de 1970 utilizados profissionalmente para a produção de leite e produção de derivados lácteos (BORGHESE & MAZZI, 2005).

Dos bubalinos introduzidos no país, quatro raças são reconhecidas oficialmente pela Associação Brasileira de Criadores de Búfalos – ABCB: Carabao, Jafarabadi, Mediterrâneo e Murrah (ROSA et al., 2007). Dentre as vantagens apresentadas pela espécie, pode-se citar a superioridade que os búfalos podem apresentar em relação a outros ruminantes domésticos, principalmente devido a características particulares de adaptação às variações climáticas e de manejo, além da longevidade, característica importante na pecuária (OLIVEIRA, 2005). Uma das vantagens econômicas, apontadas pela ABCB, da pecuária bubalina em relação à pecuária bovina é a alta resistência às doenças comuns do gado bovino e a alta capacidade reprodutiva, fatores que vêm favorecendo positivamente o desenvolvimento da atividade no país e a conquista de espaço na criação de gado nacional.

A bubalinocultura brasileira vem apresentando elevado crescimento nas últimas décadas (Figura 2), evidenciado pelo aumento populacional desses animais em todas as regiões do país. Segundo dados da PPM – Produção Pecuária Municipal, a população nacional de búfalos atingiu cerca de 1.332.284 cabeças, dos quais, o estado do Bahia deteve cerca de 30 mil animais (IBGE, 2013). Ainda segundo a pesquisa citada, dentre os animais de grande porte, o efetivo de bubalinos foi aquele que apresentou a maior variação positiva comparada ao ano de 2012, representando um aumento de 5,6% no efetivo total.



**Figura 2.** Evolução do Rebanho bubalino brasileiro. **Fonte:** IBGE/SIDRA (2015).

Paralelamente ao desenvolvimento da bubalinocultura no país, uma atividade que têm crescido significativamente é a pecuária bubalina de leite. Nos últimos anos houve acentuado aumento na exploração da bubalinocultura para a produção de leite, sendo o produto utilizado tanto para o consumo humano direto quanto para elaboração de produtos lácteos (ARAÚJO et al., 2011).

Caracterizado por apresentar elevado valor nutricional, maiores teores de gordura, proteínas e minerais, a industrialização e consumo do leite de búfala é uma realidade, e o mercado de leite de búfala e derivados lácteos desponta como promissor, devido à aceitação no mercado por sua qualidade nutricional e sensorial (VIEIRA et al., 2009).

Os produtos de origem bubalina têm um elevado rendimento industrial e características sensoriais peculiares que os tornam competitivos com os similares elaborados com leite bovino (BERNARDES, 2014). Nos últimos anos, o rebanho bubalino leiteiro tem crescido a uma taxa de 45% (ABCB, 2015). Dessa forma, novo cenário na bubalinocultura se forma com aumento dos rebanhos leiteiros e do interesse pela exploração de seu potencial de crescimento, tanto para as propriedades rurais quanto para as empresas produtoras e processadoras de alimentos.

### 3.6 IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS À PRODUÇÃO DE LEITE BUBALINO

Embora a produção de leite bubalino represente um segmento ainda em desenvolvimento, os impactos ambientais decorrentes desta atividade pecuária são inegáveis. De forma geral, a produção leiteira é uma atividade agro-alimentícia que provoca efeitos ambientais negativos, principalmente relacionados à emissão de gases de efeito estufa, enriquecimento de águas por nutrientes, acidificação terrestre, uso do solo e energia (BALDINI et al., 2016) exigindo, dessa forma, uma avaliação eficaz do seu impacto.

Conforme a FAO (2013), as emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) da produção de búfalo (carne, leite e outros produtos e serviços) representam 9% das emissões globais contabilizadas por espécie animal. Esse montante corresponde a 618 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, dos quais 390 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> eq. provêm da produção de leite.

Alguns estudos recentes têm evidenciado os impactos ambientais associados à produção de leite bubalino, através da perspectiva da Avaliação do Ciclo de vida. Pirlo et al. (2014a) avaliaram a pegada de carbono do leite produzido em seis fazendas de búfalo Mediterrâneo na Itália, através da ACV. As principais fontes de GEE foram o CH<sub>4</sub>, proveniente da fermentação

entérica dos animais ruminantes e CO<sub>2</sub>, derivado de emissões indiretas, resultante da produção de eletricidade, fontes de alimentação animal, fertilizantes sintéticos e outros insumos menores.

Pirlo et al. (2014b) quantificaram o impacto ambiental da produção de 1 kg de leite bubalino normalizado (LBN), com um teor de gordura e de proteína ajustados ao leite de bubalinos Mediterrâneos na Itália. A ACV foi aplicada em seis fazendas e as categorias de impacto investigadas foram o aquecimento global, depleção abiótica, formação de ozônio fotoquímico, acidificação e eutrofização. A quantidade de alimentos concentrados e a produtividade do leite são as principais características que explicam a variabilidade significativa na Avaliação do Ciclo de Vida por quilograma de LBN.

Garg et al. (2016) ao avaliarem a pegada de carbono do leite produzido em sistemas lácteos multi-funcionais no oeste da Índia, verificaram que as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O provenientes de búfalos contribuiu com 8,2%, 80,5% e 11,3%, respectivamente, para o total de gases de efeito de estufa (GEE), enquanto que a contribuição da pecuária bovina de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O foi de 11,0%, 75,4% e 13,6%, respectivamente, para as emissões totais de GEE em fazendas. A emissão de CH<sub>4</sub>, proveniente da fermentação entérica foi identificado como o principal *hotspot* em pequenas propriedades leiteiras de gado bovino e bubalino.

Popa et al. (2017) avaliaram a evolução da emissão de metano proveniente da fermentação entérica de gado e búfalos durante o período de 1984 e 2014 na Romênia. O estudo baseou-se em dados estatísticos fornecidos pelo Instituto Nacional de Estatísticas e nas equações propostas pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Os cálculos indicaram que as emissões de metano apresentaram tendência decrescente em virtude da diminuição no número de animais e das melhorias tecnológicas e genéticas nas fazendas e a nível animal, respectivamente.

Além da emissão de GEE e a associação destes com o potencial de aquecimento global, outros impactos estão associados à criação de bubalinos, como depleção abiótica, oxidação fotoquímica, acidificação e eutrofização (PIRLO et al., 2014b). Entretanto, são escassos os estudos realizados sobre a avaliação de impacto ambiental de fazendas de búfalos leiteiros. Segundo o IDF (2009), existem poucas informações precisas disponíveis sobre os impactos ambientais de outros animais leiteiros, além dos comumente estudados como bovinos e ovinos. Estudos nesse sentido seriam úteis, pois produtos como leite de búfala estão tomando uma importância crescente na produção de leite global.

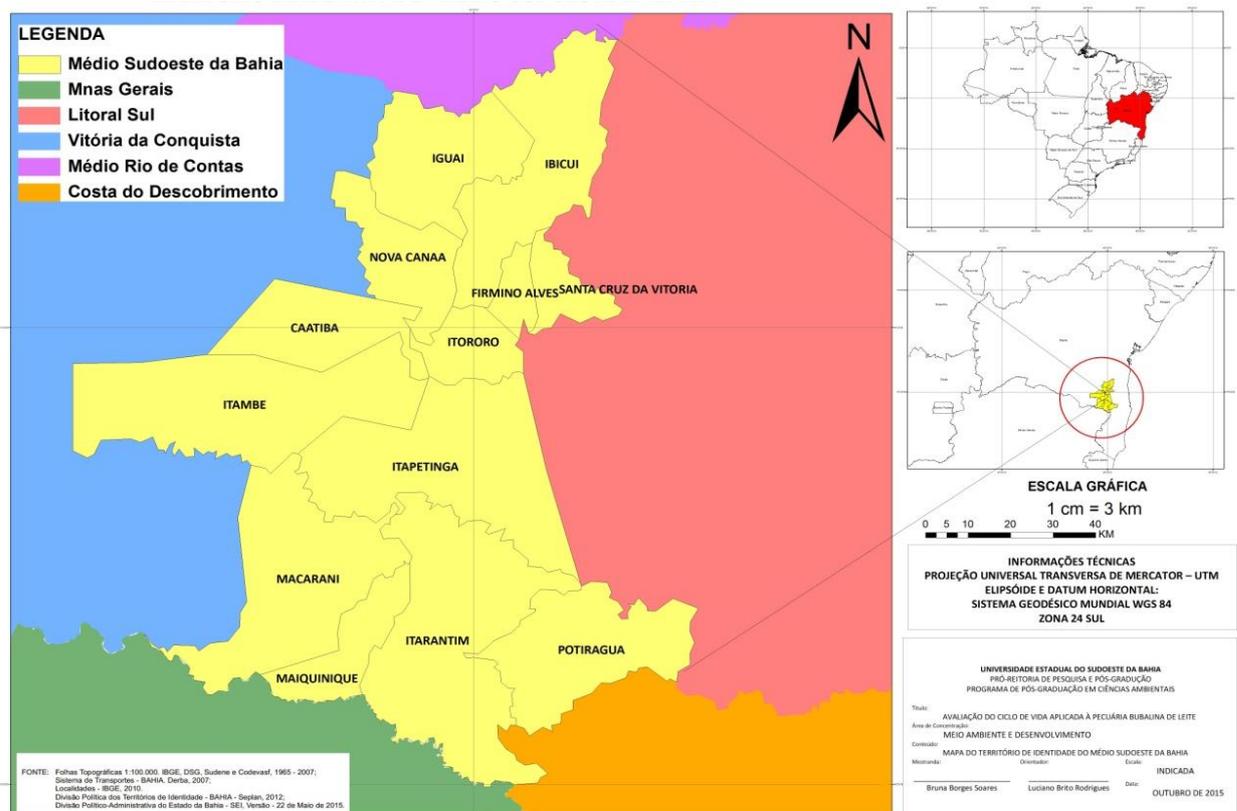
## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho foi realizado por meio de uma pesquisa de caráter exploratória e descritiva, com abordagem quali-quantitativa. Quanto aos procedimentos empregados, ocorreu por meio de um estudo de caso, além de cunho bibliográfico e documental (GIL, 2008).

### 4.2 ÁREA DE ESTUDO

A área que compreendeu o estudo está localizada na região denominada Território de Identidade do Médio Sudoeste (Figura 3), região que apresenta papel importante no desempenho do estado da Bahia no que se refere à produção agrícola e animal.

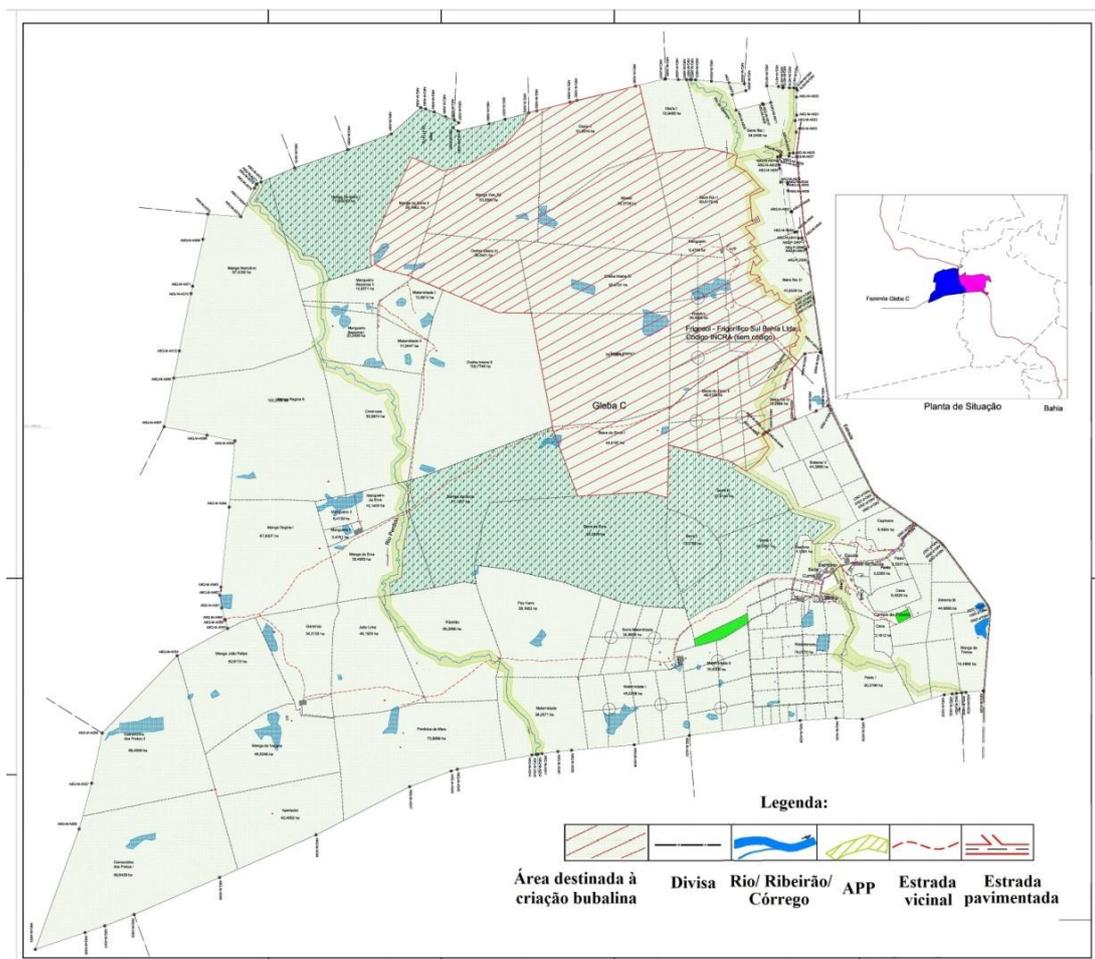


**Figura 3.** Território de Identidade do Médio Sudoeste. **Fonte:** SEI (2015).

Segundo Maderi (2014), o Território de Identidade do Médio Sudoeste configura uma das mais importantes bacias leiteiras de gado bovino do estado e que concentra também uma parcela significativa das indústrias de laticínios. Além da criação bovina (856.872 cabeças), a região conta com uma produção significativa de outras espécies, como ovinos (29.060 cabeças), suínos (30.442 cabeças), caprinos (7.356 cabeças), asininos (5.281 cabeças) e bubalinos (2.900 cabeças) (SEI, 2015).

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DA PROPRIEDADE

A fazenda onde o estudo foi realizado ocupa uma área total de 3000 hectares, sendo 608,13 hectares destinados à criação bubalina de leite (Figura 4). O tipo de clima é de subúmido a seco, com 237 metros de altitude, temperatura média anual de 23,1° e pluviosidade anual de 803,3 mm (SEI, 2015).



**Figura 4.** Mapa com a localização da área de estudo. **Fonte:** Propriedade.

A fazenda conta com uma produção média de 350 l/dia de leite na estação seca (baixa estação) e 1200 l/dia na estação chuvosa, compreendida entre os meses de outubro a abril (alta estação). O rebanho é composto de 691 animais distribuídos entre búfalos maduros leiteiros, não leiteiros e búfalos em crescimento. O sistema de produção é caracterizado como extensivo, sendo a alimentação dos animais baseada a pastagem cultivada, somada à suplementação mineral. A área destinada à pastagem está distribuída em nove glebas de pastejo contínuo e dois módulos de pastejo rotacionado.

A reprodução do rebanho é realizada através da monta natural. A ordenha é mecanizada, realizada uma vez ao dia e com estímulo do bezerro ao pé. O volume diário de produção da propriedade varia de acordo sazonalidade entre os períodos da seca e de chuva, sendo a média de produção em torno de 5,5 litros/búfala, com certificação de produção orgânica.

Além do leite ordenhado diariamente, a fazenda gera como coprodutos animais excedentes (vendidos para abate ou engorda) e búfalas de descarte. O leite é o produto principal e de interesse, enquanto os animais comercializados (carne) são produtos secundários da produção do leite.

A fazenda conta com as seguintes instalações: curral de espera, sala de ordenha, sala do tanque (tanque de resfriamento), sede da fazenda (estrutura administrativa), residências de funcionários, além de estradas não pavimentadas. Quanto aos equipamentos utilizados têm-se: ordenhadeira mecânica, tanque de resfriamento, aquecedor de água e uma bomba para captação de água. Como maquinários, a fazenda faz uso esporádico de um trator e um gerador de eletricidade, ambos abastecidos com óleo diesel.

A água utilizada nas operações de ordenha e higienização é oriunda de duas fontes: (1) fornecida pelo serviço de abastecimento de água do município – água potável; (2) captada diretamente de um córrego que passa dentro da propriedade. A água é utilizada basicamente para a lavagem dos equipamentos, instalações e ordenha dos animais. Como fonte de energia, a propriedade utilizada a energia elétrica, proveniente de concessionária estadual, sendo esta utilizada nas operações de ordenha e nas instalações da fazenda.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A metodologia empregada neste trabalho foi baseada nos princípios estabelecidos pela ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, conforme as fases estabelecidas pelas normas. O software SIMAPRO<sup>®</sup>, versão 8.0.5.13, foi utilizado para o processamento de dados e modelagem dos possíveis impactos ambientais gerados pela atividade.

Conforme os princípios metodológicos da ACV, os seguintes itens foram definidos:

#### 4.4.1 FASE 1: Definição de objetivo e escopo

##### - Objetivo da ACV

A ACV foi empregada para avaliar as interferências e os principais impactos ambientais gerados pela pecuária leiteira em uma fazenda de búfalos, localizada no Território identidade do Médio Sudoeste da Bahia. O objeto de estudo foi uma fazenda modelo que representa de forma eficiente demais empreendimentos desse setor e que apresenta atividade relevante na economia local.

##### - Escopo da ACV

Conforme retrata a norma ISO 14040:2006, no escopo de estudo foi considerado os seguintes itens: a) função b) unidade funcional; c) fronteiras do sistema; d) requisitos da qualidade dos dados; e) limitações do estudo; f) procedimentos de alocação, a saber:

a) Função: função econômica da fazenda em estudo, ou seja, a produção de leite de búfala *in natura* refrigerado;

b) Unidade funcional: 1 kg de leite de búfala corrigido pelo teor de gordura e proteína do leite (FPCM – *Fat and Protein Corrected Milk*), na saída do portão da fazenda. Esta correção consiste na padronização do leite do rebanho bubalino utilizando-se os padrões de gordura e proteína. A equação proposta por IDF (2015) foi utilizado para a conversão do leite cru para FPCM (Equação 1):

$$FPCM \left( \frac{kg}{ano} \right) = Produção \left( \frac{kg}{ano} \right) \cdot [0,1226 \cdot G\% + 0,0776 \cdot P\% + 0,2534] \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

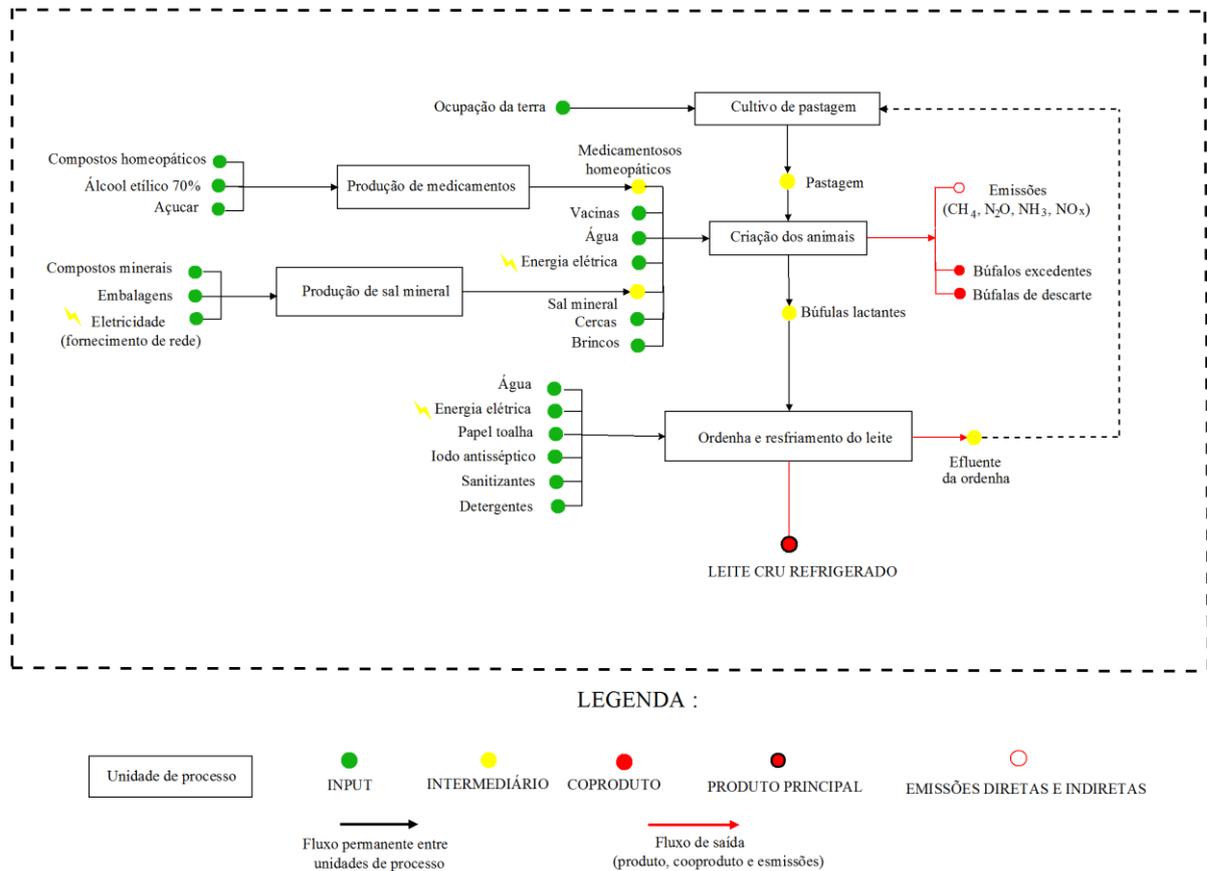
$Produção (kg/ano)$  = Massa do leite cru produzida por ano (kg/ano);

$G\%$  = Porcentagem de gordura do leite;

$P\%$  = Porcentagem de proteína do leite;

A densidade do leite de búfala foi estimada em 1,0323 kg e os valores para o índice de gordura e de proteína foram obtidos a partir das análises bromatológicas do leite, registrado pelo laticínio que compra e processa o leite resfriado. Foi utilizado como referência um percentual médio de 6,75 para gordura e 3,69 para proteína do leite.

c) Fronteira do sistema: Incluiu como unidades de processo a produção de sal mineral, produção de medicamentos, criação dos búfalos, ordenha e resfriamento do leite e o cultivo de pastagem (Figura 05).



