



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

**IMPACTOS AMBIENTAIS DA CADEIA PRODUTIVA DA CARNE DE FRANGO**

Autor: Ramon Araujo dos Santos  
Orientador. Prof. Dr. Luciano Brito Rodrigues

ITAPETINGA  
BAHIA-BRASIL  
JULHO/2018

**RAMON ARAUJO DOS SANTOS**

**IMPACTOS AMBIENTAIS DA CADEIA PRODUTIVA DA CARNE DE FRANGO**

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

Orientador: Prof. Dr. Luciano Brito Rodrigues

ITAPETINGA  
BAHIA-BRASIL  
JULHO/2018

636.5 Santos, Ramon Araújo dos.  
S238i Impactos ambientais da cadeia produtiva da carne de frango. / Ramon Araújo dos Santos. – Itapetinga-BA: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2018.  
89 fl.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos. Sob a orientação do Prof. D. Sc. Luciano Brito Rodrigues.

1. Carne de frango – Produção – Impactos ambientais. 2. Carne de frango – Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) – Indústria de alimentos. 3. Biogás – Usos – Redução de impactos ambientais. 4. Aves abatidas – Reaproveitamento de resíduos – Produção de farinha de carne. 5. Cama de frango – Usos – Biodigestor anaeróbico. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação de Mestrado em Engenharia e Ciências de Alimentos, *Campus* de Itapetinga. II. Rodrigues, Luciano Brito. III. Título.

**CDD(21): 636.5**

Catálogo na Fonte:

Cláudia Aparecida de Souza – CRB 1014-5ª Região  
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por Assunto:

1. Carne de frango : Produção
2. Carne de frango : Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)
3. Biogás : Usos
4. Aves abatidas : Reaproveitamento de resíduos
5. Cama de frango : Biodigestor anaeróbico
6. Carne de frango : Gestão : Redução de impactos ambientais



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB  
Recredenciada pelo Decreto Estadual  
Nº 16.825, de 04.07.2016



Governo do  
Estado da Bahia

Áreas de Concentração: Engenharia de Alimentos  
Ciência de Alimentos

## DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

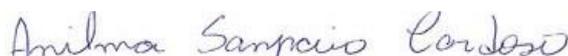
**Título:**IMPACTOS AMBIENTAIS DA CADEIA PRODUTIVA DA CARNE DE FRANGO

**Autor (a):**RAMON ARAÚJO DOS SANTOS

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

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

  
Dr. Henrique Leonardo Maranduba  
UESB

  
Dr.<sup>a</sup> Anilma Sampaio Cardoso  
UESC

  
Prof. Dr. Luciano Brito Rodrigues  
Orientador- UESB  
Presidente da Banca

ItapetingaBA, 20 de julho de 2018.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”*

*Marthin Luther King*

*A DEUS,  
Aos meus pais  
e a minha família,  
A minha esposa,*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por dar-me fortaleza e fé em todos os momentos, para que eu pudesse vencer mais esta etapa da minha vida acadêmica.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), em nome dos professores e da coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, pela oportunidade de me aperfeiçoar e pelas condições de realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Luciano Brito Rodrigues, pela orientação, pelos conhecimentos compartilhados, pela paciência e, principalmente, por ter influenciado positivamente o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos Professores Dra. Anilma Sampaio Cardoso e Dr. Henrique Leonardo Maranduba, por terem aceitado o convite de integrar a banca examinadora, contribuindo, significativamente, para o aprimoramento do conteúdo desta dissertação.

Aos meus pais, Braz e Terezinha, pela confiança em mim depositada nesses anos distante de casa, pelas orações, pelo amor e pela força. Obrigado! Sem vocês, nada disso seria possível!

A Patricia, pela compreensão, pelo amor e companheirismo.

Aos colegas do GEMMA, pela amizade e pelo carinho.

Ao amigo Felipe, por me apresentar ao Prof. Luciano e pelos incentivos durante esta caminhada.

Aos companheiros do curso de mestrado.

A todos que não foram citados, mas, direta ou indiretamente, fizeram parte do Curso de Mestrado e da condução deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos específicos .....	16
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
3.1 A evolução da avicultura no Brasil .....	17
3.2- O cenário atual da avicultura no Brasil .....	19
3.3- Avicultura e meio ambiente.....	21
3.4 Biogás da cama de frango .....	24
3.5 - Conceito de avaliação do ciclo de vida .....	26
3.6 Descrição da ACV .....	27
3.7 Impactos ambientais na cadeia produtiva de carne de frango.....	31
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	39
4.1 Caracterização do objeto do estudo .....	39
4.1.1 <i>Descrição das linhas de processo</i> .....	42
4.2 Etapas da Avaliação de Ciclo de Vida.....	47
4.2.1 <i>Definição dos objetivos e escopo</i> .....	48
4.2.2 - <i>Análise de inventário</i> .....	56
4.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).....	59
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	61
5.1 Avaliação de impacto do cenário base (C0) .....	61
5.2 Comparação entre lenha e biogás para geração de energia térmica em aviário (C0 – C1).....	66
5.3 Comparação entre a farinha de carne bovina e de frango (C0 – C2).....	68
5.4 Comparação entre o sistema tradicional (C0) e o sistema com os dois cenários propostos (C1 e C2).....	70
5.5 Avaliação com alocação mássica.....	72
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	73
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	74
<b>APÊNDICES</b> .....	82

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Produção Média de Biogás em % Acumulada com 5% e 15% de Inóculo. ....	25
<b>Figura 2</b> - Aquecedor Infravermelho a gás. ....	25
<b>Figura 3</b> - Etapas de uma avaliação do ciclo de vida. ....	28
<b>Figura 4</b> - Elementos da AICV. ....	30
<b>Figura 5</b> - Conceito de indicadores de categoria. ....	31
<b>Figura 6</b> - Esquema representativo da empresa. ....	41
<b>Figura 7</b> - Produção de ração. ....	43
<b>Figura 8</b> - Etapa de engorda do frango. ....	44
<b>Figura 9</b> - Produção frigorífica. ....	46
<b>Figura 10</b> - Sistema do produto (atual). ....	49
<b>Figura 11</b> - Sistema de produto com cenários. ....	51
<b>Figura 12</b> - Resultado (em %) associado à produção do CFE, FIE, CF. ....	62
<b>Figura 13</b> - Participação das Unidades de Processo para a produção de 1kg de frango pronto para o consumo. ....	63
<b>Figura 14</b> - Análise de contribuição dos fluxos elementares do sistema de produto. ....	64
<b>Figura 15</b> - Análise de contribuição dos insumos do sistema de produto, com exclusões. ....	65
<b>Figura 16</b> - Comparação do uso sistema tradicional com o de biogás como combustível para aquecimento do aviário. ....	66
<b>Figura 17</b> - Contribuições da Unidade de Processo Frigorífico com e sem descarte de resíduos de carcaça. ....	69
<b>Figura 18</b> - Comparação do Sistema de Produto C0 com o C1. ....	70
<b>Figura 19</b> - Comparação entre o sistema tradicional (C0) e o sistema com os dois cenários propostos (C1 e C2). ....	71
<b>Figura 20</b> - Avaliação dos produtos pela alocação mássica. ....	72

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Fatores de alocação econômica .....	54
<b>Tabela 2</b> - Inventário para produção de 1kg de carne de frango pronta consumo.....	58
<b>Tabela 3</b> - Avaliação dos potenciais impactos ambientais associados à fabricação do frango pronto para consumo e cama de frango .....	61
<b>Tabela 4</b> - Avaliação dos impactos ambientais associados a 1,096MJ de energia térmica (UF 1kg de frango para abate) .....	68
<b>Tabela 5</b> - Fator de emissão de metano do manejo de dejetos por temperatura .....	86
<b>Tabela 6</b> - MS (%) para frangos do estado da Bahia .....	87
<b>Tabela 7</b> - Perda de N de MMS devido a volatilização do N-NH <sub>3</sub> e N-NO <sub>x</sub> .....	89

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1 - Conjunto de processos selecionados no software SimaPro para a avaliação dos impactos ambientais associados à fabricação da carne de frango .....	82
Apêndice 2 - Vetores Pedigree, Vetores Resultados, Incertezas Básicas, Desvios Padrões ....	83
Apêndice 3 - Cálculos de capacidade calorífica da cama de frango .....	84
Apêndice 4 - Emissões de gases no manejo e armazenamento dos dejetos da criação das aves .....	85

## RESUMO

SANTOS, Ramon Araujo. **Impactos ambientais da cadeia produtiva da carne de frango**. Itapetinga, BA: UESB, 2018. 89.p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de concentração em Engenharia de Alimentos).<sup>1</sup>