**Figura 5.** Limite do sistema da produção bubalina de leite.

d) Requisitos da qualidade dos dados: Foram utilizados procedentes primários, obtidos através da caracterização do objeto em estudo e monitoramento da propriedade, sendo empregados dados secundários, quando não foi possível a obtenção desses. Os dados primários foram coletados através de visitas *in loco*, consultas a arquivos da empresa e *check list*. Os responsáveis por fornecer as informações foram os funcionários da propriedade e supervisor de produção. Os dados secundários foram obtidos através de pesquisas bibliográficas.

e) Limitações do estudo: Edifícios, infraestruturas, equipamentos e o trabalho humano não foram incluídos nos limites do sistema. Além desses, não foram considerados no estudo os compostos homeopáticos, utilizados na fabricação dos medicamentos e o consumo

de combustível (diesel) pelo trator e pelo gerados por contribuir com menos de 1% do impacto ambiental (*cut-off*).

f) Procedimentos de alocação: Como a produção de leite de búfalo na fazenda é um processo multifuncional, os impactos ambientais foram repartidos entre o principal produto (leite) e coprodutos (animais excedentes e búfalas de descarte – animais de substituição), tendo como referência o seu valor mássico (alocação mássica). A alocação foi realizada com base no coeficiente de atribuição para o leite e carne, obtidos a partir das equações 2 e 3 propostas pelo IDF (2015):

$$AF_{leite} = 1 - 6,06 \cdot BMR \quad (\text{Equação 2})$$

$$AF_{carne} = 1 - AF_{leite} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

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

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

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

$M_{carne}$  = Soma do peso vivo de todos os animais vendidos incluindo bezerros e animais maduros abatidos;

$M_{leite}$  = Soma de leite vendido, corrigido pelo teor de gordura e proteína;

Tendo por base as equações acima mencionadas e os resultados obtidos para os fatores de alocação (coeficientes de atribuição), alocou-se 76,5% dos impactos ambientais para o leite e 23,5% para a carne, na forma de animais excedentes e búfalas de descarte.

Os dados coletados nesse estudo representam o período de atividade da propriedade de janeiro de 2015 a dezembro de 2015, sendo considerados valores médios para a elaboração do inventário. Este período foi escolhido por abranger tanto a estação de seca, com a diminuição do volume de leite produzido, quanto à estação de chuva, com maior disponibilidade de pastagem e produção de leite. Além disso, a coleta de dados compreendida entre o período 12 meses minimiza os erros associados à aquisição dos dados.

#### - Fluxos elementares

Neste item estão apresentados os fluxos elementares de matéria e energia compreendidos no limite do sistema de produção bubalina (Figura 5).

### I. Pastagem

Para o “cultivo de pastagem” foi considerado que os pastos permanentes existem a 20 anos de preparo e uso (período de transição necessário para alcançar novos níveis de carbono no solo). Dessa forma, apenas o uso e ocupação do solo foram considerados no estudo, uma vez que as emissões resultantes da mudança da terra (transformação do solo) ocorreram antes da avaliação realizada. Como o manejo das pastagens é realizado de forma orgânica, não é utilizado nenhum tipo de aditivo químico.

Não foi considerado o sequestro de carbono realizado pela pastagem permanente. O dióxido de carbono fixado pelas plantas através da fotossíntese foi excluído do estudo porque equivale ao CO<sub>2</sub> produzido pela respiração dos animais (IPCC, 2006a).

### II. Cercas – Demarcação de área

Para a modelagem das cercas foi considerado como insumos a madeira, utilizada como estacas na estrutura das cercas e o arame.

O cálculo para a quantidade de estacas e arame utilizados foi realizado com base no perímetro das áreas de pastagem demarcadas. Para estes, foi considerado um tempo médio de vida útil da madeira de 20 anos e de 75 anos para o arame.

### III. Água

A água utilizada na propriedade é obtida através de duas fontes: (1) Do serviço de abastecimento de água do município – água potável e (2) através da captação de água superficial de um rio que atravessa a propriedade. A água fornecida pelo sistema de abastecimento é utilizada, sobretudo, nas operações que requerem água potável; a água captada diretamente do rio é utilizada na limpeza do chão da sala de ordenha. O consumo de água nas operações de ordenha e limpeza das instalações foi determinado através do método de cubagem.

Para a modelagem do processo de obtenção de água tratada, advinda da concessionária, foram considerados dados secundários obtidos através da base Ecoinvent® do software Simapro®. O subsistema relacionado à obtenção de água incluiu as etapas desde o bombeamento de água bruta superficial até a obtenção de água da torneira (tratamento convencional).

Para dessedentação animal foi considerado que os búfalos requerem de 25%-30% a mais de água que bovinos nas mesmas condições de manejo (SCARM, 2003). Sendo assim,

para a estimativa de ingestão diária de água por bubalinos foi considerado o consumo bovino (Tabela 1), conforme a Embrapa (2013), acrescido da referida porcentagem.

**Tabela 1.** Consumo de água de dessedentação para bovinos de leite em L.dia<sup>-1</sup>. animal<sup>-1</sup>

<b>Categoria - Animais</b>	<b>Consumo médio de água (litros/dia)</b>
Vaca em Lactação	64
Vaca e Novilha no final da gestação	51
Vaca Seca e Novilha gestante	45
Fêmea em crescimento	30
Bezerro Lactante (a pasto)	12
Bezerro Lactante (baia até 60 dias)	1
Animal não lactante	46

**Fonte:** Adaptado da Embrapa (2013).

#### IV. Energia

A propriedade utiliza energia elétrica proveniente de concessionária estadual. A quantificação do consumo foi realizada através do somatório do tempo de uso dos equipamentos utilizados na fazenda e das respectivas potências (Tabela 2). Dispositivos de menor consumo ou de consumo irrelevante foram desconsiderados das estimativas. No estudo também foi considerado o consumo de energia elétrica para a produção de sal mineral, obtido através de fontes secundárias.

**Tabela 2.** Equipamentos utilizados na produção bubalina de leite

<b>Equipamentos</b>	<b>Potência</b>	<b>Unidade</b>
Ordenhadeira mecânica	5	cv
Tanque de resfriamento	4,5	hp
Bomba para captação de água	3,5	cv
Aquecedor de água	2500	W
Lâmpada fluorescente	40	W
Lâmpada incandescente	150	W

Para a modelagem foram considerados os dados secundários da base Ecoinvent® do software Simapro® como a eletricidade de baixa voltagem para o Brasil. O fluxo geral inclui

as etapas de: produção de eletricidade e transformação para baixa tensão, transmissão, além das emissões diretas para o ar e perdas de energia durante a transmissão.

#### V. Medicamentos

A formulação dos medicamentos homeopáticos foi obtida junto ao laboratório da propriedade. Foi incluído neste subsistema matérias-primas como açúcar e álcool. As embalagens geradas pós-consumo (embalagens do açúcar – sacos de polipropileno – não foram consideradas por serem reaproveitadas na propriedade).

Os compostos homeopáticos não foram considerados na modelagem uma vez que a quantidade utilizada apresenta uma contribuição pequena diante das outras matérias-primas (*cut-off*) e no *software* utilizado não existem processos adequados para representá-los.

#### VI. Brincos (Identificação animal)

A quantidade de brincos utilizada foi calculada com base na quantidade de animais constantes na propriedade durante ano de estudo e na massa de cada brinco. O componente básico considerado para a fabricação dos brincos foi o poliuretano termoplástico.

#### VII. Sal mineral

Para a modelagem deste subsistema foram consideradas, separadamente, duas categorias de faixa etária animal (búfalos maduros e búfalos em crescimento), uma vez que cada categoria, além de consumir suplementação mineral específica, ingere quantidades diárias proporcionais à faixa etária.

O subsistema produção de sal mineral considerou as matérias-primas utilizadas na produção do insumo (cloreto de sódio, cálcio, magnésio, cobalto, iodo, zinco, entre outros), a energia elétrica consumida nos processos de fabricação e o transporte do produto até a fazenda. A composição dos dois tipos de suplementação utilizada foi obtida através dos rótulos das embalagens e das especificações técnicas informadas pelo fabricante. Dados relativos ao consumo energético durante o processamento e embalagens foram obtidos de fontes secundárias (OLSZENSVSKI, 2011).

Os processos referentes às matérias-primas, embalagem e energia foram obtidos através da base de dados Ecoinvent<sup>®</sup>. Os resíduos sólidos (embalagens pós-consumo) foram desconsiderados na modelagem uma vez que são reaproveitados para finalidades diversas na propriedade.

### VIII. Papel toalha (lenços de papel)

Para o insumo papel toalha, foram considerados dados obtidos através da base Ecoinvent® do software Simapro®. A produção de papel toalha abrangeu as etapas desde o recebimento da celulose até a saída do papel na fábrica.

As características do papel foram obtidas a partir das especificações técnicas da marca utilizada e consumo de papel toalha foi estimado em função da quantidade média de búfalas ordenhas por dia. Os resíduos de papel, gerados após o consumo, foram desconsiderados do estudo uma vez que são destinadas ao serviço de coleta municipal.

### IX. Detergentes e sanitizantes

Para o subsistema produção de detergentes e sanitizantes foram consideradas os princípios ativos que compõe a formulação dos produtos utilizados e o transporte destes até a propriedade. A composição dos produtos foi obtida a partir do rótulo das embalagens e especificações técnicas do fabricante. As embalagens foram desconsideradas como resíduos.

### X. Transporte

Neste estudo foram considerados dois tipos de transporte: (1) o transporte de sal mineral da fábrica até a propriedade e (2) o transporte dos agentes de limpeza e sanitização. O transporte dos demais insumos (açúcar, álcool etílico, papel toalha e outros) foi desconsiderado do estudo, uma vez que estas matérias-primas são compradas em fornecedor da região e a compra ocorre esporadicamente, quando é realizado algum deslocamento para o local onde se encontra a empresa fornecedora.

Além das distâncias percorridas durante o transporte, o tipo de transporte rodoviário utilizado (caminhão de pequeno, de médio e de grande porte), as emissões geradas durante transporte foram consideradas. O veículo propriamente dito não faz parte do inventário. Foi considerado que os dois tipos de transporte foram realizados com a capacidade máxima de carga (100% sendo ocupado), sendo ponderada a porcentagem adquirida pela propriedade, e que na viagem de regresso o veículo faz viagem de volta vazio (retorno vazio).

A localização das fábricas ou centrais de abastecimento foi obtida através das notas fiscais e as distâncias entre estas e a propriedade foram estimadas através do serviço de mapas e rotas disponibilizado pelo *software Google Earth* (Tabela 3). Os demais dados foram obtidos através da base de dados Ecoinvent®.

**Tabela 3.** Distâncias médias entre as fábricas ou centrais de abastecimento e a propriedade

Insumos	Distância (km)
Suplementação mineral	1645
Detergentes e sanitizantes	981
Demais insumos	Desconsiderado

## XI. Coprodutos

A Produção de carne foi calculada somando o peso vivo de bezerros, novilhas e búfalos vendidos para substituição, engorda ou abate (Tabela 4). O transporte dos animais da propriedade até o comprador não foi considerado no estudo. O preço de comercialização da arroba (@) variou entre os animais excedentes, vendidos para engorda ou abate, e animais de substituição (búfalas de descarte).

**Tabela 4.** Coprodutos e seus respectivos pesos vivos

	Coprodutos	Animais (cabeças)	Peso vivo (kg)
Búfalos excedentes	Bezerros machos (pós-desmame)	181	200
	Bezerras fêmeas (pós-desmame)	103	180
	Novilhas	7	400
	Touros	4	600
Búfalas de descarte	Búfalas de substituição	29	550

## XII. Emissões

A modelagem das emissões atmosféricas considerou as emissões de gás metano (CH<sub>4</sub>), resultante da fermentação entérica bubalina e da geração de esterco, e emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), também a partir do esterco animal.

As equações utilizadas foram baseadas no método de cálculo do IPCC, 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 (IPCC, 2006a); e Capítulo 11 - Emissões de N<sub>2</sub>O dos solos manejados, e emissões de CO<sub>2</sub> a partir da aplicação de cal e ureia (IPCC, 2006b), foram adotadas as equações referentes ao *Tier 2* e *Tier 1*, quando o primeiro não estava disponível.

Foram também utilizados os relatórios de referência do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT, 2010), do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de gases

de Efeito Estufa, para a as emissões de metano e óxido nitroso. As equações utilizadas no cálculo das emissões estão apresentadas na Tabela 5:

**Tabela 5.** Equações utilizadas para o cálculo de emissões atmosféricas

<b>Emissões de CH<sub>4</sub> – Fermentação entérica e manejo de dejetos</b>	
<b>Coefficientes</b>	<b>Equações</b>
Energia líquida para manutenção (MJ/dia)	$EL_m = Cf_i \cdot (PV)^{0,75}$
Energia líquida para atividade (MJ/dia)	$NE_a = C_a \cdot EL_m$
Energia líquida para o crescimento (MJ/dia)	$EL_c = 22,02 \cdot \left( \frac{PV_m}{C \cdot PV_f} \right)^{0,75} \cdot GP^{1,097}$
Energia líquida para lactação (MJ/dia)	$EL_l = \text{Produção de leite} \cdot (1,47 + 0,40 \cdot \% G)$
Energia líquida para trabalho (MJ/dia)	$EL_t = 0,10 \cdot NE_m \cdot \text{Horas}$
Energia líquida para gestação (MJ/dia)	$EL_g = C_p \cdot NE_m$
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	$REC = \left[ 1,164 - (5,160 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + [1,308 \cdot 10^{-5} \cdot (DE\%)^2] - \left( \frac{37,4}{DE\%} \right) \right]$
Energia bruta (MJ/dia)	$EB = \left[ \frac{\left( \frac{EL_m + EL_a + EL_l + EL_t + EL_g}{REM} \right) + \left( \frac{NE_c}{REC} \right)}{\frac{DE\%}{100}} \right]$
Consumo de matéria seca – Vacas leiteiras maduras (kg/dia)	$CMS = \left[ \frac{\left( \frac{5,4 \cdot PV}{500} \right)}{\left( (100 - DE\%) / 100 \right)} \right]$
Emissões de metano por fermentação entérica - Subcategoria animal (Gg CH <sub>4</sub> /ano)	$Emissões = EF_{(T)} \cdot \left( \frac{N_{(T)}}{10^6} \right)$
Emissão total de metano por fermentação entérica (Gg CH <sub>4</sub> /ano)	$Total CH_4_{(Entérico)} = \sum_i E_i$

**Tabela 5.** Equações utilizadas para o cálculo de emissões atmosféricas (continuação)

Fator de emissão para a população animal (kg CH <sub>4</sub> /cabeça.ano)	$FE = \left[ \frac{EB \cdot \frac{Y_m}{100} \cdot 365}{55,65} \right]$
Emissões de metano proveniente do manejo de dejetos (Gg CH <sub>4</sub> / ano)	$CH_4 (Estrume) = \sum_T \frac{(EF_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6}$
<b>Emissões de N<sub>2</sub>O de solos manejados</b>	
<b>Coefficientes</b>	<b>Equações</b>
Emissões diretas (kg N <sub>2</sub> O/N.ano)	$N_2O_{Diretas} - N = \sum_i (F_{SN} + F_{ON})_i \cdot FE_{1i} + (F_{CR} + F_{SOM}) \cdot FE_1 + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP}$
Dejetos depositados no solo (kg N <sub>2</sub> O – N/ano)	$N_2O - N_{PRP} = [(F_{PRP,CPP} \cdot FE_{3PRP,CPP}) + (F_{PRP,SO} \cdot FE_{3PRP,SO})]$
N anual depositado por animais pastores (kg N/ano)	$F_{PRP} = \sum_T [(N_{(T)} + Nex_{(T)}) + MS_{(T,PRP)}]$
Emissões indiretas – volatilização (kg N <sub>2</sub> O – N/ano)	$N_2O_{(V)} - N = \left\{ \sum_i (F_{SN_i} \cdot Frac_{GASF_i}) + [(F_{ON} + F_{PRP}) \cdot Frac_{GASM}] \right\} \cdot FE_4$
Emissões indiretas –lixiviação e escoamento (kg N <sub>2</sub> O – N/ano)	$N_2O_{(L)} - N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \cdot Frac_{LEACH-(H)} \cdot FE_5$

**Fonte:** IPCC (2006a; 2006b).

### XIII. Efluente

O efluente gerado na ordenha é encaminhado direcionado para as pastagens. A gestão do efluente é realizada como forma de aproveitamento e destinação final do resíduo, sendo reintroduzido no próprio sistema como fertilização orgânica para o solo. Como a reciclagem do efluente não compensa um dano adverso, nem é realizada em uma escala que traga efeitos negativos ao meio, o efluente foi identificado como insumo no sistema, porém não foi inventariado.

Os fluxos foram modelados através das bases de dados Ecoinvent<sup>®</sup> do *software* Simapro<sup>®</sup>, versão 8.0.5.13. Os processos escolhidos foram baseados na representatividade da realidade de estudo, sendo selecionados aqueles que mais se aproximavam dos processos utilizados na fazenda (Tabela 6).

**Tabela 6.** Descrição dos processos utilizados para modelagem dos fluxos elementares no software Simapro®, versão 8.0.5.13

<b>Criação dos animais</b>			
<b>Fluxos elementares</b>		<b>Processo</b>	<b>Categoria</b>
Água para dessedentação animal	Poços e açudes naturais	Water, unspecified natural origin, BR	-
Brincos para identificação animal		Polyurethane flexible foam E	Plastics\Thermosets
	Arame liso	Wire drawing, steel {GLO}  market for   Alloc Def, U	Metals\Chipless shaping\Market
Cercas	Estacas de madeira	Roundwood, eucalyptus ssp. from sustainable forest management, under bark {GLO}  market for   Alloc Def, U	Wood\Extraction\Market
	Para o ar	Dinitrogen monoxide	-
		Methane, biogenic	
Emissões	Para o solo	Dinitrogen monoxide	-
	Para a água	Dinitrogen monoxide	-
<b>Produção de sal mineral</b>			
<b>Fluxos elementares</b>		<b>Processo</b>	<b>Categoria</b>
		Calcium	-
		Phosphorus	-
		Sulfur	-
		Cobalt	-
		Copper	-
		Iron	-
		Iodine	-
		Manganese	-
		Selenium	-
		Zinc	-
		Fluorine	-
		Sodium	-
		Sodium chloride	-
Sal mineral	Compostos minerais		
	Embalagem do sal mineral	Polypropylene resin, at plant/RNA	Plastics\Thermoplasts

**Tabela 6.** Descrição dos processos utilizados para modelagem dos fluxos elementares no software Simapro®, versão 8.0.5.13 (continuação)

Sal mineral (continuação)	Energia - produção de sal mineral	Electricity, medium voltage {BR}  market for   Alloc Def, U	Electricity country mix\Medium Voltage\Market
	Transporte	Transport, truck >20t, EURO5, 100%LF, empty return/GLO Mass	Road
<b>Produção de medicamentos</b>			
<b>Fluxos elementares</b>		<b>Processo</b>	<b>Categoria</b>
Medicamentos homeopáticos	Álcool etílico 70%	Ethanol, from ethene, at plant/RER Mass	Chemicals\Organic
	Açúcar	Sugar, from sugarcane {GLO}  market for   Alloc Def, U	Agricultural\Food\Market
<b>Ordenha e resfriamento do leite</b>			
<b>Fluxos elementares</b>		<b>Processo</b>	<b>Categoria</b>
Água Tratamento convencional	Higienização da ordenhadeira e tanque de resfriamento	Tap water {RoW}  tap water production, conventional treatment   Alloc Def, U	Water Drinking water\Transformation
Água Superficial, sem tratamento	Limpeza da sala de ordenha	Water, river, BR	-
Energia elétrica	Utilizada no processo de ordenha e resfriamento do leite	Electricity, low voltage {BR}  market for   Alloc Def, U	Electricity country mix\Low Voltage\Market
Papel toalha		Tissue paper {GLO}  production, virgin   Alloc Def, U	Paper + Board\Graphic paper\Transformation
Detergentes e sanitizantes	Desinfetante Iodado <i>pré-dipping</i>	Iodine {GLO}  market for   Alloc Def, U	Chemicals\Inorganic\Market
	Desincrustante alcalino clorado	Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Chemicals\Inorganic\Market
	Sanitizante a base de ácido paracético	Acetic acid, without water, in 98% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Chemicals\Acids (organic)\Market
	Desincrustante ácido a base de ácido nítrico	Nitric acid, without water, in 50% solution state {GLO}  market for   Alloc	Chemicals\Acid (inorganic)\Market
	Detergente neutro	Alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical {GLO}  market for   Alloc Def, U	Chemicals\Washing agents\Tensides\Market
	Transporte	Transport, truck 10-20t, EURO5, 100%LF, empty return/GLO Mass	Road

**Tabela 6.** Descrição dos processos utilizados para modelagem dos fluxos elementares s no software Simapro®, versão 8.0.5.13 (continuação)

<b>Cultivo de pastagem</b>			
<b>Fluxos elementares</b>	<b>Processo</b>		<b>Categoria</b>
Pastagem	Uso e ocupação do solo	Occupation, pasture and meadow, extensive	-

#### **4.4.2 FASE 2: Análise do inventário do ciclo de vida (ICV)**

Para análise do inventário e de acordo com a norma ISO 14044 (2006), foram utilizados os dados qualitativos e quantitativos para cada processo unitário que está incluído dentro dos limites da unidade produtiva da fazenda. Foram contabilizados, portanto todos os insumos necessários para a criação dos animais, recria, produção do leite.