A carne de frango vem alcançando altos índices de produção em todo mundo, mas com elevada geração de impactos negativos ao meio ambiente. Estudos que visam estimar esses impactos ambientais vêm sendo realizados nas últimas décadas. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem sido uma das metodologias utilizadas nestas pesquisas, por possibilitar uma visão mais ampla de todo o sistema e seus pontos críticos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho ambiental na gestão do ciclo de vida da carne de frango. A coleta de dados primários para desenvolvimento do inventário foi feita em uma empresa que realiza as atividades de produção de ração, aviário e frigorífico. Quando necessário, foram utilizados dados secundários. A fronteira do sistema corresponde às entradas e saídas, desde a chegada dos insumos para produção de ração, até o estoque do produto pronto. Os procedimentos de coleta, tratamento, análise e interpretação dos dados foram realizados, seguindo as orientações das normas ISO 14040:2006 e ISO14044: 2006. A unidade funcional adotada foi de 1kg de produto pronto para o consumo. Como critério de alocação, foi adotado o econômico. Foram selecionadas oito categorias de impacto do método ReCiPe Midpoint (H) v. 1.12: mudanças climáticas, depleção de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de material particulado, depleção de água e depleção de fósil. O software SimaPro ® 8.0.5.13 foi utilizado como ferramenta de apoio para modelar e estimar os impactos do produto. Os resultados demonstram que a produção de ração é o maior responsável pelos impactos. A soja, o milho e a farinha de carne de gado são os principais contribuintes nas categorias selecionadas, sendo os fertilizantes para agricultura e emissões da pecuária os principais responsáveis pelos responsáveis por esses impactos nas categorias. As emissões da cama de frango também foram identificadas como fortes impactantes na maioria das categorias. Com o objetivo de minimizar os impactos do produto, foram testados dois cenários: a aplicação da cama de frango em biodigestor anaeróbico para produção de biogás e sua utilização para geração de calor no aviário; e reaproveitamento dos resíduos de carcaça para produção de farinha de carne de frango a ser inserida na mistura da ração. O cenário de uso de biogás para geração de energia térmica obteve resultados relevantes, onde, além da prevenção da emissão de metano e amônia pela cama descartada, e o não uso de lenha para aquecer os frangos, o aumento da produção de biofertilizante promoveu forte redução dos impactos, com exceção da depleção de água. O reaproveitamento dos resíduos das aves abatidas para produção de farinha de carne também contribuiu para a redução dos impactos em todas as categorias, minimizando as emissões das carcaças que eram destinadas à decomposição em aterro e a redução do uso de insumo de origem de gado. O estudo dos impactos ambientais da cadeia de produção de carne de frango demonstrou ser fundamental, dada a importância dos recursos naturais para produção e qualidade desse alimento.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida, Gestão Ambiental, Indústria de Alimentos.

---

<sup>1</sup> Orientador: Luciano Brito Rodrigues, Dr. UESB.

## ABSTRACT

SANTOS, Ramon Araujo. **Environmental impacts of the chicken meat production chain.** Itapetinga, BA: UESB, 2018. 89.p. Dissertation (Master in Engineering and Food Science, Area of concentration in Food Engineering).<sup>2</sup>

Chicken meat has been reaching high production rates around the world, but with a high impact on the environment. Studies aimed at estimating these environmental impacts have been conducted in recent decades. Life Cycle Assessment (LCA) has been one of the methodologies used in these researches, as it allows a broader view of the entire system and its critical points. The objective of this work was to evaluate the environmental performance in chicken meat life cycle management. The primary data collection for inventory development was done in a company that conducts the production of feed, poultry and refrigerator. When necessary, secondary data were used. The system boundary corresponds to the inputs and outputs, from the arrival of feed production inputs, to finished product stock. The data collection, treatment, analysis and interpretation procedures were performed, following the guidelines of ISO 14040: 2006 and ISO14044: 2006 standards. The functional unit adopted was 1kg of ready-to-eat product. The environmental impact assessment was performed with eight impact categories of the ReCiPe Midpoint (H) v method. 1.12. The categories selected were: climate change, ozone depletion, terrestrial acidification, freshwater eutrophication, photochemical oxidant formation, particulate matter formation, water depletion and fossil depletion. As allocation criterion, the economic one was adopted. SimaPro ® 8.0.5.13 software was used as a supporting tool to model and estimate product impacts. The results show that feed production is largely responsible for impacts. Soybeans, corn and cattle meat flour are the main contributors in the selected categories, with fertilizers for agriculture and livestock emissions being primarily responsible for those impacts in the categories. Chicken litter emissions were also identified as strong impacts in most categories. In order to minimize product impacts, two scenarios were tested; the application of chicken litter in anaerobic biodigester for biogas production and these, used for heat generation in the poultry house; and reuse of carcass residues for the production of chicken meat flour to be inserted in the feed mixture. The scenario of biogas uses for thermal energy generation obtained relevant results. In addition to the prevention of methane and ammonia emission from the discarded litter, and the non-use of firewood to heat the chickens, the increased production of biofertilizer promoted a strong reduction. impacts, with the exception of water depletion. Reusing waste from poultry slaughtered for meat meal production also contributed to reducing impacts in all categories by minimizing carcass emissions that were destined for landfill decomposition and reducing the use of livestock input. The study of the environmental impacts of the chicken meat production chain proved to be fundamental, given the importance of natural resources for the production and quality of this food.

Keywords: Life Cycle Assessment, Manure, Environmental Management, Food Industry.

---

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

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de frango no Brasil obteve grandes avanços no setor industrial, nas décadas de 1960 e 1970, com foco em desenvolvimento de novas tecnologias em instalações, manejo, nutrição, bem-estar e higiene da cadeia produtiva (RODRIGUES *et al.*, 2014; VOGADO *et al.*, 2016). Nos anos 1980 e 1990, o setor avícola passou por processo de melhorias na genética, tecnologias avançadas, controle sanitário, *mix* de produtos e processos mais eficientes (ESPINDOLA, 2012; VOGADO *et al.*, 2016).

Esse histórico contribuiu para a situação atual do setor avícola, visto que o país ganhou um lugar de destaque no cenário mundial. Desde 2008, a carne de frango é a fonte de proteína animal mais consumida no Brasil. O país é o segundo maior consumidor do mundo, atingindo, no ano 2016, uma produção de 12,9 milhões de toneladas. Os números de exportação também são expressivos, com valores de 4,4 milhões de toneladas de frango exportados em 2016. Esses dados colocam o Brasil como o segundo maior produtor e o maior exportador mundial desse produto (ABPA, 2016/2017).

Além dos números altos em relação à produção, ao consumo e à exportação, a carne de frango se destaca em termos nutricionais e acessibilidade econômica. Assim, caracteriza-se por possuir vitamina B e minerais, por possuir baixos níveis em gorduras saturadas, sendo ainda uma importante fonte de proteínas, e a proteína animal de menor custo relativo às outras carnes (WINDHORST, 2006; FAO, 2010; USDA, 2017).

No entanto, o aumento constante da demanda por produção de frango tem trazido preocupações quanto aos impactos ambientais negativos resultantes, ao longo de sua cadeia de produção. A emissão de gases de efeito estufa, odores e poeiras, o uso incorreto das camas, o lançamento de efluentes em corpos d'água, a incorreta disposição das carcaças de animais mortos, a contaminação de solo e água por poluição, com elementos químicos ou microrganismos descartados, provenientes de excreções e partículas de poeira, são exemplos de contribuintes de impactos ambientais causados pela cadeia de produção de carne de frango (OVIEDO-RONDÓN, 2008; PALHARES e KUNZ, 2011).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método que permite analisar impactos ambientais de diversos sistemas produtivos e tem se destacado em pesquisas na área de pecuária e em alimentos de origem animal. Como exemplo, podem ser citados os autores Willers *et al.*, (2017), Santos Junior *et al.*, (2017) e Da Silva *et al.* (2014) que utilizaram a ACV em produção

semi-intensiva de gado de corte, produção de queijo e produção de carne de frango, respectivamente.

Várias pesquisas foram desenvolvidas em diversos países, utilizando a ACV para identificar os impactos ambientais da cadeia de produção de carne de frango. Pelletier (2008) utilizou ACV no setor de frangos de corte nos Estados Unidos, Leinonen *et al.* (2012) no Reino Unido, e Bengtsson e Seddon (2013) aplicaram na cadeia de produção de carne de frango na Austrália.

A ACV inclui todo ciclo de vida de um produto, desde a geração e obtenção de matéria-prima, abrangendo a produção e o consumo, a oportunidade de reciclagem e de reuso, até o descarte final (ISO, 2006a). A utilização dessa ACV torna possível uma visão ampla dos impactos ambientais associados a um sistema de produto. Com seu uso, é possível esboçar uma imagem mais precisa do verdadeiro balanço entre vantagens e desvantagens do produto e da seleção de processos, em relação às consequências ambientais (WILLERS e RODRIGUES, 2014).

Vista a importância da agroindústria de frango e a preocupação com os impactos ambientais causados por essa cadeia produtiva, vem sendo constantemente sugeridas propostas e aplicações de técnicas e processos que minimizem os custos e que agreguem valor aos resíduos.

Estudos abordando o tratamento ou reaproveitamento dos resíduos na avicultura brasileira tem se apresentado vantajosos em termos econômicos, tais como o uso da cama de frango em biodigestores para produção de biogás, empregado na geração de energia térmica (PALHARES, 2004), ou mesmo a produção de farinha com resíduos de aves para composição de ração animal (XAVIER *et al.*, 2012). No entanto, informações da viabilidade ambiental dessas aplicações ainda são escassas, quando se referem às implicações em toda a cadeia de produção. Assim sendo, a avaliação dos impactos ambientais desses cenários na cadeia produtiva de carne de frango torna-se fundamental para se compreender melhor as vantagens ambientais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o desempenho ambiental do ciclo de vida da carne de frango.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Identificar e avaliar os potenciais impactos ambientais relacionados ao sistema de produto;
- Propor cenários de redução de impacto aplicáveis ao sistema do produto estudado;
- Estimar a viabilidade ambiental da implementação dos cenários propostos.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A evolução da avicultura no Brasil

O desenvolvimento da cadeia produtiva do frango de corte ocorreu a partir da década de 1950, estruturando-se em três grandes fases. A primeira iniciou-se entre os anos de 1950; a segunda a partir dos anos 1970 e a terceira a partir dos anos 1990.

Durante a primeira fase, o setor avícola brasileiro passou por grandes transformações na estrutura produtiva (RODRIGUES *et al.*, 2014). A produção de frango de estrutura familiar, iniciada na década de 1920, foi substituída por uma estrutura industrial, dando importância ao planejamento técnico e produção em escala (FREITAS e BERTOGLIO, 2001).

Nesse período foi muito importante a introdução de novas linhagens de Leghorn e New Hampshire, em substituição às raças rústicas que eram comercializadas vivas para o avanço do setor. O Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Centro Sul (IPEACS), a Granja Guanabara/RJ, a Escola Superior Luiz de Queiroz/SP e a Universidade Federal de Viçosa/MG, entre outros Institutos de pesquisas, foram os principais responsáveis por pesquisas genéticas. As características das linhagens criadas, a exemplo de redução da mortalidade, aumento da capacidade de conversão alimentar, diminuição da idade de abate e velocidade de crescimento das aves, foram responsáveis por mais produtividade para o setor (RODRIGUES *et al.*, 2014).

Esses avanços genéticos, resultaram no surgimento dos complexos agroindustriais, onde as unidades produtivas estão interligadas pela busca de uniformidade e pelo controle de processos, com características como produção em grande escala, melhoramento genético, produtividade e novas técnicas de manejo. Dentre esses, destaca-se o Complexo Avícola Brasileiro, onde, além da interligação entre unidades produtivas, existe a integração com demais setores como indústria de rações, indústria química e farmacêutica, indústria de máquinas e equipamentos, e rede de supermercados (FREITAS e BERTOGLIO, 2001).

Outros fatores fundamentais para o desenvolvimento rápido da avicultura de corte estão relacionados à possibilidade de controle do processo biológico e de condições ambientais; ao incremento de tecnologias, facilitado pela alta concentração de animais possíveis em um aviário; à produção com menor dependência de condições climáticas; rápida conversão de cereais em carne que possibilita produtividade e retornos mais rápidos, quando se compara a outras carnes. Além dessas vantagens do processo, o alimento é considerado saudável e os

custos de produção são mais baixos, tornando o produto mais acessível (DA SILVA *et al.*, 2014).

A segunda fase do desenvolvimento do setor avícola é marcada pela instalação de novas unidades produtivas. Na década de 80, surgiram 32 novos abatedouros, situados nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (RODRIGUES *et al.*, 2014). Assim sendo, a avicultura industrial do Brasil, que se iniciou no Estado de São Paulo com a chegada dos imigrantes japoneses, expandiu-se para os demais Estados do país (LAZZARI, 2004).

O Centro Nacional de Pesquisa de Suinocultura da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, criado em 1975, recebeu a função de pesquisar aves, passando a se chamar Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves, hoje denominado Embrapa Suínos e Aves. Em 1982, esse espaço passou a ocupar uma área de 210 ha, no distrito de Tamanduá. O Centro foi crucial para o desenvolvimento de pesquisas de controle de doenças, aperfeiçoamento de rações, melhoria da qualidade genética dos animais, e preservação do meio ambiente (EMBRAPA, 2018).

Outro fator que marcou essa fase do setor avícola foram as quedas no volume das importações de aves abatidas, o que fez com que grandes exportadores como os EUA e a França adotassem estratégias de comercialização de seus excedentes. As empresas brasileiras reagiram com técnicas para a agregação de valor e diversificação com o corte de partes dos frangos (asas, coxas, sobrecoxas e demais cortes) e elaboração de produtos reprocessados (empanados, *nuggets*, pratos prontos) (RODRIGUES *et al.*, 2014).

As inovações tecnológicas oriundas da Terceira Revolução Industrial contribuíram para o setor de carnes. As técnicas de manuseio de animais, pesquisa genética, técnicas de desossa, processamento e conservação das carnes; capacitação gerencial e industrial dos funcionários, por meio de cursos; controle da produção animal, por terminais de computadores foram essenciais para o desenvolvimento do setor (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

A terceira fase foi marcada pela abertura da economia latino-americana que expôs o setor à concorrência em escala mundial. Esse fato fez com que as empresas redefiniram suas estratégias e reestruturassem a base agroindustrial da cadeia produtiva do frango (RODRIGUES *et al.*, 2014).

Entre 1930 e 1996, a capacidade de crescimento dos frangos (conversão alimentar, razão quilograma de ração por carne) aumentou em 65%, com diminuição de cerca de 50% na quantidade de ração consumida e redução do tempo de engorda que era de 105 dias, em 1930, para 45 dias, em 1996 (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Na década de 2000, destaca-se a mudança do regime cambial para um sistema flutuante. Nos anos de 1999 a 2002, a moeda brasileira sofreu forte depreciação. Porém, essa alteração beneficiou o setor do agronegócio, que teve participação em aproximadamente 50% das exportações totais do Brasil no ano de 2002 (SPOLADOR, 2007). Em 2003, com a crescente valorização do Real, o setor do agronegócio, de modo geral, teve queda, mas o setor avícola seguiu evoluindo (BARCZSZ e LIMA FILHO, 2009).

Em 2004, o Brasil conquistou a liderança mundial nas exportações de frango. O aumento foi motivado pela Influenza Aviária, cujo surto, ocorrido no final de 2003, prejudicou a produção e causou o sacrifício de mais de 120 milhões de aves na Ásia (MARTINS, 2005).

Em 2006, a avicultura brasileira passou por uma crise, com a baixa cotação do dólar, ameaça da Influenza Aviária, reflexos negativos da Febre Aftosa na bovinocultura, exportações do frango em queda e excesso da carne no mercado interno. Em razão da ocorrência de problemas sanitários e da redução mundial do consumo de carne de frango, as exportações brasileiras passaram por um período de retração (MEDEIROS, 2008).

A partir de 2007, a avicultura brasileira passou por uma reorganização causada pela aquisição de empresas. A compra da Eleva, pela empresa Perdigão, concentrou o abate de frangos e a representatividade em apenas duas empresas, respondendo pela maior parte das exportações brasileiras. A aquisição de três empresas (70% da Frangobras e 100% da Macedo Agroindustrial e da Avita) pelo grupo norte-americano Tyson Foods, em 2008, tornou-a a única empresa avícola do mundo presente nos três maiores países produtores e consumidores do mundo. Essa negociação também permitiu a Tyson Foods acessar os mercados da União Europeia, que permanecem fechados para os exportadores de frango norte-americanos, e a aproveitar as condições favoráveis do Brasil para a produção de frangos, principalmente em razão da farta disponibilidade de milho e soja (BELUSSO e HESPANHOL, 2010). A fusão entre as duas concorrentes históricas, Sadia e Perdigão, que em 2009 formaram a Brasil Foods - BRF, contribuíram para a modificação da representatividade das empresas no cenário produtivo nacional (BELUSSO e HESPANHOL, 2010).

### **3.2- O cenário atual da avicultura no Brasil**

Apesar da expansão da avicultura pelo país, os Estados do Sul ainda se destacam. De acordo com dados do ABPA (2016/2017), o Paraná é o Estado com o maior número de abate de frango, representando 33,46% do abate do Brasil, seguido pelos Estados de Santa Catarina (16,06%), Rio Grande do Sul (14,11%), São Paulo (9,33%) e Minas Gerais (7,88%).

A consolidação do Sul do país no setor aviário foi fortalecida pela estrutura de posse da terra e pela concentração da produção de insumos básicos da avicultura, como a soja e o milho. Esse fato implica em menores custos globais de transporte mesmo que se tenha que transportar, posteriormente, o produto final para um mercado consumidor distante (LAZZARI, 2004).

O modelo predominante na criação de aves, em todos os Estados, é o de integração. Isso é o que diferencia a avicultura de outras atividades agropecuárias, considerando-se a relação existente entre indústria e unidade produtiva. Duas formas de integração – indústria e unidade produtiva – são praticadas: em uma o produtor recebe o pinto, participa com manejo e engorda, e, quando o pinto atinge a idade pretendida, entrega-o para a empresa integradora para o abate, processa e comercializa; outra forma é a verticalização onde todas as atividades desenvolvem-se sob comando da empresa integradora, com capital e mão de obra próprios (FREITAS e BERTOGLIO, 2001).