Os principais dados analisados foram sobre consumo de recursos naturais e materiais secundários, consumo de energia elétrica, emissões atmosféricas, além de outras entradas e saídas identificadas no sistema.

#### **4.4.3 FASE 3: Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)**

A AICV foi dirigida à avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, usando os resultados obtidos na análise de inventário do ciclo de vida.

Nesse estudo foi utilizado o Método ReCipe 2008 versão 1.12, midpoint, que consiste em um conjunto de categorias de impacto que permite criar uma correlação dos dados obtidos no inventário por categorias de impacto específicas (classificação). Tais categorias refletem os impactos potenciais (pressões) relacionados com emissões poluentes ou consumo de recursos. Como base de dados, foi utilizada a base do Ecoinvent®.

As categorias selecionadas foram: mudanças climáticas, depleção de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, ocupação de terra agrícola, depleção de água, depleção fóssil, descritas na Tabela 7. O critério adotado para a seleção destas categorias foi com base: 1) na recorrência de utilização das mesmas nos trabalhos sobre ACV na pecuária de leite; 2) nos aspectos significativos identificados na fazenda em estudo.

**Tabela 7.** Descrição das categorias de impacto do método ReCiPe selecionadas para a avaliação de impacto da produção de leite bubalino

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>
Mudanças climáticas	Efeito marginal da emissão de CO <sub>2</sub> e outros gases de efeito estufa, que em determinados níveis, podem interferir sobre a temperatura dos oceanos e da camada de ar próxima à superfície da Terra.	kg CO <sub>2</sub> eq.
Depleção de ozônio	Definida como uma medida relativa de capacidade de destruição da camada de ozônio, resultado da utilização de produtos químicos recalcitrantes, especialmente os clorofluorcarbonetos (CFCs), que contêm elementos químicos conhecidos como halógenos.	kg CFC-11 eq.
Acidificação terrestre	Alteração na acidez no solo devido à deposição atmosférica de substâncias inorgânicas, tais como sulfatos, nitratos e fosfatos.	kg SO <sub>2</sub> eq.
Eutrofização de água doce	Enriquecimento em nutrientes do meio aquático, normalmente fósforo e nitrogênio, como resultado das atividades humanas industriais e agrícolas. O excesso de nutrientes pode levar a um aumento do crescimento de fitoplâncton causando uma cadeia de efeitos ecológicos adversos.	kg P eq.
Ocupação de terra agrícola	Reflete os danos aos ecossistemas devido à ocupação de determinada quantidade de área agrícola.	m <sup>2</sup> a
Depleção de água	Expressa o montante total de água utilizada ou consumida em determinada atividade	m <sup>3</sup>
Depleção fóssil	Esgotamento de combustíveis fósseis, relativo ao grupo de recursos que contêm hidrocarbonetos. Tem como medida absoluta o conteúdo energético do combustível fóssil	kg oil eq.

**Fonte:** Adaptado de Goedkoop et al (2013).

#### 4.4.4 FASE 4: Interpretações

A partir da análise do inventário e da avaliação de impacto, foram realizadas constatações a fim de obter conclusões pertinentes e propor recomendações quanto ao processo produtivo da fazenda em estudo. Os resultados da interpretação do ciclo de vida refletem dessa forma, os resultados do elemento de avaliação, indicando os potenciais impactos ambientais que a produção bubalina de leite pode causar no ambiente em estudo.

#### 4.5 ANÁLISE DE CENÁRIOS

A partir do Cenário Base (CB), foram propostos seis cenários de produção bubalina, com base no sistema de produção (extensivo, semi-intensivo e intensivo), tipo de alimentação animal empregada e as saídas de leite por ano. As análises foram realizadas a fim de avaliar as consequências ambientais dos sistemas de produção propostos e das diferentes estratégias de alimentação utilizadas, uma vez que, pesquisas recentes têm apontado as mudanças na dieta como uma das formas capazes de aumentar a sustentabilidade dos sistemas alimentares (NOTARNICOLA et al., 2017).

Os cenários propostos foram escolhidos porque representam alternativas que podem ser utilizadas na alimentação dos animais, a partir de fontes disponíveis na região ou que são de fácil acesso.

A composição da dieta utilizada como suplementação alimentar na modelagem dos cenários foi obtida a partir do *software* SuperCrac Bovinos de leite. A dieta foi formulada de acordo as características de peso e produtividade das búfalas leiteiras, de modo que a ração atendesse às exigências nutricionais dos animais.

Segue a descrição sucinta dos cenários modelados e a apresentação das principais características destes (Tabela 8).

- **Cenário 1 (C1)** – Os animais são alimentados a pasto e são suplementados com concentrado orgânico, comprado fora da fazenda (*off-farm*).
- **Cenário 2 (C2)** – Os animais são alimentados a pasto e são suplementados com concentrado convencional, comprado fora da fazenda (*off-farm*).
- **Cenário 3 (C3)** – Os animais são criados a pasto, e além de serem alimentados com concentrado orgânico a base de milho e farelo de soja, recebem o soro de leite orgânico, subproduto da indústria láctea, como suplementação alimentar.
- **Cenário 4 (C4)** – Os animais são criados a pasto, e além de serem alimentados com concentrado convencional (não orgânico) a base de milho e farelo de soja, recebem o soro de leite orgânico, subproduto da indústria láctea, como suplementação alimentar.
- **Cenário 5 (C5)** – Os animais são criados em sistema confinado, recebem alimentação composta por material volumoso e concentrado, ambos comprados em outras localidades (*off-farm*). A fração da dieta composta por volumoso é constituída de silagem de milho e o concentrado é formulado a base de milho e farelo de soja. Os dejetos produzidos pelos animais são distribuídos na pastagem e aplicados como fertilizante em terras agrícolas vizinhas.

- **Cenário 6 (C6)** – Semelhante ao C5, sendo que a diferença está na taxa de produção de leite e na fração de gordura contida neste, além do tipo de dieta oferecida aos animais (que atende os requisitos nutricionais de acordo a produção de leite do cenário).

**Tabela 8.** Descrição sucinta dos cenários modelados

Cenários	CB	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Sistema de produção	Extensivo	Semi-intensivo	Semi-intensivo	Semi-intensivo	Semi-intensivo	Intensivo	Intensivo
Produção de leite (kg/ dia)	5,5	8,0	8,0	8,0	8,0	12,0	16,0
Fração de gordura (%)	6,75	6,8	6,8	6,8	6,8	6,2	5,9
<b>Composição alimentar</b>							
Capim <i>brachiaria</i> (kg/ animal)	<sup>1</sup> NC	41,67	41,67	41,67	41,67		
Silagem de milho (kg/ animal)	-	-	-	-	-	30,30	28,66
Milho em grão moído (kg /animal)	-	1,83	2,41	1,50	2,08	3,94	5,72
Farelo de soja (kg/ animal)	-	0,85	0,24	0,82	0,21	0,76	1,25
Ureia (kg/ animal)	-		8,89E-02	-	8,89E-02	7,78E-02	7,78E-02
Fosfato bicálcio (kg/ animal)	-	2,55E-02	4,05E-02	1,85E-02	3,34E-02	5,95E-02	8,01E-02
Calcário (kg/ animal)	-	3,06E-02	2,53E-02	2,81E-02	2,28E-02	7,10E-02	0,10
Soro de leite (kg/ animal)	-	-	-	5,0	5,0	-	-
<b>Atendimento das exigências nutricionais</b>							
Cálcio (kg)	*NC	57,76E-03	57,76E-03	57,76E-03	57,76E-03	72,72 E-03	87,49
Fósforo (kg)	*NC	37,53E-03	37,53E-03	37,53E-03	37,53E-03	46,76 E-03	55,87
NDT (kg)	*NC	7,29	7,29	7,29	7,29	8,73	10,14
Proteína (kg)	*NC	1,23	1,23	1,23	1,23	1,56	1,88

<sup>1</sup> NC = Não calculado.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ESTIMATIVAS DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

A Tabela 9 apresenta os coeficientes utilizados e os resultados obtidos para as estimativas de emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) por subcategoria animal. A análise da tabela permite identificar as fontes de contribuição para o total de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) na propriedade.

No que se refere às emissões de metano, a principal contribuição foi, sobretudo, devido à fermentação entérica dos animais (36.761,00 kg  $\text{CH}_4$ /ano). As emissões provenientes do estrume dos animais (690,67 kg  $\text{CH}_4$ /ano) contribuíram com uma pequena proporção, menos de 2% do total de  $\text{CH}_4$ .

As búfalas lactantes foram os animais que apresentaram maiores contribuições para as emissões totais de metano entérico (19.310,02 kg  $\text{CH}_4$ /ano), correspondente a 52,53% deste total. As demais subcategorias animais contribuíram em menores proporções, ou por apresentarem fatores de emissão ( $FE_{Entérico}$ ) menores ou por compreenderem menos indivíduos.

Em particular, os vitelos entre 0 e 3 meses não foram inseridos no cálculo de emissão de metano, uma vez que, segundo Córdor et al. (2008), neste período os bezerros são alimentados com leite e não emitem  $\text{CH}_4$ .

**Tabela 9.** Coeficientes e estimativas das emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) por subcategorias animal

Subcategorias animais	Nº de indivíduos	Peso vivo	<sup>1</sup> EB	<sup>2</sup> FE <sub>Entérico</sub>	<sup>3</sup> CH <sub>4</sub> (Entérico)	<sup>4</sup> CH <sub>4</sub> (Estrume)	<sup>5</sup> N <sub>2</sub> O <sub>Diretas</sub>	<sup>6</sup> N <sub>2</sub> O <sub>(V)</sub>	<sup>7</sup> N <sub>2</sub> O <sub>(L)</sub>
Unidades (SI)		kg	MJ/dia	kg CH <sub>4</sub> / cabeça.ano	kg CH <sub>4</sub> /ano	kg CH <sub>4</sub> /ano	kg N <sub>2</sub> O/ano	kg N <sub>2</sub> O/ano	kg N <sub>2</sub> O/ano
Búfalas lactantes	195	525	232,77	99,24	19.310,02	194,58	242,17	24,217	27,24
Bezerras 0 - 3 meses (fêmeas mamando)	107	65	0,00	0,00	0,00	106,50	132,55	13,255	14,91
Bezerras 3 meses - desmame	2	120	67,87	28,93	45,81	1,58	1,97	0,197	0,22
Bezerras desmame - 24 meses	104	225	108,75	46,36	4.817,87	103,92	129,33	12,93	14,55
Novilhas em serviço	40	380	161,11	68,69	2.747,46	40,00	49,78	4,98	5,60
Búfalas secas	100	525	160,98	68,63	6.834,56	99,58	123,94	12,40	13,94
Bezerros 0 - 3 meses (machos mamando)	87	72	0,00	0,00	0,00	87,08	108,38	10,84	12,19
Bezerros 3 meses - desmame	2	132	65,26	27,82	55,64	2,00	2,49	0,25	0,28
Bezerros do desmame - 24 meses	40	265	110,06	46,92	1.857,36	39,58	49,26	4,93	5,54
Bezerros >24 meses	3	420	155,47	66,28	198,84	3,00	3,73	0,37	0,42
Touros	10	600	157,14	66,99	658,74	9,83	12,24	1,22	1,38
Bois carreiros	3	600	183,50	78,23	234,69	3,00	3,73	0,37	0,42
<b>Total</b>	<b>691</b>	<b>-</b>	<b>1.402,92</b>	<b>-</b>	<b>36.761,00</b>	<b>690,67</b>	<b>859,58</b>	<b>85,96</b>	<b>96,70</b>

<sup>1</sup> EB = Energia bruta requerida;

<sup>2</sup> FE<sub>Entérico</sub> = Fator de emissão entérico;

<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>(Entérico) = Emissões de CH<sub>4</sub> proveniente da fermentação entérica dos animais

<sup>4</sup> CH<sub>4</sub>(Estrume) = Emissões de CH<sub>4</sub> provenientes da gestão de estrume

<sup>5</sup> N<sub>2</sub>O<sub>Diretas</sub> = Quantidade anual de N<sub>2</sub>O – N adicionada ao solo a partir da deposição de urina e excrementos ao solo.

<sup>6</sup> N<sub>2</sub>O<sub>(V)</sub> = Quantidade anual de N<sub>2</sub>O – N produzido a partir da deposição atmosférica de N volatilizado;

<sup>7</sup> N<sub>2</sub>O<sub>(L)</sub> = Quantidade anual de N<sub>2</sub>O – N produzido a partir de lixiviação e do escoamento de N em regiões onde a lixiviação/escoamento ocorre.

A Tabela 10 apresenta um comparativo entre o valor do  $FE_{Entérico}$  encontrado para este estudo e para outros trabalhos realizados em diferentes países para a subcategoria búfalas lactantes.

**Tabela 10.** Comparação dos fatores de emissão de metano entérica (kg CH<sub>4</sub>/cabeça.ano) encontras em diferentes estudos para búfalas lactantes

<b>Autores</b>	<b>País do estudo</b>	<b>Peso vivo (kg)</b>	<b><math>FE_{Entérico}</math> (kg CH<sub>4</sub>/cabeça.ano)</b>
<b>Presente Estudo</b>	<b>Brasil</b>	<b>550</b>	<b>99,24</b>
Cóndor et al. (2008)	Itália	630	73,00
Xue et al. (2014)	China	-	61,8
Garg et al. (2016)	Índia	411- 498 kg	77,9
			77,03
			79,24
Popa et al. (2016)	Romênia	620 - 650	81,19
			86,15
			87,35

O valor obtido neste estudo foi superior aos valores encontrados por Cóndor et al. (2008), Xue et al. (2014), Garg et al. (2016) e Popa et al. (2016). É importante ressaltar, no entanto, que o coeficiente  $FE_{Entérico}$  pode variar significativamente de estudo para estudo a depender, dentre outros fatores, do peso vivo dos animais considerados, das condições de dieta, tipo de alimentação, produtividade e fração de gordura do leite (condições do estudo).

Quanto às emissões totais de nitrogênio, a maior contribuição foi através de via direta, em decorrência da deposição de dejetos no solo (859,58 kg N<sub>2</sub>O/ano), seguida pelas vias indiretas, através da volatilização de N na forma de NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> (85,96 kg N<sub>2</sub>O/ano) e da posterior lixiviação (96,70 kg N<sub>2</sub>O/ano), principalmente como NO<sup>3-</sup>.

As subcategorias que mais contribuíram para o total de N<sub>2</sub>O foram as búfalas lactantes, seguido das bezerras de 0 a 3 meses e das bezerras compreendidas entre o desmame e 24 meses de idade, sobretudo, pela quantidade de animais contemplados nestas subcategorias, uma vez que os fatores de emissão para a deposição direta, volatilização e da lixiviação/escoamento é o mesmo para todas as categorias avaliadas.

A composição do rebanho e a inclusão de subcategorias como: bezerros, novilhas, touros e bois carreiros no cálculo das emissões é certamente um fator que intensifica os valores obtidos para o total de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, uma vez que estes animais, mesmo não contribuindo efetivamente com a quantidade de leite ordenhado, estão inclusos no cálculo total das emissões.

## 5.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

### 5.2.1 Análise do Inventário

O inventário obtido para a produção 1 kg de leite de búfala corrigido pelo teor de gordura e proteína do leite (FPCM) está apresentado na Tabela 11. Estes dados identificam as entradas e saídas de cada processo elementar que constitui o sistema de produção de leite bubalino na propriedade.

**Tabela 11.** Inventário para produção de 1 kg de leite de búfala corrigido pelo teor de gordura e proteína do leite (FPCM) – Cenário Base

Criação dos animais						
	Fluxos elementares	Unidade	Consumo anual	Qualidade dos dados <sup>1</sup>	Valor total	Variância ( $\sigma^2$ ) <sup>2</sup>
INSUMOS	Água					
	- Poços e açudes naturais	m <sup>3</sup>	12.424,90	Calculado	0,0444	0,0258
	Brincos para identificação animal	g	1382	Estimado	0,0049	0,0046
	Cercas					
	- Arame liso	kg	37,24	Estimado	1,33E-04	0,0046
	- Estacas de madeira	m <sup>3</sup>	18,85	Estimado	6,73E-05	0,0046
SAÍDAS	- CH <sub>4</sub> (Entérico)	kg CH <sub>4</sub> / ano	36761,00	Calculado	0,1313	0,0120
	- CH <sub>4</sub> (Dejetos)	kg CH <sub>4</sub> / ano	690,67	Calculado	0,0025	0,0120
	- N <sub>2</sub> O Diretas	kg N <sub>2</sub> O/ ano	859,58	Calculado	0,0031	0,0440
	- N <sub>volatilização</sub>	kg N <sub>2</sub> O/ ano	85,96	Calculado	3,07E-04	0,0440
	- N <sub>lixiviação/escoamento</sub>	kg N <sub>2</sub> O/ ano	96,70	Calculado	3,45E-04	0,0440
Produção de sal mineral						
	Fluxos elementares	Unidade	Consumo anual	Qualidade dos dados	Valor total	Variância ( $\sigma^2$ )
INSUMOS	Compostos minerais					
	- Sal mineral - animais maduros	kg	5.066,20	Estimado	0,0181	0,0046
	- Sal mineral - animais em fase de crescimento	kg	2.511,20	Estimado	0,0090	0,0046
	Energia elétrica	kWh	96,23	Calculado	3,44E-04	
	Embalagem	kg	18,94	Calculado	6,76E-04	
	Transporte					
	- Transporte de sal mineral	t.km	12.319,69	Estimado	0,0440	0,1240

<sup>1</sup> Dados verificados: não foram medidos diretamente, mas são valores que fazem parte dos registros da propriedade. Dados estimados: medidos em um horizonte de tempo menor que um ano de produção e que foram extrapolados. Dados calculados: obtidos através de fórmulas matemáticas, estequiometria, entre outras.

<sup>2</sup> Weidema et al. (2013).

**Tabela 11.** Inventário para produção de 1 kg de leite de búfala corrigido pelo teor de gordura e proteína do leite (FPCM) – Cenário Base (continuação)

<b>Produção de medicamentos</b>						
	<b>Fluxos elementares</b>	<b>Unidade</b>	<b>Consumo anual</b>	<b>Qualidade dos dados</b>	<b>Valor total</b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)</b>
INSUMOS	- Açúcar cristal	kg	991,59	Estimado	0,0035	0,0032
	- Álcool	L	20,19	Estimado	7,21E-05	0,0032
<b>Ordenha e resfriamento do leite</b>						
	<b>Fluxos elementares</b>	<b>Unidade</b>	<b>Consumo anual</b>	<b>Qualidade dos dados</b>	<b>Valor total</b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)</b>
INSUMOS	Água					
	- Higienização da ordenhadeira	L	101.280,33	Verificado	0,3617	0,0032
	- Limpeza da sala de ordenha	L	836.822,75	Estimado	2,9886	0,0032
	- Higienização do tanque de resfriamento e sala do tanque	L	7.378,75	Estimado	0,0264	0,0032
	Energia elétrica					
	- Consumida na ordenha	kWh	10.670,47	Estimado	0,0381	0,0032
	- Consumida no resfriamento do leite	kWh	8.375,7024	Estimado	0,0299	0,0032
	Papel toalha (lenços de papel)	kg	71,02	Verificado	2,54E-04	0,0032
	Detergentes e sanitizantes					0,0032
	- Desinfetante iodado <i>pré-dipping</i>	L	640,57	Verificado	0,0023	0,0032
	- Sanitizante a base de ácido paracético	L	91,25	Verificado	3,26E-04	0,0032
	- Desincrustante alcalino clorado	L	182,50	Verificado	6,52E-04	0,0032
	- Desincrustante ácido a base de ácido nítrico	L	13	Verificado	4,64E-05	0,0032
	- Detergente neutro	L	46,8	Verificado	1,67E-04	0,0032
	Transporte					
	- Transporte de detergentes e sanitizantes	t.km	25,31	Estimado	9,04E-05	
<b>Cultivo de pastagem</b>						
	<b>Fluxos elementares</b>	<b>Unidade</b>	<b>Consumo anual</b>	<b>Qualidade dos dados</b>	<b>Valor total</b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)</b>
INSUMOS	- Área ocupada	h.a	547,31	Verificado	2,44E-05	0,0060

**Tabela 11.** Inventário para produção de 1 kg de leite de búfala corrigido pelo teor de gordura e proteína do leite (FPCM) – Cenário Base (continuação)

Produto e coprodutos					
Fluxos elementares	Unidade	Consumo anual	Qualidade dos dados	Valor total	Variância ( $\sigma^2$ )
Coprodutos					
- Búfalos excedentes	kg	10,325	Verificado	0,0369	0,0046
- Búfalas de descarte	kg	500	Verificado	0,0018	0,0046
Produto principal					
- Leite de búfala orgânico	L	204906,15	Verificado	-	0,0032
	FPCM	280007,94	Calculado	-	0,0032

### 5.2.2 Avaliação do Impacto – Cenário Base

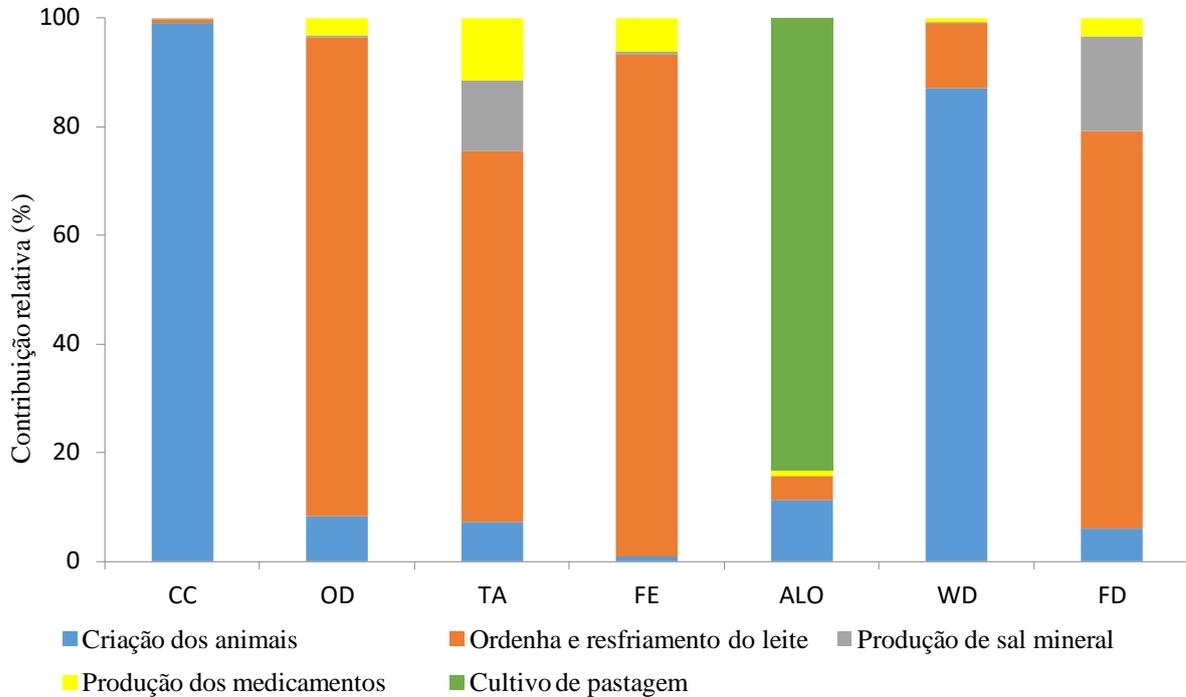
A Tabela 12 mostra a contribuição das unidades de processos, inclusas na produção de leite de búfala, para as categorias ambientais avaliadas.

**Tabela 12.** Avaliação dos impactos ambientais do ciclo de vida da produção de leite de búfala, por categoria de impacto, baseado em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World Recipe H/Characterization

<sup>1</sup> Categorias de Impacto	Unidade	Total	Criação dos animais	Ordenha e resfriamento do leite	Produção de sal mineral	Produção de medicamentos	Cultivo de pastagem
CC	kg CO <sub>2</sub> eq.	3,25	3,22	2,78E-02	4,00E-03	9,76E-04	0
OD	kg CFC-11 eq.	2,87E-09	2,39E-10	2,53E-09	1,19E-11	9,12E-11	0
TA	kg SO <sub>2</sub> eq.	1,47E-04	1,05E-05	1,00E-04	1,92E-05	1,69E-05	0
FE	kg P eq.	5,88E-06	5,18E-08	5,43E-06	2,89E-08	3,68E-07	0
ALO	m <sup>2</sup> a	0,22	2,54E-02	9,92E-03	3,68E-05	2,45E-03	0,19
WD	m <sup>3</sup>	4,65E-02	4,05E-02	5,64E-03	9,83E-06	3,95E-04	0
FD	kg oil eq.	7,75E-03	4,63E-04	5,67E-03	1,36E-03	2,60E-04	0

<sup>1</sup>CC = Mudanças climáticas; OD = Depleção de ozônio, TA = Acidificação terrestre; FE = Eutrofização de água doce, ALO = Ocupação de terra agrícola; WD = Depleção de água; FD = Depleção fóssil.

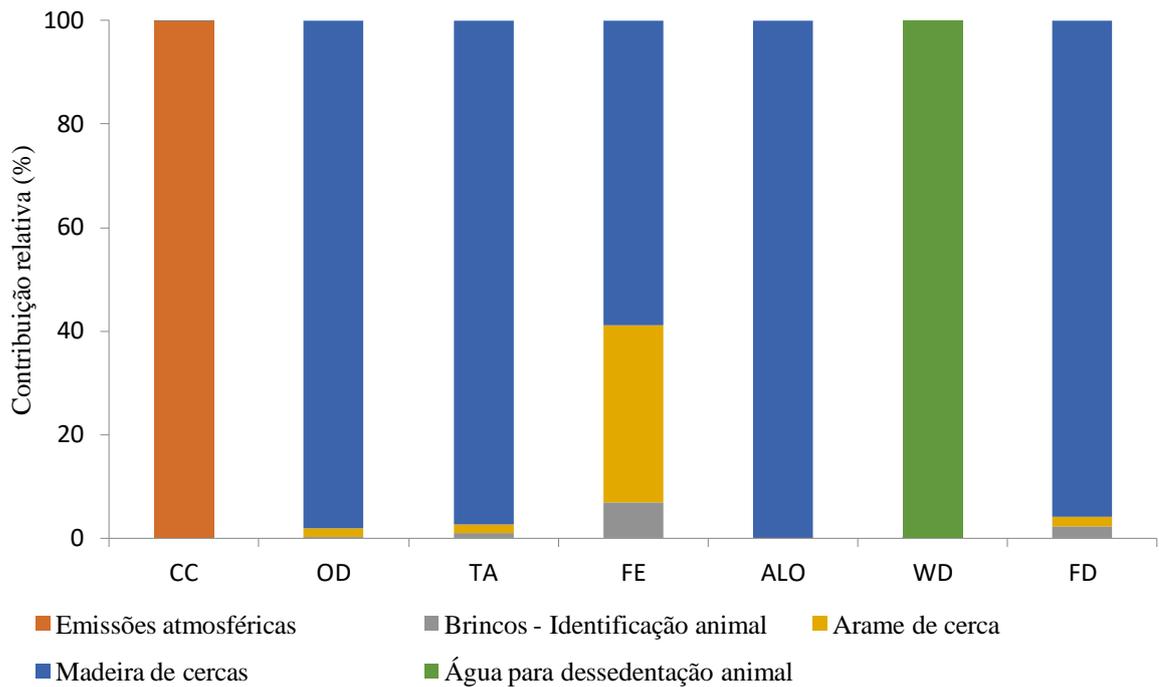
A partir dos valores apresentados na tabela 12 foi possível identificar as contribuições relativas de cada unidade de processo e identificar àquelas que apresentaram maiores contribuições para as categorias de impacto avaliadas (Figura 6).



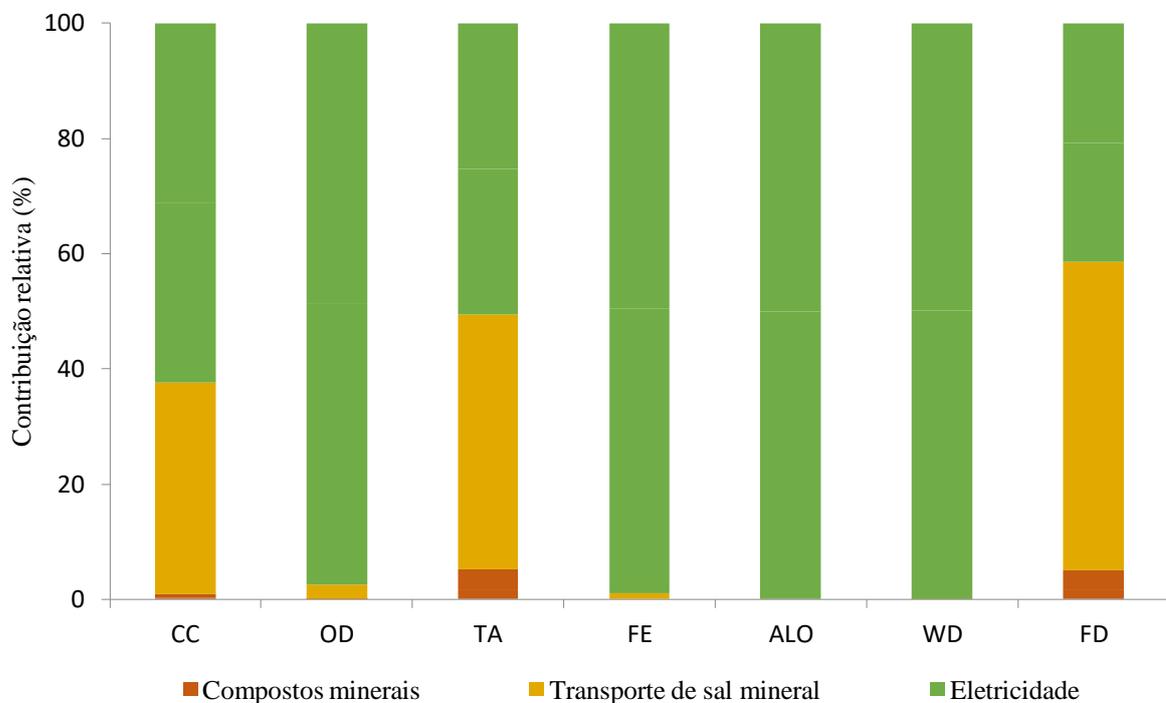
**Figura 6.** Principais contribuições do ciclo de vida da produção de leite de búfala, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization.

A unidade de processo Ordenha e resfriamento do leite foi o estágio do ciclo de vida da produção de leite de búfala que contribuiu com maiores impactos para quatro das categorias avaliadas: depleção de ozônio (88,09%), acidificação terrestre (68,23%), eutrofização de água doce (92,37%) e depleção fóssil (73,16%). A criação dos animais contribuiu com maiores impactos ambientais nas categorias: mudanças climáticas (98,99%) e depleção de água (88,18%); e o cultivo de pastagem resultou em maiores impactos apenas na categoria ocupação de terras agrícolas (83,18%). A Produção de sal mineral e de medicamentos foram às unidades que apresentaram menores contribuições para as categorias analisadas.

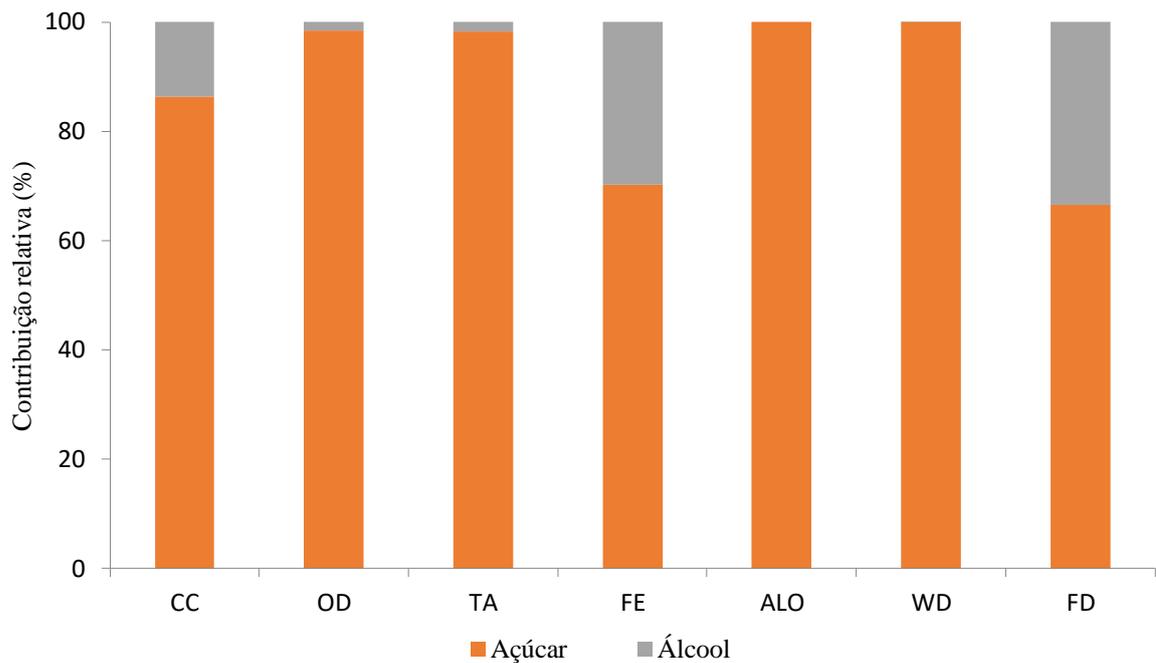
As contribuições dos fluxos elementares considerados nas unidades de processo: Criação dos animais, Produção de sal mineral, Produção de medicamentos, Cultivo de pastagem e Ordenha e resfriamento do leite, estão apresentados nas figuras 7, 8, 9, 10 e 11, respectivamente.



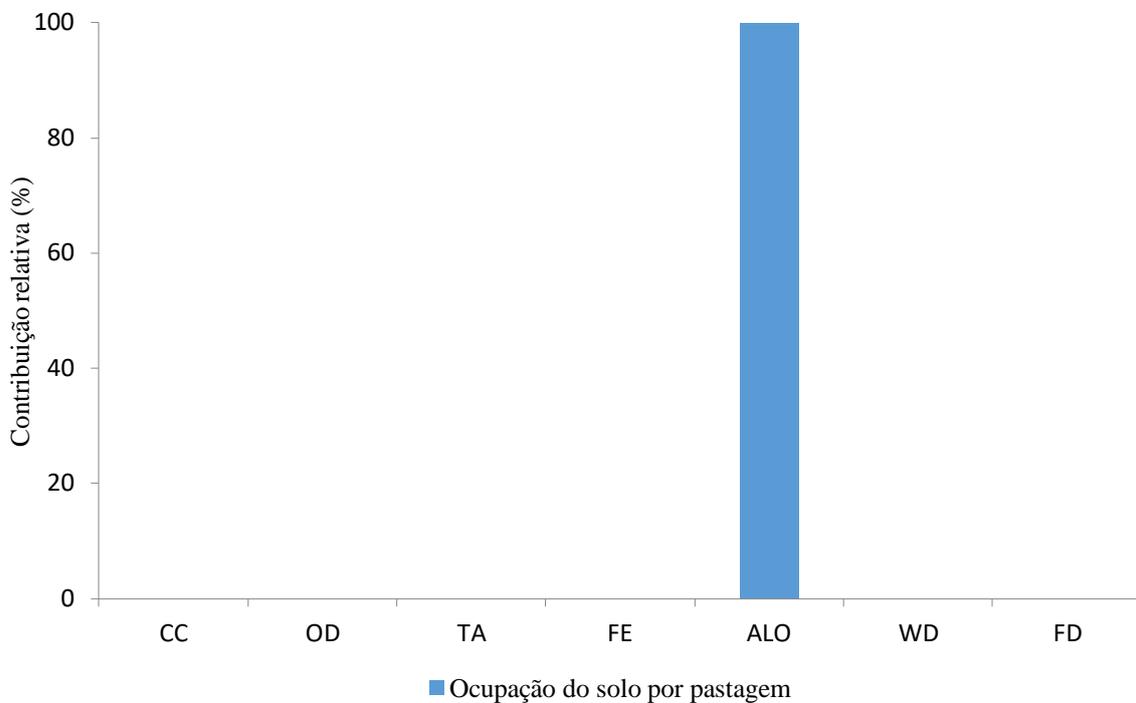
**Figura 7.** Principais contribuições da unidade de processo “Criação dos animais” para a produção de leite de búfala, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization.



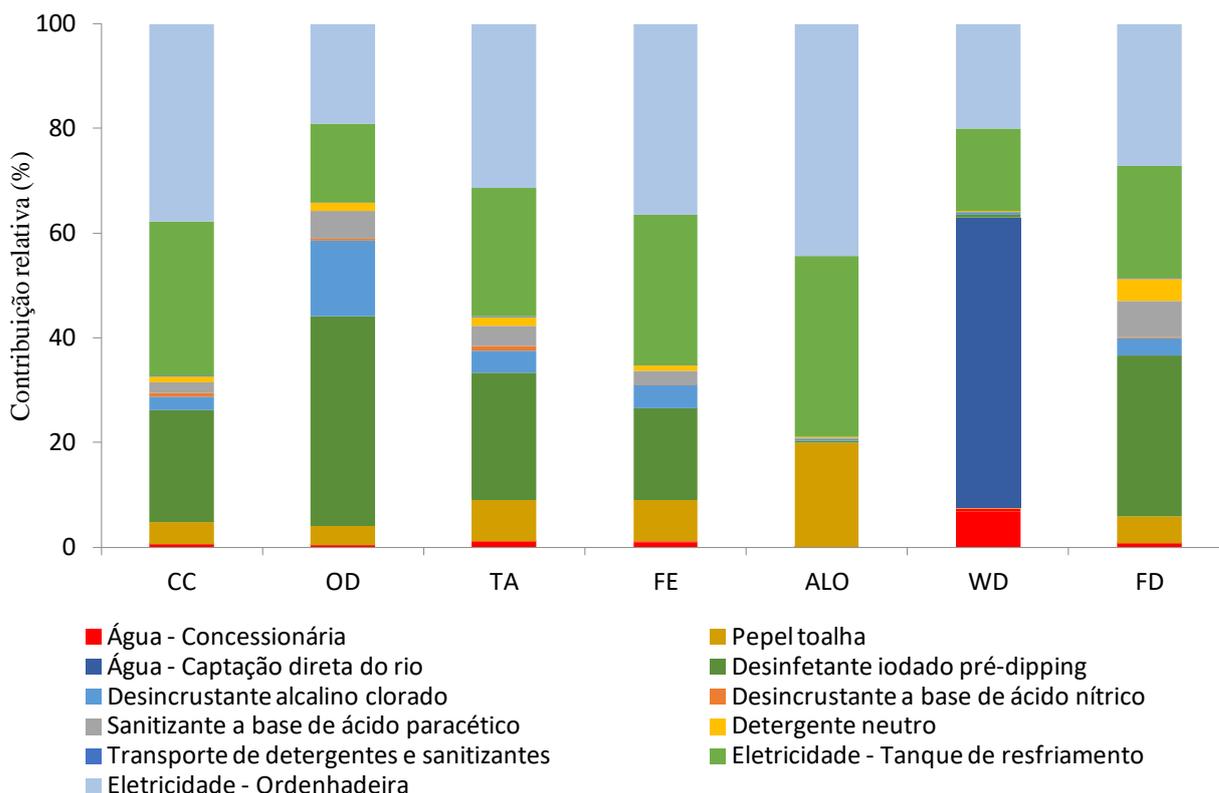
**Figura 8.** Principais contribuições da unidade de processo “Produção de sal mineral” para a produção de leite de búfala, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization.



**Figura 9.** Principais contribuições da unidade de processo “Produção de medicamentos” para a produção de leite de búfala, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization.



**Figura 10.** Principais contribuições da unidade de processo “Cultivo de pastagem” para a produção de leite de búfala, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization.



**Figura 11.** Principais contribuições da unidade de processo “Ordenha e resfriamento do leite” para a produção de leite de búfala, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization.

## - Mudanças Climáticas

Dentre as unidades de processo inclusas na produção de leite bubalino (Figura 6), a criação dos animais foi o estágio do ciclo de vida que apresentou maiores contribuições para a categoria mudanças climáticas (98,99%). As outras unidades apresentaram valores significativamente menores.

A maior contribuição associada à criação dos animais está relacionada à emissão de gases de efeito estufa (99,95%) como metano e óxido nítrico, proveniente da fermentação entérica animal e da excreção e deposição de dejetos nas pastagens (Figura 7).

A fermentação entérica foi o principal contribuinte para o total de emissões encontradas. O CH<sub>4</sub> entérico é resultado fisiológico da digestão em ruminante e representa, em parte, a captura ineficiente de energia contida nos alimentos pelos animais. Embora o metabolismo ruminal dos búfalos produza grandes quantidades de CH<sub>4</sub>, um gás com elevado potencial de aquecimento global, o peso corporal dos animais, taxa de crescimento e de produção de leite estão diretamente relacionados com o total de metano entérico emitido por estes.

A deposição direta de excretas (fezes e urina) contribuiu adicionalmente com uma pequena fração de metano, proveniente da decomposição aeróbica dos dejetos nas pastagens, e além desse, emissões de N<sub>2</sub>O, outro gás responsável pelo fenômeno do efeito estufa.

Este resultado está de acordo com o encontrado por Pirlo et al. (2014b) que evidenciaram ser o metano e N<sub>2</sub>O os principais contribuintes para a categoria mudanças climáticas em um estudo realizado em seis fazendas de búfalos leiteiros na Itália.

O valor encontrado para a categoria foi confrontado com outros trabalhos realizados na Itália e na Índia (Tabela 13).