No Brasil, grande parte das empresas exportadoras utiliza a produção por meio de contratos de parceria avícola com produtores rurais. Segundo Garcia (2004), o frigorífico fornece o pinto de um dia de vida vacinado, as rações por fase e assistência especializada, o transporte, abate e comercialização do frango. Em contrapartida, o produtor é responsável pelas instalações e pelos equipamentos indicados no contrato e encarrega-se da mão de obra e engorda do frango. No entanto, algumas empresas brasileiras não utilizam esse sistema, preferindo gerir sua própria granja, garantindo maior controle de todos os processos.

O sistema de integração, pesquisas genéticas, desenvolvimento tecnológico e comercial e o controle sanitário permitiram a ampliação do consumo de carnes pela população brasileira. Entre as fontes de proteína animal, a carne bovina, que era a mais consumida, apresentou leve redução de 6,3 milhões de toneladas para 6,0 milhões de toneladas no período 1997-2005, enquanto o consumo de frango, no mesmo período, elevou-se de 3,8 milhões para 6,6 milhões de toneladas (BELUSSO e HESPANHOL, 2010).

O consumo per capita de carne de frango no Brasil, em 2016, foi de 41,10 kg/habitante/ano (ABPA, 2016/2017). Esse valor é muito superior ao consumo per capita de carne bovina, que foi de 25,66 kg/habitante/ano (OECD, 2016).

No ano de 2016, o Brasil teve uma produção de 12,9 milhões de toneladas de frango. Esse valor representa pequena queda, quando comprado ao ano de 2015, com 13,4 milhões de toneladas. No entanto, esses valores aumentaram, consideravelmente, nos últimos 10 anos, uma vez que, em 2006, a produção era de 9,34 milhões de toneladas (ABPA, 2016/2017).

Atualmente, o Brasil é o líder na exportação de carne de frango, com o valor de 4,4 milhões de toneladas de frango exportadas em 2016 (ABPA, 2016/2017). A evolução da

exportação de carne de frango é observada pelo aumento em volume, pois, em 2006, esse valor era de 2,47 milhões de toneladas, e pela receita verifica-se que atingiu nos últimos 10 anos 4,25 bilhões de dólares (ABPA, 2016/2017).

O setor de avicultura brasileiro tem demonstrado grande dinamismo na produção, industrialização, comercialização e evolução técnica, além de sua colaboração na geração de emprego, renda e divisas de exportação para o país (CUNHA e DIAS, 2005).

A avicultura brasileira contribuiu para 3,75% do PIB brasileiro, e gera 5 milhões de empregos diretos e indiretos, sendo que, por se tratar de uma produção não sazonal, evita desempregos temporários. O rápido retorno com receita, a cada 60 dias, gera capital de giro para manter a propriedade, comprar combustíveis, pagar impostos, taxas e salários. O sistema de integração favorece a pequena propriedade, mantendo a mão de obra no campo (ABPA, 2016/2017).

### **3.3- Avicultura e meio ambiente**

Apesar da contribuição substancial do setor avícola para a economia brasileira, existe a preocupação com que a produção aconteça de forma a minimizar impactos ambientais a ela associados. Segundo a Resolução CONAMA n° 01 de 23 de janeiro de 1986, o impacto ambiental é definido como qualquer alteração de naturezas físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam fatores como a saúde, a segurança e o bem-estar da população, atividades sociais, econômicas, a biota, condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

Existe a dependência da água em diversos pontos da cadeia produtiva da carne de frango, como o uso para a dessedentação dos animais e para higienização dos galpões. A utilização desse recurso pode impactar de diferentes maneiras o meio ambiente, desde o incorreto, dimensionamento ou manejo dos bebedouros até a aplicação dos resíduos no solo com potenciais riscos de contaminação de corpos d'águas subterrâneos e superficiais (KRABBE e ROMANI, 2013).

Os microrganismos oriundos da matéria fecal das aves podem contaminar as águas. O nitrogênio e o fósforo excretados apresentam alto potencial poluente para os corpos de água superficiais e podem causar eutrofização (SCOTT *et al.*, 2015) além de favorecer o desenvolvimento da população de algas, baixando a concentração de oxigênio dissolvido, o que resulta na mortandade de peixes (OLIVEIRA e BIAZOTO, 2012).

A avicultura pode causar impactos de escassez hídrica, devido a má gestão deste insumo, em situações como mangueiras e torneiras com vazamentos, manejos de lavagem com equipamentos inadequados, mau dimensionamento dos galpões, uso incorreto dos sistemas de climatização, e rações mal balanceadas com excesso de sais que aumentarão o consumo de água pelos animais (PALHARES e KUNZ, 2011).

A forma mais comum de poluição e contaminação dos solos em regiões avícolas está relacionada ao uso abusivo dos resíduos como fertilizantes. O impacto ambiental negativo mais comum é a acidificação terrestre, em decorrência do excesso de minerais nos solos. Essa condição altera a microbiota e a produtividade das culturas (BOLAN *et al.*, 2010). A disposição de resíduos dos aviários no solo é praticada para a correção de alguns nutrientes, mas o tratamento não adequado pode promover a saturação do solo e das plantas (OLIVEIRA e BIAZOTO, 2012). A aplicação constante de resíduos avícolas no solo afeta o crescimento radicular das plantas (SCOTT *et al.*, 2015).

A atividade avícola também impacta o ar pelas produções de gases, emissões de poeiras, odores, amônia e os gases do efeito estufa. A poeira emitida possui partículas de vários formatos e volume de origem orgânica ou inorgânica. Os fragmentos orgânicos são compostos por emissões das fezes, urina, rações, fungos, bactérias e endotoxinas e são responsáveis por até 90% da poeira dentro do aviário. A fração inorgânica é composta por aerossóis (PALHARES e KUNZ, 2011).

Vários autores vêm destacando a emissão de amônia com um dos causadores de impactos ambientais na produção de frango (NEME *et al.*, 2000; PALHARES e KUNZ, 2011; CURI, 2014; SOUSA *et al.*, 2015). A ração de qualidade oferecida às aves é responsável pelo desempenho da produção. Assim, são oferecidas rações com elevados teores nutricionais, para garantir que as necessidades dos animais sejam atendidas. Porém, isso ocasiona a geração de resíduos com elevadas concentrações de nitrogênio. Apenas 45% do nitrogênio consumido na ração é retido como proteína animal; o restante, cerca de 55%, é excretado na forma de dejetos na cama. Esses são responsáveis pela produção de gases no interior de uma instalação e constituem o principal meio de emissão de gases. O fator de emissão de amônia nos dejetos é estimado em 35% do nitrogênio amoniacal excretado pelas aves (SOUSA *et al.*, 2016; SCOTT *et al.*, 2015).

O excesso de amônia no aviário provoca efeitos negativos como queda no ganho de peso, irritabilidade dos animais, exposição dos animais a outras doenças, e ainda efeitos na saúde do trabalhador (PALHARES e KUNZ, 2011). O *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH, 2001) indica que os seres humanos podem estar expostos a

concentrações de amônio de 25 ppm, por 8 horas de permanência no ambiente, 35 ppm durante 15 minutos e 50 ppm por 5 minutos. Recomenda-se o nível máximo de 20 ppm de amônia para exposição contínua dos animais no interior das instalações, durante toda a fase de criação (SOUSA *et al.*, 2015).

SOUSA *et al.* (2016) sugerem as seguintes alternativas como medidas de minimizar a produção de amônia na produção de frango: manejo da ventilação de galpões avícola, controle de características da cama em número de reutilização, controle de umidade e pH, material da cama; uso de aditivos na cama aviária; monitoramento e redução do teor de proteína bruta na dieta das aves com a suplementação de aminoácidos.

Após o uso em aviários, a cama de frango pode ser utilizada para alimentação de biodigestores e produção de calor, sendo essa atividade cada vez mais difundida, principalmente, pelo fator econômico relacionado ao consumo de energia elétrica e lenha ou gás nos galpões avícolas (PALHARES, 2004; TESSARO *et al.* 2015). No entanto, essa prática tem sido abordada apenas pelos fatores econômicos e técnicos, sendo escassos estudos que avaliem pelos aspectos ambientais da atividade e sua relação no ciclo de vida do produto final.

A falta de manejo e tratamento adequado para outros resíduos, na produção de carne de frango, podem contribuir para a elevação dos impactos ambientais negativos. Katajajuuri *et al.* (2008) concluíram que os resíduos de carcaça descartados inadequadamente podem representar problemas ao meio ambiente. Tais problemas ocorrem tanto devido ao desperdício de partes da ave que podem ser destinadas a outros produtos (como o osso para produção de ração), quanto a decomposição da carcaça. Xavier *et al.* (2012) apresentaram resultados que demonstram viabilidade econômica e técnica na utilização de resíduos de carcaça e ossos para fabricação de farinha a ser adicionada na ração. Estudos que demonstrem a viabilidade ambiental, em decorrência do reaproveitamento desses resíduos, dentro da própria cadeia de suprimentos, ainda são escassos.

No sistema de produção de carne de frango, existem vários aspectos que podem causar impactos negativos no meio ambiente, e soluções para o manejo e reaproveitamento de resíduos já são difundidos na literatura. Por outro lado, estudos de avaliação da viabilidade ambiental dessas propostas são escassos, destacando que tais impactos interferem diretamente em todo o ciclo de vida do produto.