**Tabela 13.** Resultados encontrados para a categoria mudanças climáticas (kg CO<sub>2</sub> eq.) em diferentes estudos de búfalos

<b>Autores</b>	<b>País do estudo</b>	<b>Alocação</b>	<b>Valor encontrado (kg CO<sub>2</sub> eq.)</b>	<b>Unidade funcional</b>
<b>Este estudo</b>	Brasil	Mássica	3,25	1 kg de FPCM
Pirlo et al. (2014a)	Itália	Sem alocação	3,75	1 kg de FPCM
		Econômica	3,60	
Pirlo et al. (2014b)	Itália	Econômica	5,07	1 kg de <sup>1</sup> LBN
Garg et al. (2016)	Índia	Mássica	3,0	1 kg de FPCM
		Econômica	2,50	
		Digestibilidade	2,70	

<sup>1</sup>LBN = 1 kg de leite búfalo normalizada (LBN).

A Pegada de carbono de 1 kg de FPCM de leite de búfala foi estimada em 3,25 kg CO<sub>2</sub>eq. (Tabela 13) com base na alocação mássica, valor intermediário aos encontrados por Pirlo et al. (2014a), Pirlo et al. (2014b) e Garg et al. (2016). A variação entre os resultados obtidos pode ser atribuída, além das fontes de emissões consideradas, à saída de leite/ano (rendimento do sistema produtivo), uma vez que maiores taxas de produção por búfala é um fator contribuinte para pegadas de carbono menores.

Algumas estratégias podem ser eficazes na redução das emissões de GEE como, por exemplo, o aumento a produção de leite por búfala leiteira, através da seleção genética de búfalos mais produtivos e/ou através da incorporação de tipos de alimentos alternativos, com melhor digestibilidade e conversão alimentar, à dieta dos animais. Nesse sentido, as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O por unidade funcional podem ser reduzidas e, conseqüentemente, o impacto sobre a categoria mudanças climáticas.

Bartl et al. (2011) observaram que o aumento dos níveis de produção de leite por cabeça, em vacas leiteiras, foi acompanhado pela redução das emissões de metano pela fermentação entérica, em virtude, sobretudo, da diluição das emissões pela quantidade de leite produzido. Uma observação similar pode ser adotada sobre a propriedade estudada, em virtude das semelhanças apresentadas entre a produção bubalina e o sistema de produção de gado.

#### - **Depleção de ozônio**

A depleção de ozônio é a categoria de impacto associada à destruição do ozônio contido na estratosfera terrestre e a degradação dessa camada.

A ordenha e resfriamento do leite foi a unidade de processo que mais contribuiu para a categoria de depleção de ozônio (88,09%), seguido da criação dos animais (8,32%) e da produção de medicamentos (3,18%), que contribuíram com menores proporções para a categoria avaliada.

A ordenha e resfriamento do leite foi o maior contribuinte para a categoria avaliada, devido principalmente, a utilização de desinfetante iodado *pré-dipping*, para sanitização dos tetos dos animais antes da ordenha (40,04%), ao consumo de energia elétrica requerida pelos maquinários (34,08%), seguido da utilização do desincrustante alcalino clorado (14,57%), utilizado na limpeza do equipamento de ordenha e das tubulações.

A produção de iodo incorpora em seu processo a utilização de cloro líquido e a emissão de substâncias químicas halogenadas contendo átomos de cloro (Cl), responsável pela destruição do ozônio estratosférico. Além da associação da produção de iodo com a degradação da camada de ozônio, a categoria foi fortemente influenciada pelo consumo de energia na propriedade, utilizada na operação de ordenha e no resfriamento do leite. Na modelagem desenvolvida a partir do *software* Simapro® 8.0.5.13, o processo referente à energia elétrica considera a matriz energética brasileira baseada em um *mix* de combustíveis, incluindo combustíveis fósseis, ao qual está atribuída grande parte dos impactos referentes à categoria.

#### - **Acidificação terrestre**

A acidificação terrestre está relacionada ao desequilíbrio químico, caracterizado pela redução do potencial hidrogeniônico (pH) do solo, devido à emissão de nitrogênio (N) na atmosfera.

Para a categoria acidificação terrestre, a ordenha e resfriamento do leite foi a unidade de processo que apresentou maiores contribuições (68,23%), seguido da Produção de sal mineral (13,09%), Produção de medicamentos (11,51%) e criação dos animais (7,17%).

A maior contribuição atribuída à ordenha e resfriamento do leite está relacionada, principalmente, ao consumo de energia elétrica (55,92%) e o consumo de desinfetante iodado *pré-dipping* (24,39%), utilizado na sanitização dos tetos dos animais antes da ordenha.

A contribuição atribuída à energia elétrica deve-se a matriz energética considerada no processo escolhido, como já citado. Componentes como carvão mineral, lignito (carvão fóssil sub-betuminoso), coque, óleo bruto, gás natural, entre outros, constituem algumas das matérias-primas utilizadas na geração de energia, estando estes combustíveis associados a emissões de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e amônia (NH<sub>3</sub>).

Na Produção de sal mineral, o impacto relativo à categoria acidificação terrestre esteve principalmente relacionado à energia elétrica, consumida no processo de fabricação do sal (62,35%) e ao transporte desta matéria-prima entre a fábrica e a propriedade leiteira (36,82%). Na Produção de medicamentos e na Criação dos animais os principais fluxos contribuintes relativos a estas unidades de processos foram, respectivamente, o açúcar utilizado na composição dos medicamentos (98,36%) e a madeira utilizada na estrutura das cercas (97,34%).

Para os *inputs* citados, o uso de fertilizantes nitrogenados, no processo produtivo para obtenção do açúcar e a combustão do óleo diesel, utilizado como combustível em veículos e maquinários são responsáveis pela emissão de poluentes para o ar como: amônia (NH<sub>3</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e outras substâncias gasosas. A presença de partículas ricas em enxofre e nitrogênio na atmosfera pode promover a formação de ácidos fortes que se depositarão no solo por meio das chuvas ácidas, alterando o pH natural deste.

A acidificação terrestre foi estimada em 1,47E-04 kg SO<sub>2</sub> eq., valor bem inferior ao valor encontrado por Pirlo et al. (2014b) de 6,5E-02 kg SO<sub>2</sub>, que atribui o resultado encontrado à emissões de NH<sub>3</sub> devido à gestão e aplicação de estrume no solo, além da utilização de fertilizantes nitrogenados na produção de alimentos concentrados, utilizados na propriedade. Além das diferenças entre as saídas de leite, a significativa variação entre os resultados encontrados pode ser atribuída aos processos inclusos nos limites dos sistemas avaliados, uma vez que o presente estudo, além de não dispor de sistema de tratamento de dejetos, não utiliza alimentação concentrada na dieta dos animais.

### - Eutrofização de água

Para a categoria de impacto eutrofização de água doce, a Ordenha e resfriamento do leite foi a unidade de processo que apresentou maiores contribuições (92,37%), seguido da Produção de medicamentos (6,26%).

A ordenha apresentou maiores contribuições devido ao consumo de eletricidade (65,13%), de desinfetante iodado *pré-dipping* (17,61%) e de papel toalha (7,81%).

A maior contribuição atribuída à energia elétrica deve-se a matriz energética do processo considerado na modelagem, como já citado. A emissão de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), associado a produção de energia, seria então principal poluente responsável por atribuir maiores impactos à unidade de processo ordenha. A contribuição atribuída ao desinfetante iodado *pré-dipping* deve-se à emissão de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) no processo de produção do iodo e a contribuição atribuída ao papel toalha está relacionada às emissões de  $\text{SO}_2$  durante o processo de branqueamento da polpa sulfito, utilizada na fabricação do papel.

A Produção de medicamentos foi a segunda unidade que apresentou maiores contribuições para a categoria avaliada, devido principalmente ao consumo de açúcar (70,20%), utilizado na composição destes. O açúcar, utilizado na produção dos medicamentos é principal o componente responsável pelos impactos atribuídos a este processo, uma vez que a produção da cana-de-açúcar incorpora em seu plantio a utilização de fertilizantes fosfatados e de pesticidas, que podem ser responsáveis pelo desequilíbrio e processo de eutrofização em corpos hídricos.

A ausência de práticas de manejo nas pastagens, como a utilização de defensivos agrícolas e fertilizantes químicos, é certamente um fator que contribui para menores impactos da categoria na criação dos animais (0,88%), uma vez que a utilização destes insumos pode apresentar importante contribuição para e o desequilíbrio de ecossistemas aquático através do excesso de nutrientes na água.

Em suma, o consumo de energia é o aspecto mais relevante na categoria eutrofização de água doce, uma vez que a alimentação de maquinários durante a ordenha e resfriamento do leite requer uma quantidade considerável de energia e, a produção desta está associada a um *mix* de combustíveis, como já mencionado. O valor encontrado para a eutrofização neste estudo correspondeu a  $5,88\text{E-}06$  kg P eq., valor significativamente menor que o valor encontrado por Pirlo et. al. (2014b) de  $3,3\text{E-}02$  kg  $\text{PO}_4^{3-}$  eq. ( $1,08\text{E-}02$  kg P eq.). Os maiores valores atribuídos ao estudo citado se deve à utilização de alimentação concentrada na dieta dos animais e da associação destes com a utilização de fertilizantes sintéticos no campo, além das elevadas quantidades de dejetos produzidos em sistema confinado.

### - **Ocupação de terra agrícola**

Para a categoria Ocupação de terra agrícola, o Cultivo de pastagem foi a unidade que apresentou maiores contribuições (83,18%), seguido da criação dos animais (11,30%).

O Cultivo de pastagem apresentou maiores contribuições devido, sobretudo, ao uso e ocupação do solo pela pastagem. Para a criação dos animais, o principal fluxo contribuinte foi a madeira de eucalipto, utilizada na estrutura das cercas.

As pastagens ocupam a maior parcela da área da propriedade, uma vez que os animais são criados extensivamente e não é feita rotação de pastejo. Esse tipo de sistema possibilitaria um melhor aproveitamento das forrageiras e a diminuição dos impactos sobre a categoria através do uso eficiente da terra.

Quanto à madeira, utilizada nas cercas, estas são advindas da cultura do eucalipto, árvores geralmente plantadas em grandes extensões de terras e que, por conseguinte ocupam amplas áreas agricultáveis. Os impactos associados a este fluxo estariam então associados com a ocupação de terras fora da fazenda para a produção agrícola do eucalipto.

Por fim, é válido ressaltar, no entanto, que alguns aspectos não foram considerados na avaliação do uso do solo. A manutenção de Áreas de Preservação Permanente (APPs) situadas às margens do rio não foram notificadas, ao passo estas áreas poderia ser considerada um "crédito" em termos de impactos para a categoria avaliada.

### - **Depleção de água**

A criação dos animais foi a unidade de processo que mais apresentou interferências ambientais sobre a categoria depleção de água (87,01%), seguido da unidade de processo Ordenha e resfriamento do leite, que contribuiu adicionalmente com 12,12% para o total na categoria de impacto Depleção de água.

A quantidade de água requerida pelos animais para dessedentação represente a maior parte da água consumida na propriedade, o que reflete a maior contribuição da unidade de processo Criação dos animais, para a categoria de impacto avaliada.

Embora o consumo de água na etapa de ordenha e resfriamento do leite represente menos de 13% do impacto total referente à depleção de água, a análise do consumo foi realizada em função das quantidades utilizadas nesta etapa, tendo em vista que esta é a unidades de processo onde efetivamente pode ser aplicadas melhorias no sentido de aumentar a eficiência do uso e aproveitamento do recurso.

Na ordenha, a maior parte do consumo de água está relacionada à limpeza da sala durante e após a operação de ordenha dos animais, seguido da higienização da ordenhadeira e do tanque de resfriamento do leite.

A limpeza da sala de ordenha é realizada, sobretudo a fim de remover fezes, urina e leite depositados no chão durante a atividade, diminuindo assim o risco de contaminação do leite ordenhado. Como a água utilizada na limpeza é captada diretamente do rio (88,51%) e não há um monitoramento do consumo, nem cobrança pelo uso do recurso, a utilização é realizada de forma desmedida, sendo elevado o consumo de água nesta atividade. Além disso, foram detectados vazamentos em vários pontos que podem ainda contribuir com o aumento da quantidade consumida. Quanto à água, advinda da concessionária, utilizada principalmente nas atividades que requerem água tratada, foi possível verificar uma melhor utilização do recurso.

A quantidade de água necessária para a produção de 1 kg de FPCM de leite de búfala foi estimado em 0,0465 m<sup>3</sup> de água. Este valor reflete o consumo de água calculada por kg de produto final (1 kg de FPCM de leite) e, além de ser um indicador importante da eficiência da utilização água na etapa de ordenha e resfriamento do leite, representa o quão eficiente está sendo a utilização do recurso.

Práticas como: raspagem do chão antes das lavagens, utilização de água apenas nos intervalos entre baterias de ordenha, além da substituição de mangueira de fluxo contínuo por modelos com válvulas de gatilho e detecção de vazamentos são algumas medidas importantes que podem contribuir com a redução do consumo de água e melhorar o aproveitamento do recurso (eficiência hídrica).

De forma geral, a quantidade de água utilizada na propriedade é inferior às quantidades utilizadas em outras fazendas, em especial àquelas que fazem uso deste recurso para irrigação de pastagens e áreas cultivadas, onde Huang et al. (2014) afirmam ser o maior contribuinte para a pegada de hídrica da produção de leite bovino na China (76% do total). Dessa forma, a ausência de pastagens e plantações irrigadas é um fator que certamente contribui com menores demandas de água em propriedades leiteiras.

#### - **Depleção fóssil**

Na categoria Depleção fóssil, a unidade de processo Ordenha e resfriamento do leite foi o estágio da produção de leite que apresentou maiores contribuições (73,16%), seguido da Produção de sal mineral (17,51%) e criação dos animais (5,98%).

A Ordenha e resfriamento do leite foi o maior contribuinte, principalmente em virtude da energia elétrica requerida nesta etapa (48,54%) e a utilização do iodo *pré-dipping* como insumo (30,74%).

O impacto relacionado à Produção de sal mineral foi influenciado principalmente pelo transporte do sal entre a fábrica e a propriedade leiteira (53,45%) e pela energia elétrica, consumida no processo de fabricação do deste insumo (41,48%).

A criação dos animais contribuiu em menores proporções para a depleção fóssil total, majoritariamente em função do consumo de madeira (95,82%), utilizada na estrutura e da associação deste fluxo elementar com o consumo de óleo diesel em maquinários e veículos para a sua extração e transporte.

De forma geral, a depleção fóssil esteve relacionada ao consumo indireto de recursos fósseis, utilizados na produção de eletricidade, de insumos e no transporte dos mesmos. Como já citado, o processo escolhido para energia elétrica considera em seu *mix* de combustíveis, aqueles de origem fóssil como o gás natural, o óleo bruto e o carvão, estando a extração destes, associada à categoria de impacto avaliada.

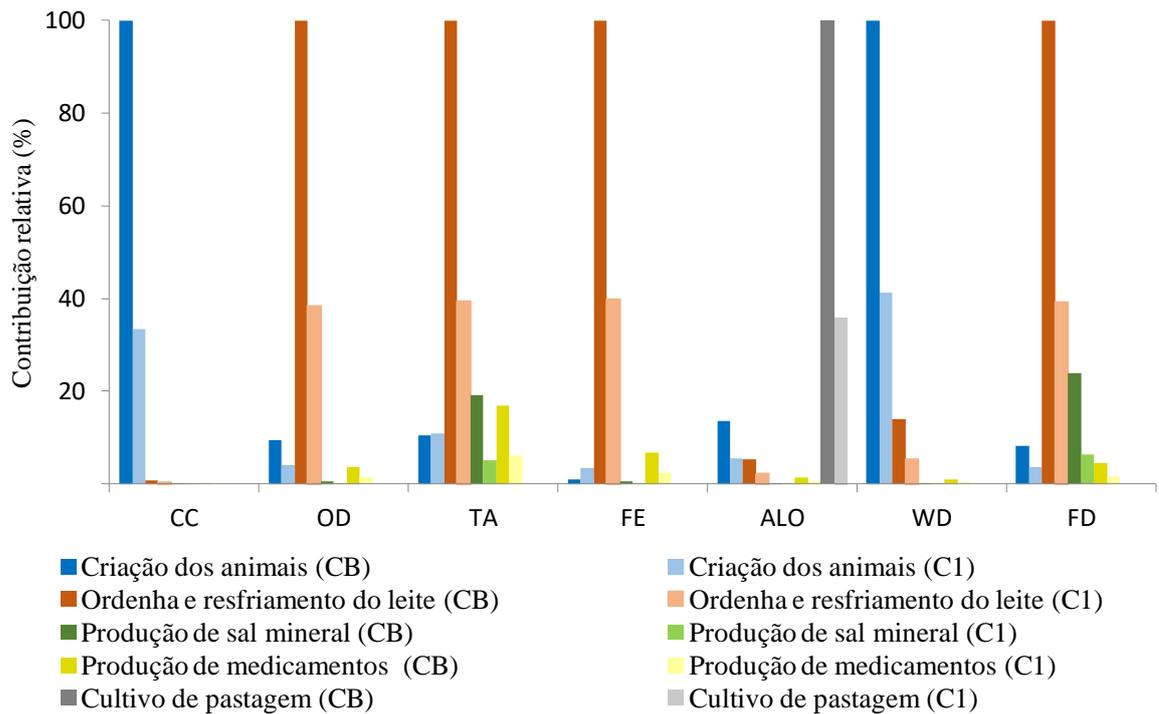
### 5.3 ANÁLISE DE CENÁRIOS

Segue abaixo o resultado obtido para os 6 cenários propostos (C1, C2, C3, C4, C5 e C6). Os impactos ambientais para cada cenário foram avaliados em confronto com as condições iniciais, do cenário base (CB).

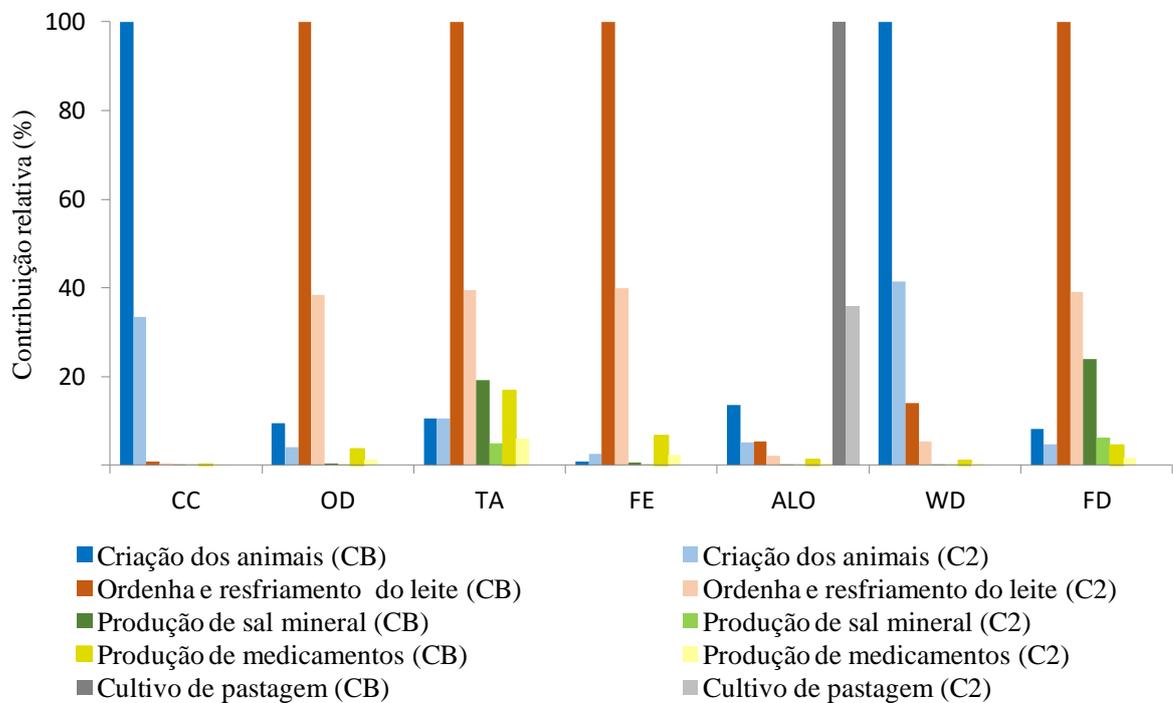
#### (a) Cenários 1 e 2

A introdução de alimentação concentrada na dieta dos animais foi modelada propondo-se uma dieta composta por alimentos orgânicos (C1) e uma segunda dieta, composta por alimentos convencionalmente produzidos (C2). A modelagem partiu do pressuposto de que a introdução de suplementação na alimentação animal aumenta a produção de leite por búfala, sendo então os impactos diluídos pela maior produção de leite/ano.

A partir da avaliação dos impactos foi possível observar que a suplementação dos animais interferiu significativamente nos resultados obtidos para o cenário base, em todas as unidades de processo consideradas (Figura 12 e Figura 13).



**Figura 12.** Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o Cenário Base e o Cenário 1, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization



**Figura 13.** Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o Cenário base e o Cenário 2, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization

Na criação dos animais, os impactos ambientais foram reduzidos em cinco de sete categorias: mudanças climáticas, depleção de ozônio, ocupação de terras agrícolas, depleção de água e depleção fóssil e tiveram seus valores aumentados nas categorias: acidificação terrestre e eutrofização de águas.

No que se refere à categoria mudanças climáticas, a introdução de dietas alimentares de boa qualidade, com maior digestibilidade proporciona um aumento do aproveitamento dos alimentos e na eficiência alimentar, reduzindo dessa forma, as emissões de metano, provenientes da fermentação entérica dos animais e, por conseguinte os impactos sobre a categoria. Quanto às categorias depleção de ozônio, ocupação de terras agrícolas, depleção de água e depleção fóssil, estas categorias tiveram seu impacto diminuídos, em função da saída de leite por ano. Embora o consumo dos *input* pelos animais tenha permanecido o mesmo nos cenários C1 e C2, a razão em função da produtividade teve seu valor reduzido devido à maior saída de leite.

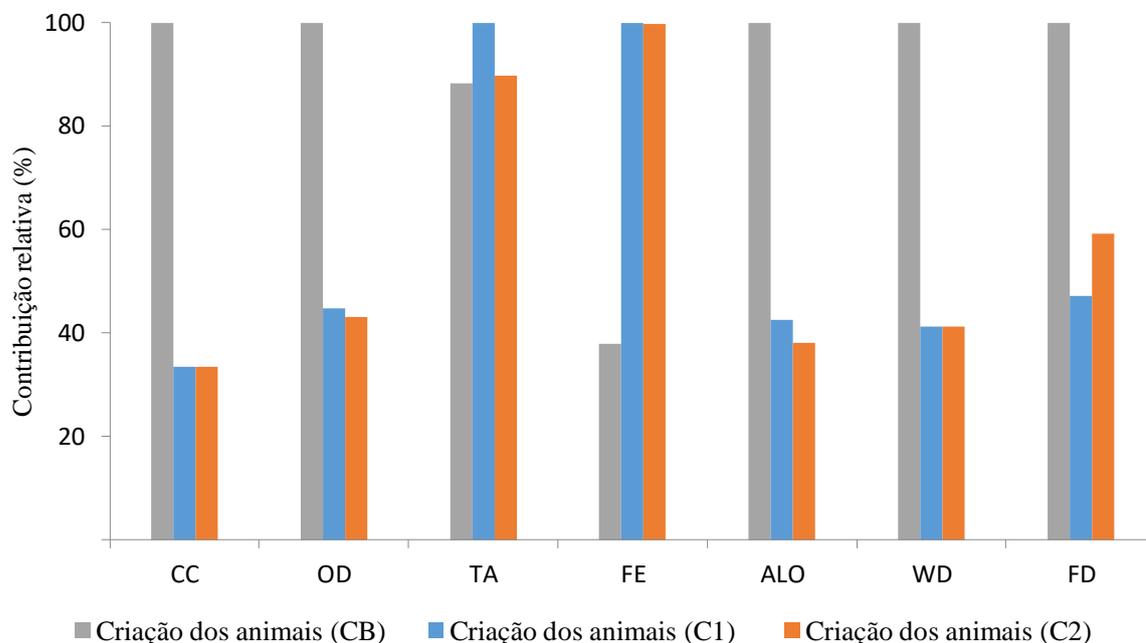
Para as categorias acidificação terrestre e eutrofização de água doce, a introdução de suplementação na criação dos animais, aumentou os impactos sobre as mesmas, principalmente em função do plantio de monoculturas como da soja e milho, aliado às práticas de manejo utilizadas no campo. Embora a produção de leite tenha aumentado, não foi suficientemente alta a ponto de diminuir os impactos para estas categorias, com relação às modeladas no cenário base.

Para as demais unidades de processo, Ordenha e resfriamento do leite, Produção de sal mineral, Produção de medicamentos e Cultivo de pastagem, os impactos foram diminuídos em todas as categorias avaliadas, uma vez que as entradas nestes estágios do ciclo de vida da produção de leite, ou não aumentaram em grandes proporções ou permaneceram as mesmas, enquanto a produção de leite teve seu volume aumentado devido a maior produtividade dos animais.

Confrontando os dois tipos de dietas modelados nos cenários C1 e C2 (Figura 14), percebe-se que a dieta composta de alimentos de origem orgânica tiveram maiores impactos nas categorias: depleção de ozônio, acidificação terrestre, ocupação de terra agrícola, enquanto a dieta composta por alimentos concentrados convencionais tiveram maiores impacto apenas sobre a categoria depleção fóssil.

Embora a produção de alimentos orgânicos não solicite algumas entradas comumente utilizadas em sistemas convencionais como: fertilizantes sintéticos, defensivos agrícolas e outros insumos, a produtividade é menor, comparada ao primeiro. Nesse sentido, os impactos

ambientais para algumas categorias seriam maiores no sistema orgânico, sobretudo em função das quantidades produzida.

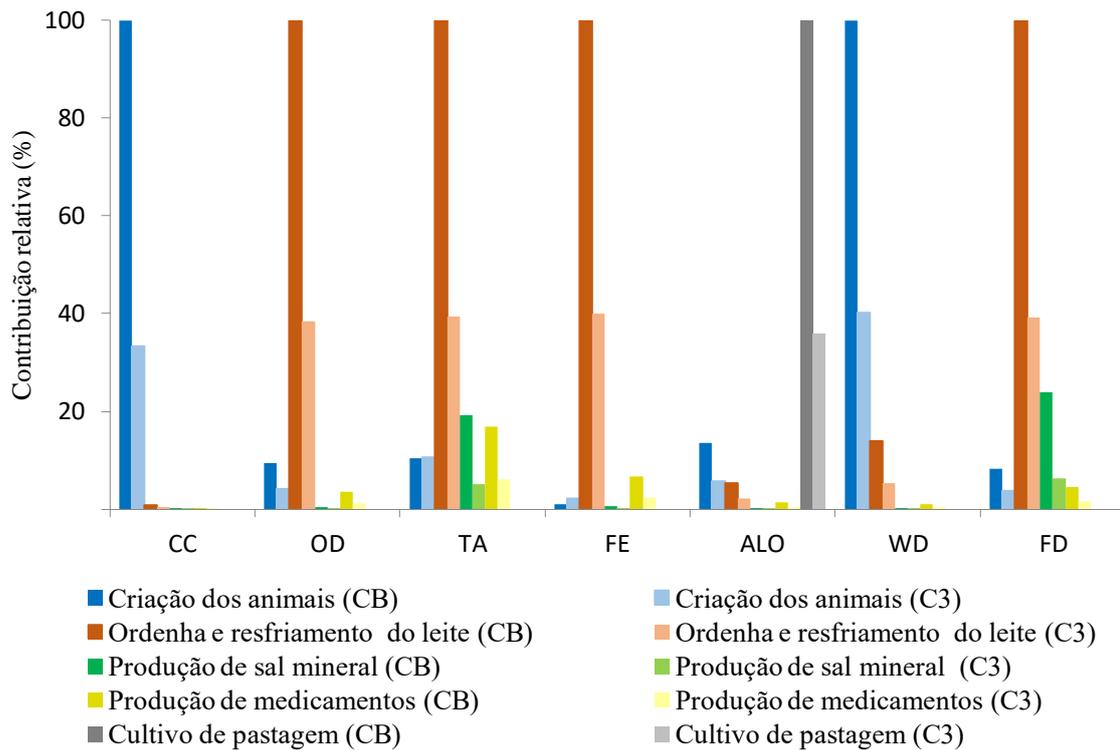


**Figura 14.** Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o Cenário base e os Cenários 1 e 2 para a unidade de processo “Criação dos animais”, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization

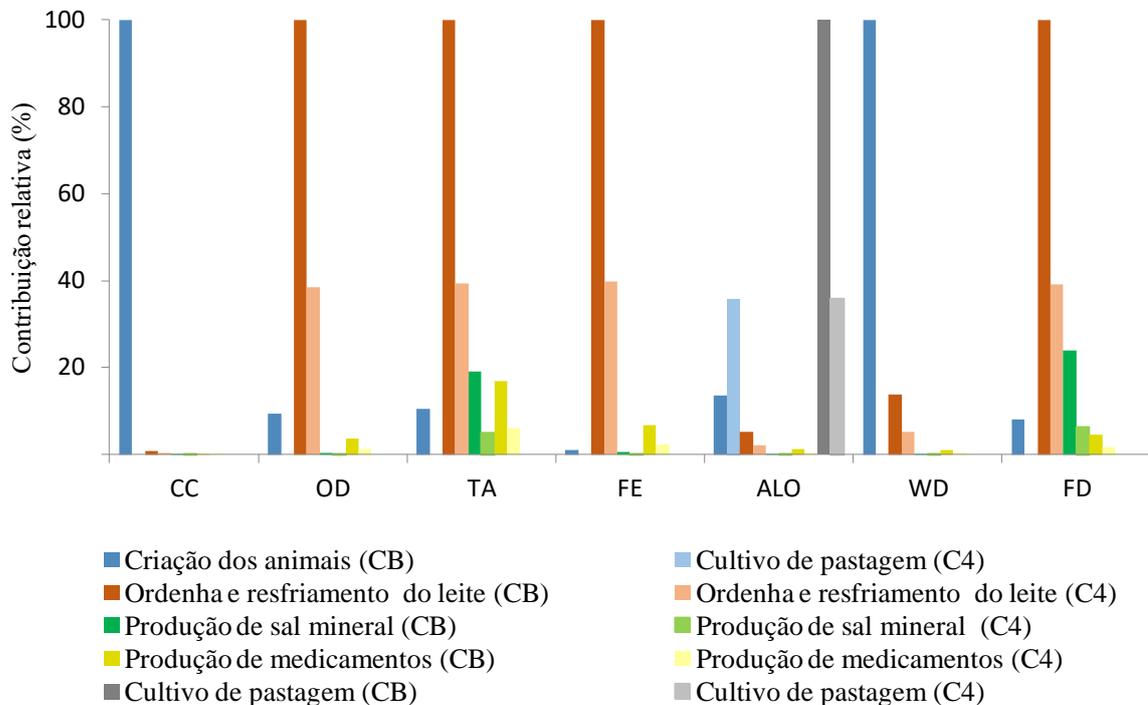
Já para a categoria Depleção fóssil, em que os alimentos convencionais apresentaram maiores impactos, o resultado reflete a extração de recursos utilizados nas práticas de manejo convencionais, inexistentes no sistema orgânico, como a utilização de fertilização sintética e uso de pesticidas. Além disso, nos sistemas convencionais os maiores rendimentos por hectare de terra ou por animal são benéficos do ponto de vista ambiental somente se o nível de recursos utilizados não aumentarem na mesma proporção, como apontado por Notarnicola et al. (2017).

#### (b) Cenários 3 e 4

A introdução de soro na dieta dos animais (Figura 15 e Figura 16) foi modelada propondo-se a utilização do soro do leite, subproduto do laticínio, como insumo para a alimentação de búfalas leiteiras, além da suplementação com concentrado orgânico e convencional para os cenários C3 e C4, respectivamente. Devido ao seu alto valor nutricional, o soro líquido pode ser aproveitado na alimentação animal como forma de suplemento a fim de aumentar a produção de leite na propriedade.



**Figura 15.** Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o Cenário base e o cenário 3, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization



**Figura 16.** Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o Cenário base e o cenário 4, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization

Com base na Figura 15 e Figura 16, é possível observar que na criação dos animais, unidade de processo onde foi introduzido o soro como suplementação animal, os impactos ambientais tiveram seus valores diminuídos em todas as categorias avaliadas, devido ao aumento da produção de leite com a introdução da suplementação nos períodos de seca, exceto nas categorias acidificação terrestre e eutrofização de águas, em decorrência da suplementação concentrada. As demais unidades de processo (Ordenha e resfriamento do leite, Produção de sal mineral, Produção de medicamentos e Cultivo de pastagem) tiveram igualmente seus impactos diminuídos em todas as categorias de impacto, devido ao aumento da produção de leite.

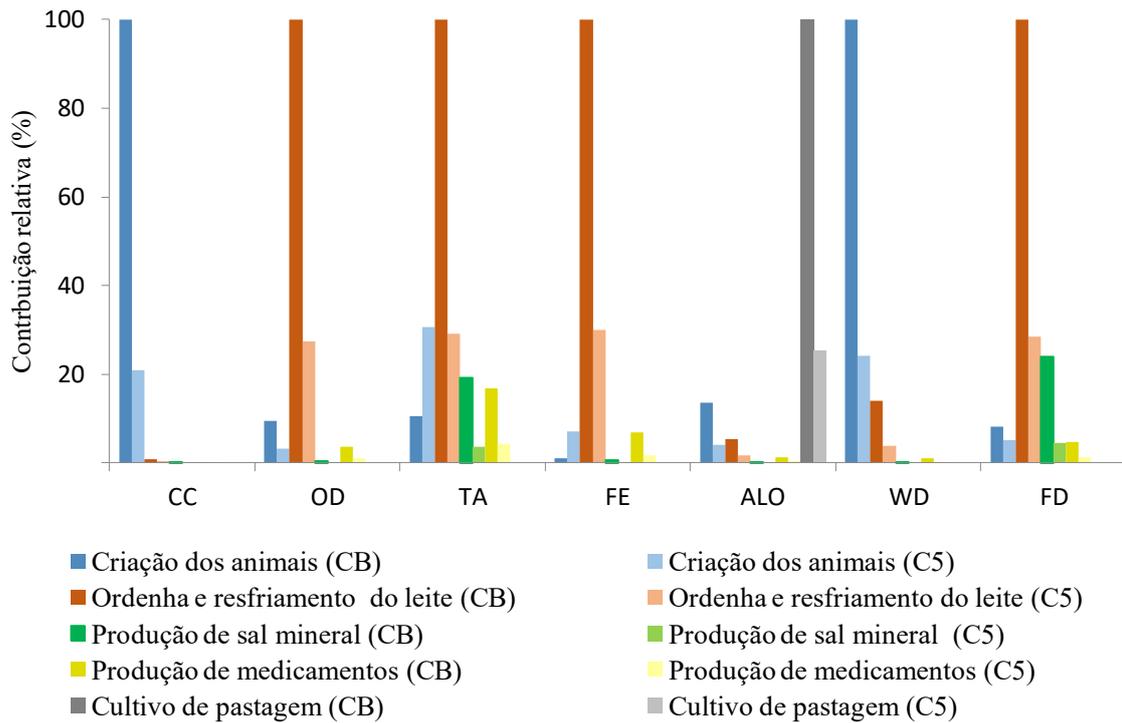
Por fim, é possível concluir que a introdução de suplementação a base de soro na dieta de animais pode ser uma opção alternativa e de baixo custo para o aproveitamento deste subproduto lácteo, especialmente na época da seca, ou quando os animais são criados exclusivamente em pastagens com baixo teor proteico.

Além disso, dos benefícios apontados na fase agrícola da produção de leite, os impactos ambientais referentes a laticínios pode ser diminuída uma vez que o soro é o principal poluente gerado pela produção de queijo e pode causar vários impactos ambientais se não receber o tratamento adequado antes de ser descarregado diretamente no ambiente.

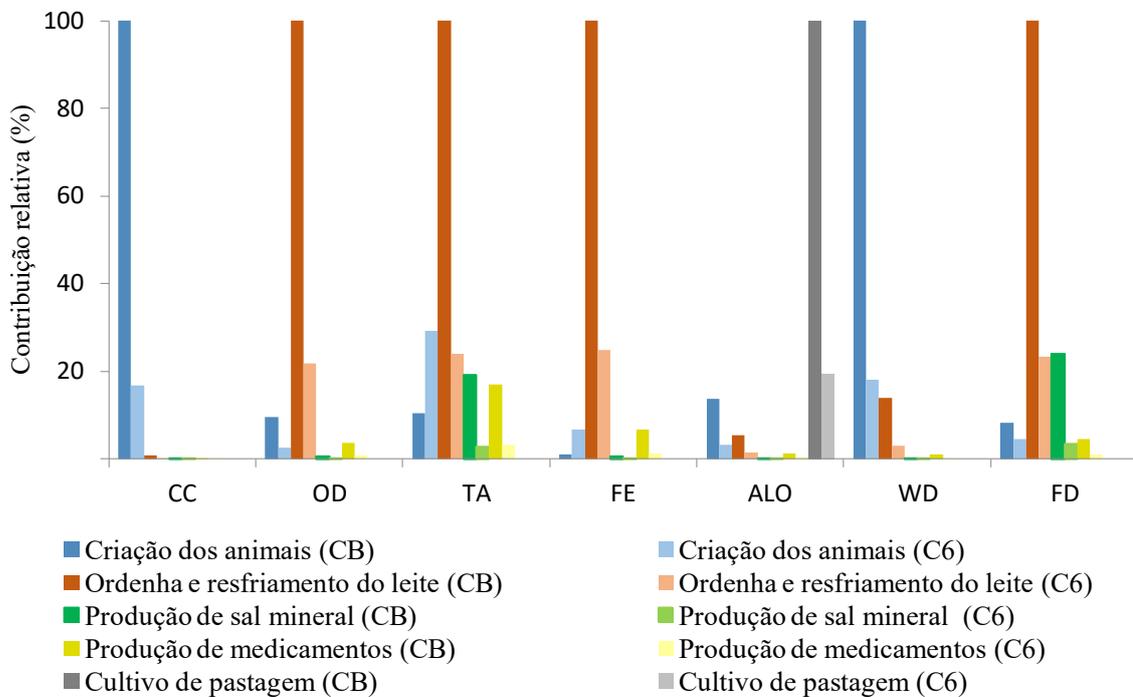
Vale ressaltar ainda, que a prática da introdução do soro como suplementação animal seria, neste caso, viabilizada em função da proximidade entre a propriedade leiteira e o laticínio, fornecedor do soro. Devido aos altos custos de transporte, a introdução de soro líquido de alimentação dos animais pode ser um impedimento para que a prática ocorra, tanto em decorrência dos custos ambientais, quanto econômicos.

### **(c) Cenários 5 e 6**

A criação dos búfalos leiteiros em sistema confinado (Figura 17 e Figura 18) foi modelada propondo-se uma dieta composta por volumoso e concentrado, ambos comprados em outras localidades (*off-farm*). A modelagem considerou que os sistemas propostos (C5 e C6) têm diferentes níveis de produção e o leite produzido apresenta diferentes porcentagens de gordura. Além disso, os sistemas modelados são mais produtivos, sendo a saída de leite/ano maior, comparado ao CB.



**Figura 17.** Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o cenário base e o Cenário 5, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization



**Figura 18.** Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o cenário base e o Cenário 6, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization

Com base na Figura 17 e Figura 18 é possível observar que na unidade de processo criação dos animais, todas as categorias de impacto tiveram seus valores aumentados quando o sistema de produção passou de extensivo (CB) para intensivo (C5 e C6), exceto na categoria mudanças climáticas, uma vez que a alimentação dos animais baseada no consumo de forrageiras tende a produzir maiores taxas de metano entérico que uma alimentação de boa qualidade, baseada na ingestão de alimentos concentrados, com maior digestibilidade.

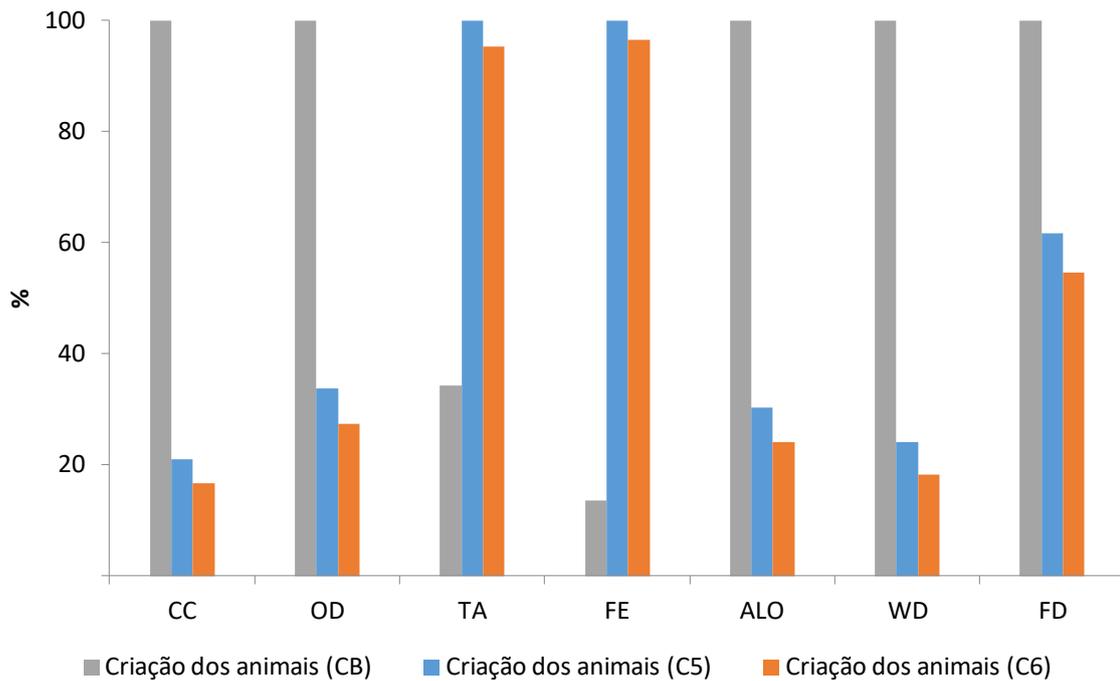
Nas demais unidades de processo (Ordenha e resfriamento do leite, Produção de sal mineral, Produção de medicamentos e Cultivo de Pastagem), todas as categorias avaliadas tiveram seus impactos reduzidos embora, comparado a criação dos animais, tais estágios do ciclo de vida não tenham apresentado contribuição significativa, quando o sistema de produção foi o confinado.

Os maiores impactos atribuídos ao sistema confinado devem-se em suma a produção dos alimentos concentrados, geralmente produzidos em larga escala como apontado por Pirlo et al. (2014b). O cultivo de tais alimentos utiliza insumos como fertilizantes sintéticos de composição NPK e defensivos agrícolas, sementes geneticamente modificadas, irrigação das grandes áreas cultivadas, além de práticas agrícolas que requerem a utilização de combustíveis fósseis, como óleo diesel.