### 3.4 Biogás da cama de frango

Os resíduos da agricultura e excrementos de animais são considerados fontes de biomassa e podem ser convertidos em fontes energéticas e sustentáveis de menor custo (ZHENG *et al.*, 2011). Uma opção para a reutilização dos resíduos é a produção de biogás, que substitui o gás natural, podendo ser aproveitado para geração de energia elétrica, mecânica e térmica, além de ter como coproduto o biofertilizante, agregando valor à produção agrícola (SEBRAE, 2008).

O processo de biogás ocorre a partir da digestão anaeróbica da biomassa, produzindo o biogás, que é composto por um *mix* de gases metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), usados para produzir energia (YADVIKA *et al.*, 2004).

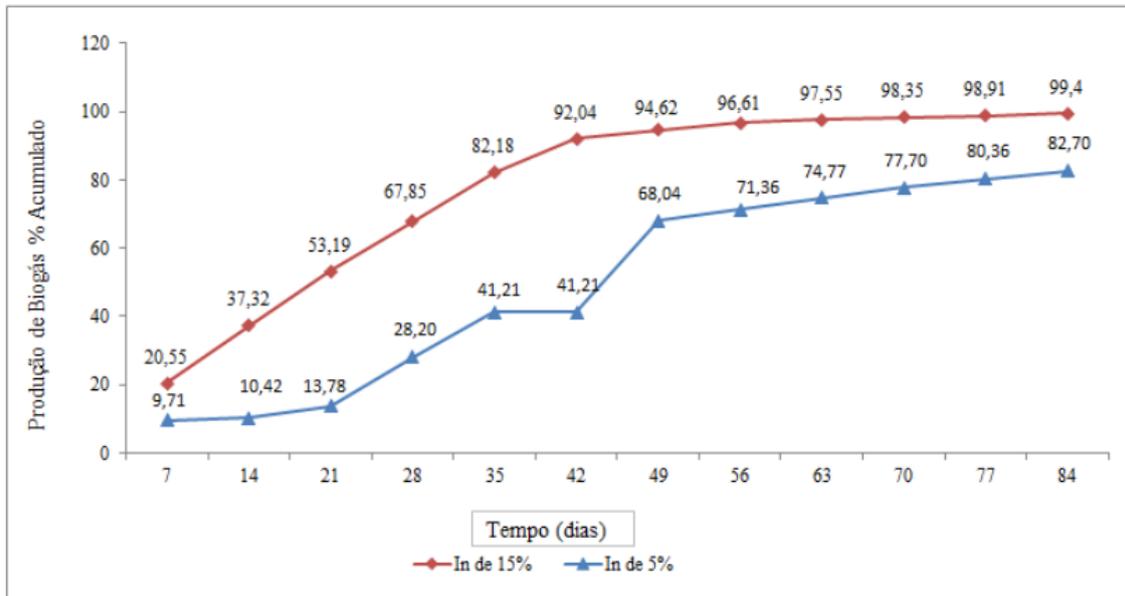
Atualmente, o destino da maior parte da cama de frango é a sua utilização como fertilizante do solo. Essa destinação é economicamente válida, pois a cama configura um insumo bastante usado na avicultura e possui considerável concentração de nutrientes (TESSARO, 2011).

No entanto, com a crescente expansão da avicultura no Brasil e o surgimento dos problemas de contaminação do solo e dos recursos hídricos causados pelo uso excessivo da cama de frango com fertilizante, a busca por formas de transformar esse material em fonte de energia tem sido uma alternativa (TESSARO *et al.*, 2015; HANAFIAH *et al.*, 2017).

A estimativa do sistema de digestão anaeróbica é condição essencial na consideração dos processos de produção de energia da biomassa. A dimensão do biodigestor para atender a característica energética depende da disponibilidade dos resíduos do aviário (SANTOS, 2001). A cama de frango é obtida, periodicamente, podendo ser retirada no final de cada ciclo de aves no galpão ou até após o sexto lote de produção de frango. Essa característica é mais bem atendida pelos biodigestores de batelada, principalmente por apresentarem baixo custo de aquisição, associada à baixa tecnologia e facilidade operacional (PALHARES, 2004).

Segundo Palhares (2004), a produção de biogás por kg de cama de frango com uso de maravalha é 0,1712 m<sup>3</sup> para uma cama de apenas um lote de produção. Em seu estudo para identificar a maior eficiência na produção de biogás, a partir da cama de frango em biodigestores do tipo batelada, Santos (2001) concluiu que o ideal é utilizar 15% de inóculo (esterco já decomposto e com alta concentração de microrganismos), 75% de água e 10% de cama de aviário. A produção percentual de biogás em relação aos dias pode ser observada na Figura 1.

**Figura 1** - Produção Média de Biogás em % Acumulada com 5% e 15% de Inóculo.



Fonte: Santos (2001).

A partir dessas informações, é possível dimensionar o potencial calorífico de uma determinada quantidade de cama de frango, além das necessidades de insumos para geração de energia térmica, e avaliação da capacidade de atender a demanda total de um aviário.

Para utilização do biogás em aviários, é necessária a utilização de geradores de calor alimentados por gases. Catelan (2007) sugere os aquecedores infravermelhos a gás (Figura 2). Este modelo pode utilizar como combustível os gases GLP, biogás e gás natural.

**Figura 2** - Aquecedor Infravermelho a gás.



Fonte: BALDIN (2013).

Para calcular o consumo energético do equipamento infravermelho a gás, Funck e Fonseca (2008) utilizaram a equação 1.

$$CE_{gás} = \frac{CTG \times PCI}{1000000} \quad (1)$$

sendo

$CE_{gás}$  = Consumo energético do sistema a gás (GJ);

$CTG$  = Consumo total de gás (m<sup>3</sup>);

$PCI$  = Poder calorífico inferior, que é 35.900 kJ/m<sup>3</sup> para biogás, conforme FUNCK e FONSECA, (2008).

### 3.5 - Conceito de avaliação do ciclo de vida

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) baseia-se nos requisitos estabelecidos pelas normas ISO 14040:2006 e 14044:2006 (ISO, 2006a, b). A método é utilizado para avaliar os potenciais impactos ambientais relacionados a um sistema de produto específico, no decorrer do seu ciclo de vida.

O início do desenvolvimento da ACV data do final da década de 60 e início de 70. Considera-se que os primeiros estudos ocorreram nos Estados Unidos com a empresa Coca-Cola, com a intenção de avaliar o desempenho ambiental de embalagens, porém não houve divulgação de informações (WEIBENBERGER *et al.*, 2014).

Os países desenvolvidos já aplicam a ACV, de forma isolada, desde o final da década de 60 para avaliação, principalmente, de impactos relacionados a embalagens.

No Brasil, os estudos começaram a ganhar visibilidade na década de 90. Esse tema ganhou importância com a realização da Conferência ECO 92 do Rio de Janeiro que trouxe destaque para o Desenvolvimento Sustentável (SANTOS *et al.*, 2011).

O primeiro evento em ACV no Brasil foi realizado em 2007 (Congresso Internacional de Avaliação de Ciclo de Vida – CILCA) (LIMA, 2007; SANTOS *et al.*, 2011; SOMBRIO, 2015). Outro fator que favoreceu a sua consolidação foram as crescentes exigências por parte das políticas públicas externas e internas com relação à ACV de produtos e serviços. Estas políticas abrangem desde programas de produção e consumos sustentáveis (EUROPEAN UNION, 2008), barreiras alfandegárias na exigência de mercado representada por selos e rótulos ambientais tipo I e tipo III (EUROPEAN COMMISSION, 2013) a aspectos legais como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Em 2010, o Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida (PBACV) foi aprovado pela Resolução nº 03 do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), com o objetivo de estabelecer diretrizes para o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO) e de dar continuidade às ações de ACV no Brasil.

A visão de ciclo de vida surge como alternativa à visão tradicional de enfrentar os problemas ambientais com base apenas nos processos produtivos, ou seja, focado, na maioria das vezes, nos estágios de manufaturas dos produtos. Nas medições de desempenho ambiental, isto pode ser compreendido como desvantagem, pois a visão no processo gera uma não globalização de todos os estágios do ciclo de vida (SILVA, 2012).

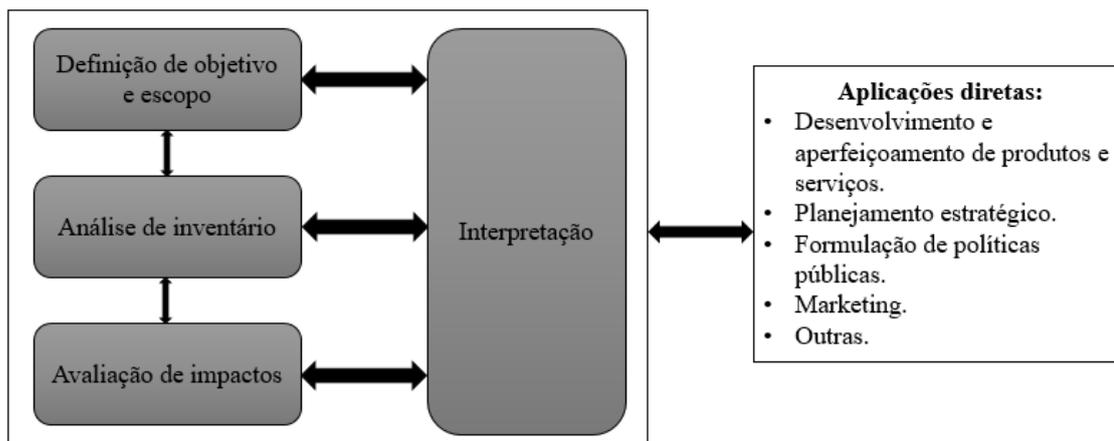
A partir da adoção do conceito de ciclo de vida, essa lacuna é ultrapassada, pois todas as etapas são reputadas. Nesse conceito, o alvo torna-se o produto e não apenas o processo, dando atenção à função que este tem a exercer (HEIJUNGS *et al.*, 1992).

A ACV considera todo o ciclo de vida de um produto ou serviço; desde a extração e obtenção de matérias-primas, através da geração de energia e materiais, manufatura, utilização, tratamento de fim de vida; até a disposição final (ISO 14040, 2006a). Assim, a ACV é definida como uma abordagem do “berço ao túmulo” e seu foco são todos os aspectos e impactos ambientais potenciais.

### **3.6 Descrição da ACV**

De acordo com as normas ISO 14040:2006a e ISO 14044:2006b, os estudos que utilizam a ACV compreendem quatro etapas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos ambientais e interpretação (Figura 3).

**Figura 3** - Etapas de uma avaliação do ciclo de vida.



Fonte: NBR ISO 14040 (2006a).

Essas quatro fases se relacionam entre si, embora exista uma sequência nas etapas. Quando necessário, pode-se recorrer à reutilização de uma, ou de todas as fases para reorganização do estudo (ISO 14040, 2006a).

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

O objetivo e escopo de uma ACV devem ser claramente estabelecidos e alinhados com a aplicação pretendida, mas pode ser ajustado conforme o estudo (ISO, 2006a).

O escopo da ACV deve ser definido e nivelado com os objetivos pretendidos, referindo à dimensão, profundidade e detalhamento do estudo, conciliado ao objetivo declarado. A definição do escopo inclui, entre outros, os elementos de sistema de produto estudado, as funções do sistema, a unidade funcional, fronteira do sistema, os procedimentos de alocação, as categorias de impactos selecionados, a metodologia de avaliação, os requisitos de dados, pressupostos, as limitações, o tipo e formato de relatório (ISO 14044, 2006a; BARBIERI, 2007).

### **ii. Análise de inventário**

Segundo a ISO 14040 (2006a), a análise de inventário envolve a coleta de dados e os procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas significantes de um sistema de produto. A coleta de dados para cada processo elementar dentro da fronteira do sistema requer a quantificação da entrada de energia, de matéria-prima, entradas auxiliares e outras entradas

físicas, produtos, coprodutos e resíduos, emissões atmosféricas, descargas para a água e solo e outros aspectos ambientais.

Isso resulta em um balanço de energia e massa que caracteriza o Inventário de Ciclo de Vida (ICV). Essa análise tem o objetivo de mensurar os efeitos ambientais do sistema (WILLERS *et al.*, 2013).

A realização de uma análise de inventário é um processo iterativo. Durante a coleta de dados, o conhecimento sobre o sistema é expandido, surgem novos fatores e mudanças na estratégia de apuração dos dados, de modo que o objetivo do estudo seja alcançado (ISO 14040, 2006a).

### **iii. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida**

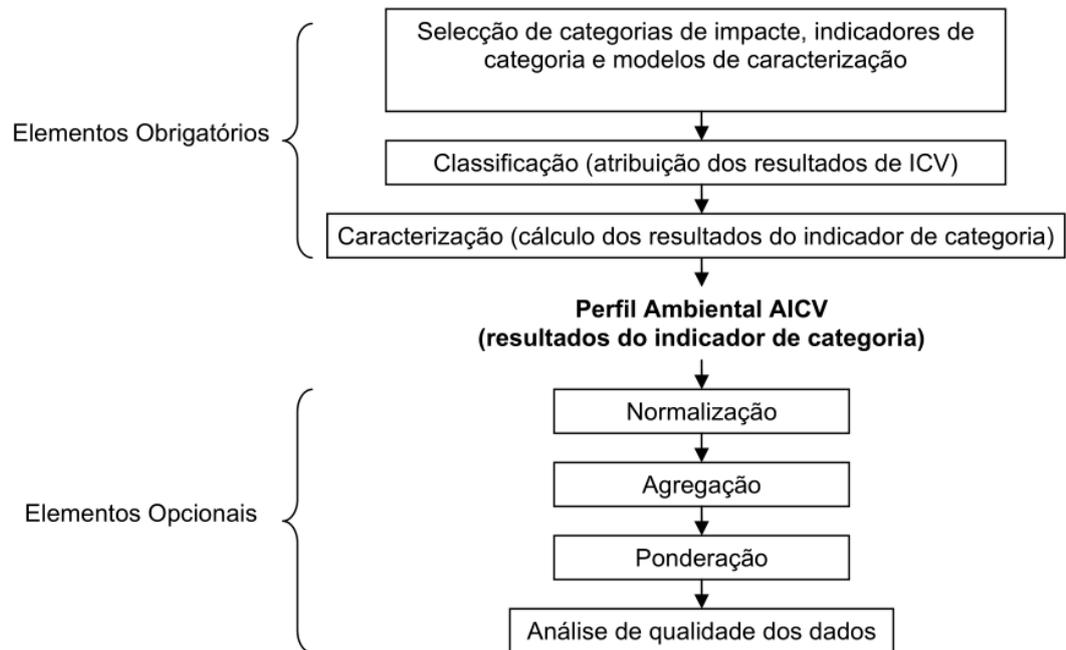
A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) possibilita interpretar a relevância de aspectos ambientais apresentados na etapa de inventário e agregar as intervenções em diversos ou em um único indicador. Os fluxos elementares do sistema são associados aos impactos gerados ao meio ambiente, em nível mundial, regional ou local (FRANKL e RUBIK, 2000).

A ISO 14040 (2006) apresenta a indicação dos elementos que podem constar nesta fase: classificação, caracterização e atribuição de pesos. A etapa de avaliação dos impactos ambientais tem o ofício de determinar e quantificar quão acentuada é a influência dos aspectos ambientais no meio (NIGRI, 2012).

A etapa de AICV deve ser planejada para atender o objetivo e escopo do estudo de ACV. Deve ser coordenada com outras fases da pesquisa para levar em consideração possíveis omissões e fontes de incertezas. Entre estas, deve-se verificar se a qualidade dos dados e os resultados do ICV são suficientes para guiar a avaliação de impacto; ou se a fronteira do sistema e as decisões de corte de dados foram revisadas o suficiente para garantir que os resultados do inventário sejam necessários para calcular os indicadores para a AICV, dentre outros (ISO 14044, 2006).

A fase AICV compreende uma série de elementos obrigatórios e opcionais, conforme mostrado na Figura 4.

**Figura 4** - Elementos da AICV.

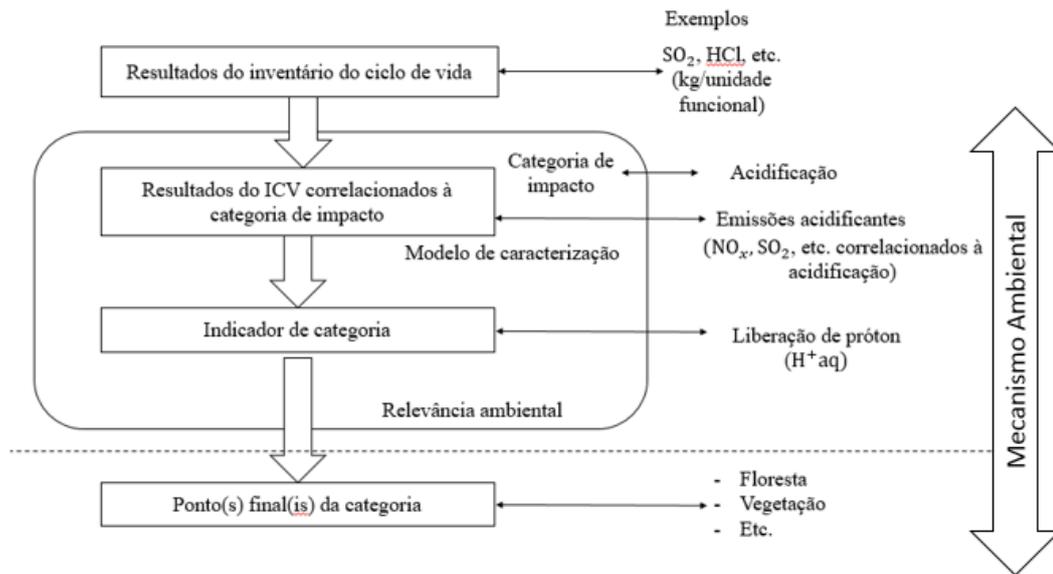


Fonte: NBR ISO 14044 (2006b).