Embora o sistema confinado apresente maiores rendimentos que o sistema extensivo, no que se refere a produção de leite, a alimentação dos animais acarreta maiores impactos para este. Neste sentido, é necessário e fundamental traçar uma linha tênue entre aumento de produção e diminuição dos impactos, a fim de encontrar o “ponto ótimo” no que se refere aos menores impactos nos estágios do ciclo de vida da produção do leite de búfala e maiores taxas de produção.

Vale ressaltar, no entanto, que o fator relevante para a atividade pecuária em sistema confinado, está relacionado principalmente à racionalização do uso da terra, onde a utilização de grandes áreas para a formação de pastagens é evitada.

Comparando os dois sistemas (Figura 19), é possível observar que o sistema confinado C5 apresentou maiores impactos que o cenário C6 em todas as categorias avaliadas devido, sobretudo, a intensificação da produção de leite e a composição do leite obtido.



**Figura 19.** Comparação das principais contribuições do ciclo de vida entre o Cenário base e os Cenários 5 e 6 para a unidade de processo “Criação dos animais”, por categoria de impacto, com base em indicadores de impacto de ponto médio do método ReCiPe *Midpoint* (H) V1.12/World ReCiPe H/Characterization

Além disso, as diferenças encontradas entre os impactos ambientais referentes aos três cenários (CB, C5 e C6) são adicionalmente atribuídas às culturas da soja e do milho e às práticas agrícolas implementadas em cada uma delas.

Por fim, seria necessária uma análise minuciosa das cadeias de interações de cada cultura para então identificar os fluxos responsáveis pelos impactos de cada uma delas e pelas diferenças encontradas e maiores impactos atribuídos às categorias eutrofização de água doce e acidificação terrestre, comparado ao cenário base.

Por fim, é possível concluir que grande partes dos impactos ambientais relativos à produção leiteira podem estar relacionados à diferentes estratégias de alimentação animal, como inicialmente proposto. No entanto, é válido ressaltar que qualquer mudança na dieta pode implicar no deslocamento das cargas ambientais de um estágio do Ciclo de Vida para outro, ou entre categorias de impacto. Portanto, há uma forte necessidade de que as mudanças na dieta sejam acompanhadas por uma maior sustentabilidade dos sistemas alimentares implementados.

## 6 CONCLUSÃO

O estudo indicou que as atividades relacionadas à produção pecuária bubalina apresentaram diferentes contribuições para as categorias de impacto analisadas. A criação dos animais foi a etapa da produção que apresentou maiores interferências para as categorias: mudanças climáticas e depleção de água; a etapa de ordenha e resfriamento do leite incidiu sobre as categorias: depleção de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água e depleção fóssil; e a unidade de processo cultivo de pastagem incidiu sobre a categoria ocupação de terras agrícolas. Os demais estágios do ciclo de vida da produção de leite de búfala apresentaram menores contribuições para as categorias avaliadas.

A emissão de metano entérico e óxidos de nitrogênio, a partir da deposição de excretas, apresentaram contribuições expressivas sobre as categorias mudanças climáticas, enquanto que o consumo de produtos de higienização e energia elétrica foram os principais *inputs* responsáveis por alterações nas categorias depleção de ozônio, eutrofização de água, acidificação terrestre e depleção fóssil.

A aplicação da ACV na produção de leite de búfala permitiu uma visualização integrada do consumo de recursos na propriedade e dos impactos indiretos destes, atribuídos à cadeia de interações dos processos produtivos, ao qual os insumos estavam relacionados. Nesse sentido, foi possível realizar uma avaliação conjunta dos custos ambientais relacionados à produção de leite e ao consumo de recursos adquiridos fora do limite do sistema.

Para as estratégias de redução de impactos, a modelagem de cenários permitiu concluir que, embora o aumento da produção seja acompanhado pela redução dos impactos em algumas categorias avaliadas, nem sempre representa um ganho para todo o sistema de produto, tendo em vista que o aumento de produção requer maiores entradas de insumos para o sistema. Nesse sentido, é necessário equacionar o nível de produção ótimo que, paralelamente, seja capaz de gerar menores encargos ambientais para o meio.

Modelar os impactos ambientais do ciclo de vida de sistemas de produtos prospectivos, baseados em cenários, pode ajudar na identificação de sistemas com impactos ambientais relativamente menores, além de auxiliar na identificação dos *hotspots* em que as opções de mitigação ou melhoria possam ser mais eficazes sendo, portanto, uma importante ferramenta quando os recursos disponíveis são limitados ou existe um interesse específico em diminuir os impactos de determinada categoria.

## REFERÊNCIAS

- ADISSI, P.J.; PINHEIRO, F.A.; CARDOSO, R.S. Gestão ambiental de Unidades Produtivas. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- ALVARENGA, R.A.F.; LINS, I.D.O.; ALMEIDA NETO, J.A. Evaluation of Abiotic Resource LCIA Methods. *Resources*, v. 5, n. 1, p. 13, 2016.
- ALVARENGA, R.A.F.; DA SILVA JÚNIOR, V. P.; SOARES, S.R. Comparison of the ecological footprint and a life cycle impact assessment method for a case study on Brazilian broiler feed production. *Journal of Cleaner Production*, v. 28, p. 25-32, 2012.
- ABCB, Associação brasileira de criadores de búfalos. Disponível em < <http://www.bufalo.com.br/abcb.html> >. Acesso em 05 de jul. 2015.
- ARAÚJO, T.P.M.; RANGEL, A.H.N.; SOARES, A.D.; LIMA, T.C.C.; LIMA JÚNIOR, D.M.; NOVAES, L.P. 2011. Influência das estações do ano sobre a composição do leite de búfalas mantido em tanque de resfriamento. *ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido, Santa Cecília*, v. 7, n. 1, p. 1-5, 2011.
- BALDINI, C.; GARDONI, D.; GUARINO, M. A critical review of the recent evolution of Life Cycle Assessment applied to milk production. *Journal of Cleaner Production*, p. 1-15, 2016.
- BARTL, K.; GÓMEZ, C.A.; NEMECEK, T. Life cycle assessment of milk produced in two smallholder dairy systems in the highlands and the coast of Peru. *Journal of Cleaner Production*, v. 19, n. 13, p. 1494-1505, 2011.
- BERNARDES, O. Desafios na produção de leite de búfalas. Anais I Simpósio Brasileiro de Ruminantes Leiteiro. *UDI Leite: I Simpósio Brasileiro de Ruminantes Leiteiros*, p. 33-72, 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2013/2014 a 2023/2024. Projeções de longo prazo. Brasília:MAPA/ACS, p.100, 2014.
- BORGHESE, A.; MAZZI, M. Buffalo production and research. Chapter 1: Buffalo Population and Strategies in the Worl. REU Technical Series 67. Inter-regional Cooperative Research Network on Buffalo, FAO Regional Office for Europe, Roma, p. 01-40, 2005.
- CASTANHEIRA, E.G.; DIAS, A.C.; ARROJA, L.; AMARO, R. The environmental performance of milk production on a typical Portuguese dairy farm. *Agricultural Systems*, v. 103, n. 7, p. 498-507, 2010.

CAMARÃO, A.P.; COSTA, N.A.; LOURENÇO JUNIOR, J.B.; ROORIGUES FILHO, J.A.; MARQUES, J.R.F.; BRANCO, M.V.M.C. Engorda de bubalinos em sistemas integrados de pastagens nativa e cultivada com suplementação de uréia. *Boletim de Pesquisa*, n. 158, p. 31, 1994.

CHERUBINI, E.; ZANGHELINI, G.M.; ALVARENGA, R.A.F.; FRANCO, D.; SOARES, S.R. Life Cycle Assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 87, p. 68-77, 2015.

COLTRO, L. Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão. CETEA/ITAL. Campinas, 2007.

CÓNDOR, R.D.; VALLI, L.; DE ROSA, G.; DI FRANCIA, A.; DE LAURETIS, R. Estimation of the methane emission factor for the Italian Mediterranean buffalo. *Animal*, v. 2, p. 1247–1253, 2008.

CURKOVIC, S.; SROUFE, R.; MELNYK, S. Identifying the factors which affect the decision to attain ISO 14000. *Energy*, v. 30, n. 8, p.1387-1407, 2005.

DA SILVA, V.P.; VAN DER WERF, H.M.; SPIES, A.; SOARES, S.R. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *Journal of Environmental Management*, v. 91, n. 9, p.1831-1839, 2010.

DA SILVA, V.P.; VAN DER WERF, H. M.; SOARES, S.R.; CORSON, M.S. Environmental Impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach. *Journal of Environmental Management*, v.133, p.222-231, 2014.

DE LÉIS, C.M.; CHERUBINI, E.; RUVIARO, C.F.; DA SILVA, V.P.; DO NASCIMENTO LAMPERT, V.; SPIES, A.; SOARES, S.R. Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v.20, n.1, p.46-60, 2015.

DICK, M., DA SILVA, M.A.; DEWES, H. Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, n. 1, p.426-434, 2015a.

DICK, M.; DA SILVA, M.A.; DEWES, H. Mitigation of environmental impacts of beef cattle production in southern Brazil–Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, v. 87, p.58-67, 2015b.

Embrapa. Consumo de água na produção animal. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. Comunicado Técnico 102, p. 6, 2013.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Roma, 2013.

GARG, M.; PHONDBA, B.; SHERASIA, P.; MAKKAR, H. Carbon footprint of milk production under smallholder dairying in Anand district of Western India: A cradle-to-farm gate life cycle assessment. *Animal Production Science*, v. 56, p. 423–436, 2016.

GIL, A.C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOEDKOOPE, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS M.; DE SCHRYVER, A.; STRUIJS, J.; VAN ZELM, R. ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. VROM, The Hague, 2013.

GUINÉE, J., HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; ZAMAGNI, A.; MASONI, P.; BUONAMICI, R.; EKVALL, T.; RYDBERG, T. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future, *Environmental Science & Technology*, v. 45, n. 1, p. 90–96, 2011.

HADEN, S.S.P.; OYLER, J.D.; HUMPHREYS, J.H. Historical, practical, and theoretical perspectives on green management: an exploratory analysis. *Management Decision*, v. 47, n. 7, p. 1041-1055, 2009.

HUANG, J.; XU, C.C.; RIDOUTT, B.G.; 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.

HUNT, R.G.; FRANKLIN, W. E.; HUNT, R. G. LCA – How it came about. *The international journal of life cycle assessment*, v. 1, n. 1, p. 4-7, 1996.

HUYSVELD, S.; DE MEESTER, S.; PEIREN, N.; MUYLLE, H.; LAUWERS, L.; DEWULF, J. Resource use assessment of an agricultural system from a life cycle perspective – a dairy farm as case study. *Agricultural Systems*, v. 135, p.77-89, 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PPM – Produção Pecuária Municipal. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sidra – Sistema de recuperação automática, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>.

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 436/2009*, n. 436, p.60, 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 479/2015*, n. 479, p. 60, 2015.

ISO, International Organization for Standardization. ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. Genebra, 2006.

ISO, International Organization for Standardization. ISO 14044. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines. Genebra, 2006.

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, 2006a.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol.: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 11: N<sub>2</sub>O Emissions from Managed soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application, 2006b.

KHASREEN, M.M.; BANFILL, P.F.; MENZIES, G.F. Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review. *Journal Sustainability*, n. 1, p. 674-701, 2009.

LEHUGER, S.; GABRIELLE, B.; GAGNAIRE, N. Environmental impact of the substitution of imported soybean meal with locally-produced rapeseed meal in dairy cow feed. *Journal of Cleaner Production*, v. 17, n. 6, p. 616-624, 2009.

LOCKREY, S. A review of life cycle based ecological marketing strategy for new product development in the organizational environment. *Journal of Cleaner Production*, v. 95, p. 1-15, 2015.

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

OLSZENSWSKI, F.T. Avaliação do ciclo de vida da produção de leite em sistema semi extensivo e intensivo: estudo aplicado. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 198, 2011.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília. Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Inventário não controlados pelo Protocolo de Montreal por e Comunicação Inicial do Brasil. Parte II, 2010.

NOTARNICOLA, B.; SALA, S.; ANTON, A.; MCLAREN, S.J.; SAOUTER, E.; SONESSON, U. The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges. *Journal of Cleaner Production*, v. 140, p. 399-409, 2017.

OLIVEIRA, A.L. Búfalos: produção, qualidade de carcaça e de carne. Alguns aspectos quantitativos, qualitativos e nutricionais para promoção do melhoramento genético. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, Belo Horizonte, v.29, n.2, p.122-134, 2005.

OECD/Food and Agriculture Organization of the United Nations, OECD-FAO Agricultural Outlook 2015 – 2024, Chapter 2: Brazilian agriculture: Prospects and challenges, OECD Publishing. Paris, 2015.

PIRLO, G.; TERZANO, G.; PACELLI, C.; ABENI, F.; CARÈ, S. Carbon footprint of milk produced at Italian buffalo farms. *Livestock Science*, v. 161, p. 76-184, 2014a.

PIRLO, G.; CARÈ, 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, 2014b.

POPA, D.; POPA, R.; VIDU, L.; NICOLAE, C. Emission of Methane from Enteric Fermentation of Cattle and Buffaloes in Romania between 1989-2014. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, v. 10, 289-298, 2016.

- ROCHA, M.H.; CAPAZ, R.S.; LORA, E.E.S.; NOGUEIRA, L.A.H.; LEME, M.M.V.; RENÓ, M.L.G.; DEL OLMO, O. A. Life cycle assessment (LCA) for biofuels in Brazilian conditions: A meta-analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 37, p. 435-459, 2014.
- ROSA, B.R.T.; FERREIRA, M.M.G.; AVANTE, M.L.; FILHO, D.Z.; MARTINS, I.S. Introdução de búfalos no Brasil e sua aptidão leiteira. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, Garça, Ano IV, n.8, p.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*, v. 90, n. 1, p. 1–10, 2009.
- RUVIARO, C.; GIANEZINI, M.; BRANDÃO, F.; WINCK, C.; DEWES, H. Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. *Journal of Cleaner Production*, v. 28, p. 9–24, 2012.
- RUVIARO, C.F.; LÉIS, C.M.; LAMPERT, V.N.; BARCELLOS, J.O.J.; DEWES, H. Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. . *Journal of Cleaner Production*, v. 96, n. 1, p. 435–443, 2015.
- SABIA, E.; NAPOLITANO, F.; CLAPS, S.; BRAGHIERI, A.; PIAZZOLLA, N.; PACELLI, C. Feeding, Nutrition and Sustainability in Dairy Enterprises: The Case of Mediterranean Buffaloes (*Bubalus bubalis*). The Sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin. *Springer International Publishing*, p. 57-64, 2015.
- SANTOS, L.M.M. Avaliação ambiental de processos industriais. 2. ed. São Paulo: Signus Editora, p. 130, 2006.
- SCARM, Standing Committee on Agriculture and Resource Management. Model Code of Practice for the Welfare of Animals - Farmed Buffalo. *SCARM Report Series*, n. 52, 2003.
- SEI, Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Perfil dos Territórios de Identidade da Bahia. Publicações SEI. Salvador: SEI, 2015.
- VIGON, B.W.; TOLLE, D.A.; CORNABY, B.W.; LATHAM, H.C.; HARISSON, C.L.; BOGUSKI, T.L.; HUNT, R.G.; SELLERS, J.D. Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles. *United States Environmental Protection Agency*, 1993.
- VIEIRA, M.C.; CAVICHIOLO, J.R.; FACHINI, C.; LISERRE, A.M.; DE SOUZA, K.B.; RODRIGUES, C.F.C.; VAN DENDER, A.G.F. Viabilidade econômica da implantação de uma unidade industrial para a produção de mozzarella e de massa coagulada, fermentada e congelada de leite de búfala. *Informações Econômicas*, v. 39, n.10, p.32-42, 2009.
- ZAVA, M.A.R.A. Produção de Búfalos. São Paulo: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1987.
- XUE, B.; WANG, L.Z.; YAN, T. Methane emission inventories for enteric fermentation and manure management of yak, buffalo and dairy and beef cattle in China from 1988 to 2009. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 195, p. 202-210, 2014.

WEIDEMA, B.P.; BAUER, C.; HISCHIER, R.; MUTEL, C.; NEMECEK, T.; REINHARD, J.; VADENBO, C.O.; WERNET, G. *Overview and methodology: Data quality guideline for the ecoinvent database version 3*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2013.

WILLERS, C.D.; RODRIGUES, L.B. A critical evaluation of Brazilian life cycle assessment studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 19, n. 1, p. 144-152, 2014.

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*, p. 1-9, 2016.

## APÊNDICE

### CÁLCULO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

#### EMISSÕES DE METANO PROVENIENTES DA FERMENTAÇÃO ENTÉRICA E DO MANEJO DE DEJETOS

##### i. Cálculo da Energia bruta requerida (EB)

Para a estimativa das emissões, foi necessário o cálculo da energia bruta (MJ/ dia) requerida pelos animais do rebanho. Esta é a quantidade de energia que cada animal precisa para a manutenção e para atividades como o crescimento, lactação e gravidez.

O IPCC (2006a) recomenda que as populações de animais sejam classificadas em pelo menos três subcategorias a fim de criar subcategorias de animais com características relativamente homogêneas (Tabela 14).

**Tabela 14.** Categorias representativas de bubalinos

<b>Categoria principal</b>	<b>Subcategorias</b>
Búfalo maduro leiteiro	- Búfalo de alta produção que já tenham parido pelo menos uma vez e são utilizadas principalmente para produção de leite; - Búfalo de baixa produção que já tenham parido pelo menos uma vez e são utilizados principalmente para produção de leite;
Outros búfalos maduros ou búfalos maduros não leiteiros	- Búfalos utilizados principalmente para fins de reprodução – Touros. - Búfalos utilizados principalmente para força de tração.
Búfalos em crescimento	- Búfalos pré-desmame - Novilhas de reposição lácteos - Búfalos pós-desmame

**Fonte:** Adaptado do IPCC (2006a).

O rebanho foi dividido em subcategorias (Tabela 15), conforme recomenda o IPCC (2006a).

**Tabela 15.** Classificação do rebanho em subcategorias animais

<b>Categoria principal</b>	<b>Subcategoria</b>	<b>Número de indivíduos</b>	<b>Peso vivo (kg)</b>	<b>Composição do Rebanho (%)</b>
Búfalos maduros leiteiros	Búfalas lactantes	195	525	28,16
Búfalos em crescimento	Bezerras 0 - 3 meses (fêmeas mamando)	107	65	15,41
Búfalos em crescimento	Bezerras 3 meses - desmame	2	120	0,23
Búfalos em crescimento	Bezerras desmame - 24 meses	104	225	15,04
Búfalos em crescimento	Novilhas em serviço	40	380	5,79
Búfalos maduros não leiteiros	Búfalas secas	100	525	14,41
Búfalos maduros não leiteiros	Bezerros 0 - 3 meses (machos mamando)	87	72	12,60
Búfalos em crescimento	Bezerros 3 meses - desmame	2	132	0,29
Búfalos em crescimento	Bezerros do desmame - 24 meses	40	265	5,73
Búfalos em crescimento	Bezerros >24 meses	3	420	0,43
Búfalos maduros não leiteiros	Touros	10	600	1,42
Búfalos maduros não leiteiros	Bois carreiros	3	600	0,43
<b>Total</b>		<b>-</b>	<b>691</b>	<b>100%</b>

Em seguida, estimou-se a energia bruta inserida por animal em megajoules (MJ) por dia, a partir da energia gasta pelos animais para: manutenção ( $NE_m$ ), atividade ( $NE_a$ ), crescimento ( $NE_c$ ), lactação ( $NE_l$ ), trabalho ( $NE_t$ ) e gestação ( $NE_g$ ).

**ii. Energia líquida para manutenção ( $EL_m$ )** – Quantidade de energia necessária para manter o animal em equilíbrio.

$$EL_m = Cf_i \cdot (PV)^{0,75} \quad \text{(Equação 4)}$$

Em que:

$EL_m$  = Energia líquida requerida pelo animal para a manutenção (Equação 4), MJ/dia;

$Cf_i$  = Coeficiente que varia para cada categoria de animais como mostrado na Tabela 16, MJ/dia. kg;

$PV$  = Peso vivo do animal, kg.

**Tabela 16.** Coeficiente para cálculo de energia de manutenção

<b>Categoria animal</b>	<b><math>Cf_i</math>(MJ/dia.kg)</b>	<b>Comentários</b>
Búfalo (vacas não lactante)	0,322	-
Búfalo (vacas lactantes)	0,386	Este valor é 20% maior para manutenção durante a lactação
Búfalo (tousos)	0,370	Este valor é 15% maior para a manutenção dos machos intactos.

**Fonte:** Adaptado do IPCC (2006a).

**iii. Energia líquida para atividade ( $EL_a$ )** – Energia requerida pelos animais para a realização de atividades como obter comida, água e abrigo. Baseia-se na sua situação de alimentação, em vez de características da própria alimentação.

$$EL_a = C_a \cdot NE_m \quad \text{(Equação 5)}$$

Em que:

$EL_a$  = Energia líquida para as atividades dos animais (Equação 5), MJ/d;

$C_a$  = Coeficiente correspondente à situação alimentar do animal, conforme Tabela 17;

$NE_m$  = Energia líquida requerida pelo animal para a manutenção (Equação 4), MJ/d;

**Tabela 17.** Coeficiente de atividade correspondente à situação alimentar do animal

<b>Situação</b>	<b>Definição</b>	<b><math>{}^1C_a</math></b>
Baias	Os animais são confinados em uma pequena área (por exemplo, presos em baias), como resultado eles gastam pouca ou nenhuma energia para adquirir alimentação.	0,00
Pastagem	Os animais são confinados em áreas com forragem suficiente, exigindo gasto energético modesto para adquirir o alimento.	0,17
Pastoreio em grandes áreas	Animais pastam em terras abrangentes ou terreno montanhoso, com gasto significativo de energia para adquirir alimentos.	0,36

**Fonte:** Adaptado do IPCC (2006a).

${}^1C_a$  = Coeficiente Adimensional.