Os elementos obrigatórios transformam os resultados do ICV em indicador de categorias de impacto. Já os elementos opcionais funcionam para normalizar, agrupar ou pesar os resultados do indicador e as técnicas de análise de qualidade dos dados (FERREIRA, 2004).

Na Figura 5, está demonstrada a estrutura geral de AICV, tendo como exemplo a categoria de impacto “acidificação”, indicando a relação entre os resultados do ICV, categorias de impacto, indicadores de categoria e categorias de ponto final.

**Figura 5** - Conceito de indicadores de categoria.



Fonte: Adaptada de NBR ISO 14044 (2006b).

O indicador de categoria pode ser definido em qualquer ponto, ao longo do mecanismo ambiental, entre os resultados do ICV e os pontos finais de categoria (ISO 14044, 2006b).

Na etapa de classificação, o consumo de recursos e as emissões de substâncias relacionadas no inventário são atribuídos às categorias de impacto, de acordo com sua capacidade de proporcionar diferentes danos ambientais. Nessa fase acontece a atribuição de um fator de caracterização quantitativo para cada categoria que recebe contribuição do fluxo (MENDES et al., 2015).

#### iv. Interpretação dos resultados

A interpretação é a quarta etapa da ACV. Abrange a avaliação da consistência e a sensibilidade dos dados, apresenta as conclusões da pesquisa, as limitações contidas e as recomendações (ISO, 2006a, 2006b).

### 3.7 Impactos ambientais na cadeia produtiva de carne de frango

O gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos é um campo de pesquisa relativamente novo, que explora ambientes e indústrias com mudanças constantes. A indústria de alimentos é um exemplo desse ambiente dinâmico. Os clientes têm elevada expectativa da

qualidade do alimento e uma crescente demanda por alimentos produzidos de forma ambientalmente sustentável (BESKE *et al.*, 2014).

Os consumidores têm exigido alimentos de alta qualidade, produzidos sob condições que não causem dano não apenas ao homem, mas também ao meio ambiente (BOER, 2003). Nesse contexto, há um aumento do reconhecimento e aceitação da necessidade de desenvolver sistemas mais sustentáveis no setor de alimentos (NOTARNICOLA *et al.*, 2012).

A cadeia produtiva de carne de frango possui um sistema extenso e com um atravessamento rápido, em razão do curto tempo de vida das aves (média de 42 dias). Outro fator importante do setor avícola é a grande quantidade de matérias-primas, recursos e insumos necessários, a exemplo de embalagens, grãos, vitaminas, minerais, energia térmica e elétrica, água e produtos de higiene.

Estudos abordando os impactos ambientais do produto carne de frango estão sendo cada vez mais publicados. No Quadro 1, são apresentadas pesquisas publicadas entre 2008 e 2018, organizadas segundo o produto avaliado, o país onde o estudo foi desenvolvido, o objetivo, alguns aspectos da metodologia (abordagem, unidade funcional, método de alocação e categorias de impacto) e as principais conclusões.

**Quadro 1** - Síntese de estudos de ACV na cadeia produtiva de carne de frango no período de 2008-2018

Autor	País/Região	Objetivo	Limites do Sistema	Unidade Funcional	Método de Alocação	Categorias de impactos <sup>1</sup>	Conclusões selecionadas
Pelletier (2008)	Estados Unidos	ACV no setor de frangos de corte nos Estados Unidos	Berço ao portão da fábrica	1.000 kg de frango vivo	Teor de energia química bruta ajustada na massa	MC, DO, AT, EAD	1- As maiores contribuições de impacto estão associadas aos grãos para produção de ração.
Katajajuuri <i>et al.</i> (2008)	Finlândia	ACV na cadeia de suprimentos em filé de frango	Berço ao portão	1.000 kg de frango para consumo	Econômica e mássica	MC, AT, EAD, DO, FOF	1- Cultivo do frango e produção da forragem geram maior impacto relacionado a MC.
Davis e Sonesson (2008)	Suécia	ACV nas cadeias alimentares integradas da Suécia	Portão ao túmulo	Uma porção para refeição	Econômica	MC, AT, EAD, FOF	1- As fezes dos frangos geram altos impactos em AT. 2- A cama de frango deve ser mais bem aproveitada, visando minimizar seus impactos ambientais.
Pardo <i>et al.</i> (2012)	França	Melhoria ambiental através da metodologia LCA	Berço ao túmulo	1.000 kg de frango para consumo	NA <sup>2</sup>	MC, DO, AT, EAD, DA	1- Embalagens produzidas com material biodegradável reduziram a AT e DO.
Leinonen <i>et al.</i> (2012)	Reino Unido	Aplicar ACV, para quantificar as cargas ambientais dos sistemas de produção de frangos	Berço ao portão	1.000 kg de frango pronto para consumo	Econômica	MC, AT, EAD, US, DRA	1- A produção e o processamento de ração foram os que mais influenciaram em todos os grupos de fluxo elementar para afetar o MC. 2- Melhorar a eficiência alimentar, incluindo a quantidade, a composição e o conteúdo de nutrientes do alimento consumido tem o potencial de reduzir os impactos ambientais.

<sup>1</sup>MC = Mudanças climáticas; DO = Depleção de Ozônio; AT = Acidificação terrestre; EAD = Eutrofização de água doce; FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos; DA = Depleção de água; DF = Depleção fóssil; DRA = Depleção dos recursos abióticos; IE = Impacto aos ecossistemas; TH = Toxicidade humana; US = uso e ocupação do solo; RI = Radiação Ionizante. <sup>2</sup>NA = não aplicado.

**Quadro 1 – (Continuação)**

<b>Autor</b>	<b>País/Região</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Sistema</b>	<b>Unidade Funcional</b>	<b>Alocação</b>	<b>Categorias de impactos<sup>1</sup></b>	<b>Conclusões selecionadas</b>
Bengtsson e Seddon (2013)	Austrália	ACV aplicada à produção de frango da Austrália	Berço ao portão	1.000 kg de frango para consumo	Econômica e mássica	MC, DRA, US, EAD, AT, IE, FOF, DO, TH, RI	1- O principal impacto geral é o consumo de alimentos para frangos. 2- Emissão de amoníaco da fazenda teve grande impacto, mas o estudo não considerou emissões de amônia que ocorrem após a cama da galinha
González-García <i>et al.</i> (2014)	Portugal	Avaliação ambiental da fazenda e do matadouro de frango de corte de Portugal	Berço ao portão	1,2 kg de frango para consumo	NA <sup>2</sup>	MC, AT, EAD, FOF	1- Os maiores contribuintes estão na etapa de aviário: MC (93%), AT (98%), EAD e FOF (99%). 2- As contribuições dos processos realizados na fazenda aviário de frangos foram dominados pela produção de alimentos para animais e emissões nas atividades agrícolas. 3-A contribuição da produção de alimentos para os impactos ambientais derivado do aviário foi especialmente alta, variando de 23% (em AT) a 79% (em FOF). 4- Sugere o uso da cama de frango como fertilizante e uso de leguminosas para substituição da soja.
Da Silva <i>et al.</i> , (2014)	França e sul do Brasil	Comparou os encargos ambientais de sistemas de produção de frango, dois do Brasil e dois da França	Berço ao portão	1.000 kg de frango para consumo	Econômica	DA, EAD, MC, US, IE, CE	1- O desmatamento para o estágio de produção de culturas foi significativo, particularmente para as mudanças climáticas equivalentes a 19% das emissões totais de CO <sub>2</sub> . 2- O sistema do sul do Brasil teve menos impacto nas mudanças climáticas, porque já não há desmatamento no sul do Brasil para a produção agrícola.
Kalhor <i>et al.</i> (2016)	Irã	Avaliar os impactos ambientais da produção de carne de frango no verão e no inverno	Berço ao portão	1.000 kg de frango para consumo	NA <sup>2</sup>	DRA, AT, EAD, MC, TH, DO, EM	1-As avaliações revelaram que o estágio de produção dos frangos de corte foi a principal fonte de impactos ambientais, principalmente devido à produção e transporte de ração e emissões na propriedade agrícola no ciclo de vida da produção de carne de frango. 2-Granjas, frigoríficos e transportes de produção de frangos de corte respondem por 56%, 31% e 13% do consumo total de energia, respectivamente.