**iv. Energia líquida para o crescimento ( $EL_c$ )** – Energia necessária para o crescimento animal (ganho de peso).

$$EL_c = 22,02 \cdot \left( \frac{PV_m}{C \cdot PV_f} \right)^{0,75} \cdot GP^{1,097} \quad \text{(Equação 6)}$$

Em que:

$EL_c$  = Energia líquida para o crescimento (Equação 6), MJ/d;

$PV_m$  = Peso vivo médio dos animais na população, kg;

$PV_f$  = Peso vivo de uma fêmea adulta na condição corporal moderada, kg

$C$  = Coeficiente com um valor de 0,8 para as fêmeas, 1,0 para machos castrados e 1,2 para os touros;

$GP$  = Ganho de peso médio diário dos animais na população, kg/dia.

Para o cálculo de  $EL_c$  (MJ/d), que os animais do rebanho possuem um peso corporal médio vivo ( $PV_m$ ) de 327 kg e as fêmeas adultas na condição corporal moderada ( $PV_f$ ) possuem 525 kg de peso vivo.

Embora o ganho de peso sofra anualmente a influência de vários fatores, dentre os quais se destacam a precipitação pluvial e o nível de inundação das áreas, que afetam de modo marcante a disponibilidade de forragem, para ganho de peso médio diário ( $GP$ ) foi considerado o valor de 0,575 kg/dia com base no trabalho de Camarão (1994) para os animais em crescimento. Para as búfalas lactantes, búfalas secas, touros e boi carreiros o valor atribuído foi zero, uma vez que o ganho de peso de animais adultos é baixo.

**v. Energia líquida para lactação ( $EL_l$ )** – É a energia líquida requerida pelo animal para lactação. Para o gado e búfalos a energia líquida para lactação é expressa como uma função da quantidade de leite produzido e o seu teor de gordura expressa como uma percentagem.

$$EL_l = \text{Produção de leite} \cdot (1,47 + 0,40 \cdot G\%) \quad (\text{Equação 7})$$

Para o cálculo da quantidade de leite produzido, em kg de leite/dia, foi considerado que um litro de leite possui aproximadamente 1,0323 kg com base em medições *in loco*.

Em que:

$EL_l$  = Energia líquida para lactação (Equação 7), MJ/dia;

*Produção de leite* = Quantidade de leite produzido, kg de leite/dia;

$G\%$  = Conteúdo de matéria gorda do leite, % em peso.

O conteúdo de matéria gorda do leite (%) foi determinada de acordo análises bromatológicas, sendo utilizado 6,75 % como valor de referência.

**vi. Energia líquida para trabalho ( $EL_t$ )** – É a energia líquida necessária para a realização de trabalho ou prestação de tração.

$$EL_t = 0,10 \cdot EL_m \cdot \text{Horas} \quad (\text{Equação 8})$$

Em que:

$EL_t$  = Energia líquida para o trabalho (Equação 9), MJ/dia;

$EL_m$  = Energia líquida requerida pelo animal para a manutenção (Equação 4), MJ/d;

*Horas* = Número de horas de trabalho por dia.

Na fazenda em estudo os búfalos, aproveitados como força de trabalho, executam atividades de tração em média 4 horas por dia.

**vii. Energia líquida para gestação ( $EL_g$ )** – É a energia líquida necessária para a gravidez. Para bovinos e bubalinos, a exigência total de energia para a gravidez por um período de gestação de 281 dias em média por um ano inteiro é calculado como 10% de  $EL_m$ .

$$EL_g = C_g \cdot EL_m \quad (\text{Equação 9})$$

Em que:

$EL_g$  = Energia líquida requerida para a gestação (Equação 9), MJ/dia;

$C_g$  = Coeficiente de gravidez com um valor de 0,10 para bovinos e búfalos, segundo IPCC (2006a);

$NE_m$  = Energia líquida requerida pelo animal para a manutenção (Equação 4), MJ/d;

Para cálculo de energia bruta, a estimativa de  $EL_g$  deve ser ponderada pela parcela de fêmeas adultas que realmente passaram pela gestação em um ano. Na fazenda em estudo, considerou-se que todas as fêmeas maduras ou em idade fértil possuíram uma gestação anual. Desta forma, foram incluídas nesta categoria búfalas lactantes, búfalas secas e novilhas.

**viii. 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.

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

Em que:

$REM$  = Relação de energia líquida disponível em uma dieta de manutenção de energia digestível consumida (Equação 10);

$DE\%$  = Energia digestível, expressa em percentagem da energia bruta, conforme Tabela 18.

**Tabela 18.** Digestibilidade representante para bovinos e outros ruminantes

<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 (2006a).

**ix. Razão de energia líquida disponível para o crescimento (REC)** – É a proporção de energia líquida disponível para o crescimento em uma dieta para energia digestível consumida.

$$REC = \left[ 1,164 - (5,160 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + [1,308 \cdot 10^{-5} \cdot (DE\%)^2] - \left( \frac{37,4}{DE\%} \right) \right] \quad (\text{Equação 11})$$

Em que:

*REC* = Relação de energia líquida disponível para o crescimento em uma dieta para energia digestível consumida (Equação 11);

*DE%* = Energia digestível, expressa em percentagem da energia bruta, conforme Tabela 18.

**x. Energia bruta** – Requisito de energia bruta é derivado dos requisitos de energia líquida somados e das características de disponibilidade de energia do alimento para animais.

$$EB = \left[ \frac{\left( \frac{EL_m + EL_a + EL_l + EL_t + NE_g}{REM} \right) + \left( \frac{EL_c}{REC} \right)}{\frac{DE\%}{100}} \right] \quad (\text{Equação 12})$$

Em que:

*EB* = Energia bruta, MJ/dia;

*EL<sub>m</sub>* = Energia líquida requerida pelo animal para a manutenção (Equação 4), MJ/dia;

*EL<sub>a</sub>* = Energia líquida para as atividades dos animais (Equação 5), MJ/dia;

*EL<sub>c</sub>* = Energia líquida para o crescimento (Equação 6) MJ/dia;

*EL<sub>l</sub>* = Energia líquida para lactação (Equação 7), MJ/dia;

*EL<sub>t</sub>* = Energia líquida para o trabalho (Equação 8), MJ/dia;

*EL<sub>g</sub>* = Energia líquida requerida para a gestação (Equação 9), MJ/dia;

*REM* = Razão de energia líquida disponível na dieta para manutenção (Equação 10);

*REC* = Razão de energia líquida disponível para o crescimento (Equação 11);

*DE%*: Energia digestível expressa como uma percentagem da energia bruta, conforme Tabela 18.

Conforme afirma o IPCC (2006a), uma vez calculado os valores de energia bruta (EB) para cada subcategoria animal, o consumo de ração em unidades de quilogramas de matéria seca por dia (kg/dia) deve também ser calculado. Para converter a EB em unidades de energia para o consumo de matéria seca, divide-se EB pela densidade da energia da ração. Um valor padrão de 18,45 MJ/kg de matéria seca pode ser usado se a informação específica alimentar não está disponível. A ingestão diária de matéria seca resultante deve ser na ordem de 2% a 3% do peso corporal dos animais maduros ou de crescimento.

#### **xi. Consumo de matéria seca (CMS)**

O cálculo do consumo de matéria seca (CMS) foi realizado com base no peso corporal do animal e na concentração estimada de energia líquida da dieta ( $EL_{Dieta}$ ), Tabela 19.

**Tabela 19.** Valores de  $EL_{Dieta}$  para dietas alimentares típicas de gado

<b>Tipo de dieta</b>	<b><math>EL_{Dieta}</math> (MJ/ kg de matéria seca)</b>
Dieta com alto teor de grãos com > 90% ração concentrada;	7,5 – 8,5
Fragem de alta qualidade (Ex.: leguminosas e gramíneas)	6,5 – 7,5
Fragem de qualidade moderada (Ex.: leguminosas e gramíneas de meia estação)	5,5 – 6,5
Fragem de baixa qualidade (Ex: gramíneas velhas e palhas)	3,5 – 5,5

**Fonte:** Adaptado do IPCC (2006a).

Foi calculado o consumo de matéria seca para crescimento e terminação de gado (Equação 13) e para vacas leiteiras maduras (Equação 14).

$$CMS = PV^{0,75} \cdot \left[ \frac{(0,2444 \cdot EL_{Dieta} - 0,0111 \cdot (EL_{Dieta})^2 - 0,472)}{EL_{Dieta}} \right] \quad (\text{Equação 13})$$

Em que:

$CMS$  = Consumo de matéria seca (Equação 13), kg/dia;

$PV$  = Peso vivo, kg;

$EL_{Dieta}$  = Concentração estimada de energia líquida da dieta conforme Tabela 19, MJ/kg;

$$CMS = \left[ \frac{(5,4 \cdot PV)}{500} \right] \left[ \frac{100}{(100 - DE\%)} \right] \quad (\text{Equação 14})$$

Em que:

$CMS$  = Consumo de matéria seca (Equação 14), kg/dia;

$PV$  = Peso vivo, kg;

$DE\%$  = Energia digestível expressa como uma porcentagem da energia bruta, conforme Tabela 18.

### **EMISSÕES DE METANO ( $CH_4$ ) PROVENIENTES DA FERMENTAÇÃO ENTÉRICA**

Conforme retrata o IPCC (2006a), o metano é produzido em herbívoros como um subproduto de fermentação entérica, um processo digestivo, através da qual os hidratos de carbono são decompostos por micro-organismos em moléculas simples para absorção na corrente sanguínea. Dessa forma, o tipo de sistema digestivo tem uma influência significativa sobre a taxa de emissão de metano. A quantidade de metano que é libertado depende do tipo do trato digestivo, idade e peso do animal, e a qualidade e quantidade do alimento consumido.

Geralmente, quanto maior o consumo de ração, mais elevada a emissão de metano. Embora, a extensão de produção de metano pode também ser afetada pela composição da dieta. O consumo de ração está positivamente relacionada ao tamanho do animal, taxa de crescimento e de produção.

Para refletir a variação nas taxas de emissão, a população de animais deve ser dividido em subgrupos (Tabela 15), e uma taxa de emissões por animal é estimado para cada subgrupo (Equação 15) e para o rebanho total (Equação 16).

$$Emissões = FE_{(T)} \cdot \left( \frac{N_{(T)}}{10^6} \right) \quad \text{(Equação 15)}$$

Em que:

$Emissões$  = Emissões de metano decorrentes da fermentação entérica, Gg  $CH_4$ /ano;

$FE_{(T)}$  = Fator de emissão para a população animal definida, kg  $CH_4$ /cabeça . ano;

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

$T$  = Categoria de animais/ espécie animal.

$$Total CH_4 (Entérico) = \sum_i E_i \quad \text{(Equação 16)}$$

Em que:

$Total CH_4 (Entérico)$  = Emissões totais de metano decorrentes da fermentação entérica; Gg  $CH_4$ /ano;

$E_i$  = Emissões para as categorias e subcategorias de gado;

Os fatores de emissão para a população animal ( $EF_{(T)}$ ) foram definidos para cada categoria de gado com base no fator de ingestão de energia bruta para a categoria (Equação 17).

$$FE = \left[ \frac{EB \cdot \frac{Y_m}{100} \cdot 365}{55,65} \right] \quad (\text{Equação 17})$$

Em que:

$FE$  = Fator de emissão para a população animal definida, kg  $CH_4$ /cabeça.ano;

$EB$  = Ingestão de energia bruta (MJ/cabeça . dia)

$Y_m$  = Fator de conversão de metano, percentual de energia bruta contida na ração convertida em metano, Tabela 20;

O fator 55.65 (MJ /kg  $CH_4$ ) é o conteúdo energético do metano

**Tabela 20.** Fatores de conversão do metano ( $CH_4$ ) –  $Y_m$

<b>Categoria de animais</b>	<b><math>Y_m</math></b>
Gado em confinamento	3,0% $\pm$ 1,0%
Vacas leiteiras bubalinas e suas proles	6,5% $\pm$ 1,0%
Outros búfalos que são alimentados principalmente com resíduos de culturas de baixa qualidade e subprodutos	6,5% $\pm$ 1,0%
Outros búfalos alimentados com pastagem	6,5% $\pm$ 1,0%

**Fonte:** Adaptado do IPCC (2006a).

Conforme Tabela 20, foi admitido um fator de conversão de metano de 6,5% para todas as categorias de animais. Esse foi estabelecido de acordo as características gerais de alimentação e práticas de produção da fazenda em estudo.

## **EMISSÕES DE METANO ( $CH_4$ ) PROVENIENTE DO MANEJO DE DEJETOS**

Este tópico inclui as estimativas de metano provenientes do estrume e da urina dos animais. Tais emissões são produzidas durante o armazenamento ou tratamento dos dejetos, e a partir da deposição destes no pasto.

A decomposição do estrume em condições anaeróbias, durante a armazenagem e tratamento, produz  $CH_4$ . Segundo o IPCC (2006a), quando o estrume é armazenado ou tratado como um líquido (em lagoas, lagos, tanques ou poços), ele se decompõe anaerobicamente e pode produzir uma quantidade significativa de  $CH_4$ . A temperatura e o tempo de retenção da

unidade de armazenamento afetam grandemente a quantidade de metano produzido. Já quando é tratado, como um sólido (em pilhas ou montes) ou quando é depositado em pastos e pastagens, que tende a decompor-se em condições aeróbicas menos  $\text{CH}_4$  é produzido.

Os principais fatores que afetam as emissões de  $\text{CH}_4$  são a quantidade de estrume produzido e a porção do estrume que se decompõe anaerobicamente. O primeiro depende da taxa de produção de resíduos por animal e o número de animais, e este último da forma como o estrume é gerido.

Para o cálculo de metano proveniente do da gestão de dejetos, na abordagem do *Tier 1*, partiu-se da (Equação 18):

$$CH_4(Estrume) = \sum_T \frac{(FE_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6} \quad (\text{Equação 18})$$

Em que:

$CH_4(Estrume)$  =  $\text{CH}_4$  proveniente da gestão do estrume, para uma população definida, Gg  $\text{CH}_4$ /ano;

$FE_{(T)}$  = Fator de emissão para a população animal definida, kg  $\text{CH}_4$ / cabeça .ano, admitindo o valor de 1 kg  $\text{CH}_4$ /cabeça.ano (IPCC, 2006a), pois todos os dejetos são dispersos diretamente nas pastagens (Fator utilizado para a América Latina); Conforme MCT (2010), o fator de emissão de metano associados a sistemas de manejo de dejetos para a categoria bubalina na Bahia é 1 kg  $\text{CH}_4$ /cabeça.ano;

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

$T$  = Categoria de animais/ espécie animal.

## EMISSÕES DE $\text{N}_2\text{O}$ DE SOLOS MANEJADOS

O óxido nitroso é produzido naturalmente em solos através dos processos de nitrificação e desnitrificação. A nitrificação é a oxidação microbiana aeróbia de amônia para nitrato, e a desnitrificação é a redução microbiana anaeróbica de nitrato em nitrogênio gasoso ( $\text{N}_2$ ).

De acordo o IPCC (2006b), as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  são resultantes de entradas antropogênicas de N ou mineralização de N ocorrem tanto através de uma via direta (ou seja , diretamente nos solos a que o N é adicionado/ liberada) , e através de duas vias indiretas : (i) através da volatilização de  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_x$  dos solos manejados e da queima de combustíveis

fósseis e biomassa, e a redeposição subsequente destes gases e seus produtos  $\text{NH}^{4+}$  e  $\text{NO}^{3-}$  para solos e águas; e (ii) após a lixiviação e escoamento de N, principalmente como  $\text{NO}^{3-}$ , de solos manejados.

Foram reportadas como emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  de solos agrícolas aquelas diretas e indiretas provenientes da deposição de excretas (fezes e urina) dos animais em pastagens. Como o esterco não é manejado, isto é, animais de pastagem e piquete, depositam seus dejetos no campo, as emissões foram contadas como emissões do solo. Para tanto, as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  foram estimadas segundo as equações do IPCC (2006b), Capítulo 11 - Emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  dos solos manejados, e emissões de  $\text{CO}_2$  a partir da aplicação de cal e uréia, do Relatório do sobre Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, além de relatórios de referência do MCT (2010).

As equações que seguem descrevem as estimativas de emissões produzidas direta e indiretamente.

#### **i. Emissões diretas**

As emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  por vias diretas foram estimadas a partir da abordagem do *Tier 2*, conforme (Equação 19)

Para os cálculos foram consideradas adições de nitrogênio ao solo, devido essencialmente a deposição de urina e excrementos ao solo.

$$N_2O_{\text{Diretas}} - N = \sum_i (F_{SN} + F_{ON})_i \cdot FE_{1i} + (F_{CR} + F_{SOM}) \cdot FE_1 + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP}$$

(Equação 19)

Em que:

$N_2O - N_{OS}$  = Emissões diretas anuais de  $\text{N}_2\text{O}$ -N de solos orgânicos manejados, kg  $\text{N}_2\text{O}$ /N.ano;

$N_2O - N_{PRP}$  = Emissões diretas anuais de  $\text{N}_2\text{O}$ -N a partir de entradas de fezes e urina para solos de pastos, kg  $\text{N}_2\text{O}$ /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, kg N/ano;

$F_{CR}$  = 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;

$FE_1$  = Fator de emissões para emissões de  $N_2O$  a partir de entradas de N, kg  $N_2O-N$ / (entrada kg N);

$FE_{1i}$  = 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>);  $i = 1, \dots, n$ .

As áreas de pastagem não recebem nenhum tipo de aditivo sintético ou incorporação de resíduos de culturas. Além disso, não passaram por nenhum processo de mudança na gestão ou no uso da terra nos últimos 20 anos. Dessa forma, para a (Equação 19, foram consideradas apenas adições de fezes e urina depositadas diretamente nos pastos.

Para o cálculo de dejetos depositados no solo, partiu-se da seguinte equação:

$$N_2O - N_{PRP} = [(F_{PRP,CPP} \cdot FE_{3PRP,CPP}) + (F_{PRP,SO} \cdot FE_{3PRP,SO})] \quad (\text{Equação 20})$$

Em que:

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

$F_{PRP}$  = 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);

$FE_{3PRP}$  = Fator de emissão para emissões de  $N_2O$  depositados através de urina e excrementos por animais pastores sobre o pasto e outras áreas, kg  $N_2O$ /(entrada kg N); Como os dejetos são depositados diretamente no solo pela pecuária e portanto, não possui tratamento, adotou-se o valor padrão 0,020 conforme IPCC (2006b, cap. 11, p.11.).

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

$$F_{PRP} = \sum_T [(N_{(T)} + Nex_{(T)}) + MS_{(T,PRP)}] \quad (\text{Equação 21})$$

Em que:

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

$N_{(T)}$  = Número de cabeças de gado espécie / categoria T no país;

$N_{ex(T)}$  = Excreção de N média anual per capita de espécies / categoria T no país, kg N/ animal/ ano; Valor de referência para bubalinos de 40 kg N/animal/ano utilizado com base no MCT (2010);

$MS_{(T,PRP)}$  = Fração de excreção anual total N para cada espécie animal / categoria T que é depositado no pasto, adimensional, Tabela 21.

**Tabela 21.** Uso do sistema de gerenciamento de dejetos (MS%)

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

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

## ii. Emissões indiretas

As emissões indiretas de  $N_2O$  foram estimadas a partir da abordagem do *Tier 1*.

Para o cálculo de emissões indiretas, foram consideradas a volatilização (Equação 22) e lixiviação (Equação 23) de N devido analogamente à deposição de urina e excretas animais sobre o solo.

$$N_2O_{(V)} - N = \left\{ \sum_i (F_{SN_i} \cdot Frac_{GASF_i}) + [(F_{ON} + F_{PRP}) \cdot Frac_{GASM}] \right\} \cdot FE_4 \quad (\text{Equação 22})$$

Em que:

$N_2O_{(V)} - N$  = Quantidade 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;

$Frac_{GASF_i}$  = 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 22;

$FE_4$  = 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> ], Tabela 22;

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

**Tabela 22.** Emissão padrão, fatores de volatilização e lixiviação para emissões indiretas de  $N_2O$  para o solo

Fator	Valor padrão
$FE_4$ [N volatilização e re-deposição], kg $N_2O$ – N (kg $NH_3$ -N + $NO_x$ -N volatilizado) <sup>-1</sup>	0,010
$FE_5$ [lixiviação / escoamento], kg $N_2O$ – N (kg N lixiviação / escoamento) <sup>-1</sup>	0,0075
$Frac_{GASM}$ [Volatilização a partir de todos os fertilizantes orgânicos N aplicadas e esterco e urina depositada por animais de pasto], (kg $NH_3$ - N + $NO_x$ -N) (kg N aplicada ou depositados) <sup>-1</sup>	0,20
$Frac_{LEACH-(H)}$ [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 (2006b, cap.11, p. 24).

$$N_2O_{(L)} - N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \cdot Frac_{LIX-(H)} \cdot FE_5 \quad (\text{Equação 23})$$

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;

$Frac_{LECH-(H)}$  = 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>, Tabela 22;

$FE_5$  = 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>, Tabela 22;

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