**Quadro 1 – (Continuação)**

Autor	País/Região	Objetivo	Sistema	Unidade Funcional	Alocação	Categorias de impactos <sup>1</sup>	Conclusões selecionadas
Cesari <i>et al.</i> (2017)	Itália	Avaliar o impacto ambiental da produção de carne de frango italiana	Berço ao portão	1 kg de corte de frango	Econômica	MC, AT, EAD, IE, DF	<p>1- A engorda de frangos de corte resultou na fase mais impactante para todo o impacto categorias, contribuindo em média para 87% dos impactos.</p> <p>2- A redução do peso vivo final de frangos de corte italianos de 2,6 kg em média para 1,6 kg poderia reduzir a MC do setor de frango de corte em cerca de 12%.</p> <p>3- Para MC, DF, AT e EAD dominam o impacto no meio ambiente, devido a alimentação e energia. Por outro lado, tratamentos mistos de plásticos e resíduos de papel estavam diminuindo ligeiramente o impacto ambiental como resultado da reciclagem.</p> <p>4- A densidade de lotação crescente até o máximo permitido determina apenas efeitos leves sobre os impactos ambientais por kg de peso de carcaça.</p>
Skunca <i>et al.</i> (2018)	Sérvia	Analisar o desempenho ambiental de diferentes fazendas, frigoríficos, varejistas e domicílios	Berço ao túmulo	1 kg de frango para consumo	NA <sup>2</sup>	MC, EAD, DO, CE	<p>1-Sugere o tratamento de cama de frangos em um digestor de biogás, uso de sistemas eficientes em toda a cadeia e, ao mesmo tempo, estimula os consumidores para um consumo mais sustentável, em termos de reciclagem de resíduos.</p>

<sup>1</sup>MC = Mudanças climáticas; DO = Depleção de Ozônio; AT = Acidificação terrestre; EAD = Eutrofização de água doce; FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos; DA = Depleção de água; DF = Depleção fóssil; DRA = Depleção dos recursos abióticos; IE = Impacto aos ecossistemas; TH = Toxicidade humana; US = uso e ocupação do solo; CE = Consumo de energia; RI = Radiação Ionizante; EM = Ecotoxicidade marinha. <sup>2</sup> NA = não aplicado.

Segundo Pelletier (2008), nos Estados Unidos, o alimento para frango contribuiu com 80% do consumo de energia, 82% das emissões de gases de efeito estufa, 98% das emissões de redução da camada de ozônio, 96% das emissões acidificantes e 97% das emissões eutrofizantes nos impactos dos *inputs* e *outputs* do aviário. As entradas e emissões na fazenda, em grande parte relacionadas ao aquecimento e à ventilação, contribuem, em média, com apenas 9% dos impactos citados. O autor sugeriu a utilização da cama de frango para adubação orgânica e o uso dos resíduos da carcaça para produção de farinha de carne.

O estudo realizado por Katajajuuri *et al.* (2008), na Finlândia, verificou que o alojamento do frango e a produção de forragem foram responsáveis pela maior parte da mudança climática, representando, respectivamente, 29% e 36% do impacto total. Esse resultado não foi apenas em relação ao consumo de energia, mas também pelas emissões de óxido nitroso da produção da forragem, e de óxido nitroso e metano provenientes do manuseio de esterco de aves.

Apesar de a produção agrícola ser a etapa mais impactante, os autores sugerem que as medidas de redução de impacto sejam tomadas no manejo dos animais, por ser um processo de mais fácil controle.

Em estudo realizado na Suécia, Davis e Sonesson (2008) identificaram que o potencial de acidificação foi considerado como um relevante impacto ambiental, proveniente das emissões de amônia na pecuária. Como a amônia é uma substância acidificante, emitida pela excretas os animais, o aviário de frango é um forte contribuinte. A melhor gestão ou aproveitamento dos resíduos pode reduzir as emissões acidificantes. Os autores demonstraram, a partir de cenários, que a mudança de fornecedores e a redução do desperdício de alimentos para o frango e pelo consumidor final evidenciaram redução em todas as categorias. Isto, além da redução, ainda que modesta, do uso de energia na indústria.

Leinonen *et al.* (2012) identificaram, pela previsão de impactos ambientais do sistema de produção de frangos no Reino Unido, que a produção de ração e o transporte de grãos resultou em maior impacto ambiental do que qualquer outro componente, por exemplo, 65% a 81% do uso de energia primária e 71% a 72% do potencial de aquecimento global do sistema foram provenientes desses encargos. O estrume foi o principal componente do potencial de acidificação (28,62%) e um potencial de eutrofização (8,71%).

Pardo *et al.* (2012) concluíram que as emissões relacionadas às embalagens tradicionais de bandeja e plástico filme podem ser minimizadas por meio da utilização de materiais biodegradáveis, baseados em ácido polilático e álcool vinílico, em vez de plástico. Os resultados obtidos demonstraram uma redução na acidificação terrestre (0,5%), na redução do ozônio (1,5%), além de diminuição em 20% das mudanças climáticas causadas por embalagens. No mesmo estudo, o consumo de água e a geração de águas residuais foram minimizadas em 16%. No frigorífico, com alternativas de reciclagem e reutilização, aplicando-se técnicas inovadoras, tais como descontaminação de luz pulsada, foi possível purificar a água já utilizada e reutilizá-la na produção.

Bengtsson e Seddon (2013) afirmam que a produção de ingredientes para ração é o estágio do ciclo de vida da carne de frango mais impactante em termos do consumo de água (66%) na Austrália. As maiores contribuições globais são de farelo de soja, grãos e farinha de carne, representando 79% do impacto dos ingredientes das rações.

Em um estudo comparativo entre a produção de frango na França, com uso de grãos importados do Brasil ou importação da carne do Brasil, Da Silva *et al.* (2014) verificaram que o desmatamento para cultivo dos grãos de soja e milho no Brasil foi responsável por 19% das emissões de CO<sub>2</sub>. Os autores identificaram, também, que os grãos produzidos na região Sul do Brasil possuem menor contribuição para os impactos na categoria Mudanças Climáticas, uma vez que não são cultivados em áreas de desmatamento.

González-García *et al.* (2014) realizaram um estudo do berço ao portão de saída do frigorífico na produção de frango de corte em Portugal. Os resultados demonstraram que a granja foi o maior contribuinte dentro da fronteira do estudo, com mais de 90% na maioria das categorias consideradas.

Neste estudo foram considerados cenários de utilização da cama de frango como adubo orgânico com e sem considerar os fertilizantes minerais como produto evitado, e essa proposta demonstrou ser vantajosa nos cenários testados. O uso da cama de frango em combinação com o fertilizante mineral evitado obteve reduções significativas de 11% em mudanças climáticas, 4% em acidificação terrestre.

Para Skunca *et al.* (2018), o estímulo ao consumo consciente e a valorização da produção sustentável de alimentos podem favorecer a adoção de medidas de reciclagem e reaproveitamento de resíduos pela indústria de alimentos com o objetivo de atender esse novo critério do cliente.

Estudos da cadeia de produção da carne de frango no Brasil vêm apresentando propostas para reaproveitamento dos resíduos como suprimento da própria cadeia. No entanto, são escassos estudos que avaliam quantitativamente as contribuições desta prática para os impactos ambientais. Assim, é necessária a realização de um estudo com esse objetivo, identificando a viabilidade ambiental dessas propostas, podendo resultar em agregação de valor aos resíduos e ao produto, gerando lucratividade ao setor e em paralelo com a mitigação dos danos ambientais.

Para avaliação dos potenciais impactos da reutilização dos resíduos de um produto ao meio ambiente, na própria cadeia de suprimento, é necessário mensurar as alterações dos indicadores em todo o sistema, de maneira integrada, uma vez que uma alternativa pode interferir em um todo. A ACV é o método que atende a esses requisitos, conforme demonstrado nos estudos já citados.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os procedimentos envolvidos na coleta, análise e interpretação dos dados foram realizados com base nas orientações apresentadas nas normas ISO 14040:2006 (ISO, 2006a) e ISO 14044:2006 (ISO, 2006b).

### 4.1 Caracterização do objeto do estudo

Visto que para a realização de uma pesquisa em ACV é importante considerar dados reais para obter resultados ambientais representativos e relevantes, uma indústria de processamento de frango no Estado da Bahia (Latitude “-14.792617”; Longitude “-40.780152”; Elevação “905 metros) foi selecionada para a coleta de dados primários e estabelecer um local referencial para determinação das distâncias para o cálculo do impacto no transporte dos insumos. Os fatores considerados na escolha da empresa foram:

- Capacidade produtiva: A empresa possui capacidade para abate de 13 mil aves/dia, sendo considerada de grande porte no confinamento dos animais e médio porte no abate, de acordo com a resolução CEPRAM nº 4.579, de 06 de março de 2018;
- Número de funcionários: constam 211 pessoas em seu quadro de pessoal;
- *Mix* de cortes de frango produzidos: são fabricadas 33 variedades;
- Nível de tecnologia envolvido nos processos;
- Disponibilidade para participação na pesquisa;
- A empresa é responsável por grande parte da cadeia de suprimentos para o produto final, o que favorece o levantamento e a confiabilidade dos dados. Atua em todo o processo, desde a produção da ração, aviário, frigorífico e distribuição dos produtos para o varejo.

Selecionada a empresa, foram realizadas visitas e entrevistas, para visualizar a sua rotina, e assim caracterizar o objeto do estudo.

As atividades da empresa têm início com a obtenção de milho, soja, óleo de soja, farinha de carne bovina, vitaminas e minerais para produção de ração das dietas dos frangos.

A proporção dos ingredientes é variável conforme a fase de vida do animal, e o consumo é quantificado semanalmente pela diferença entre a quantidade de ração

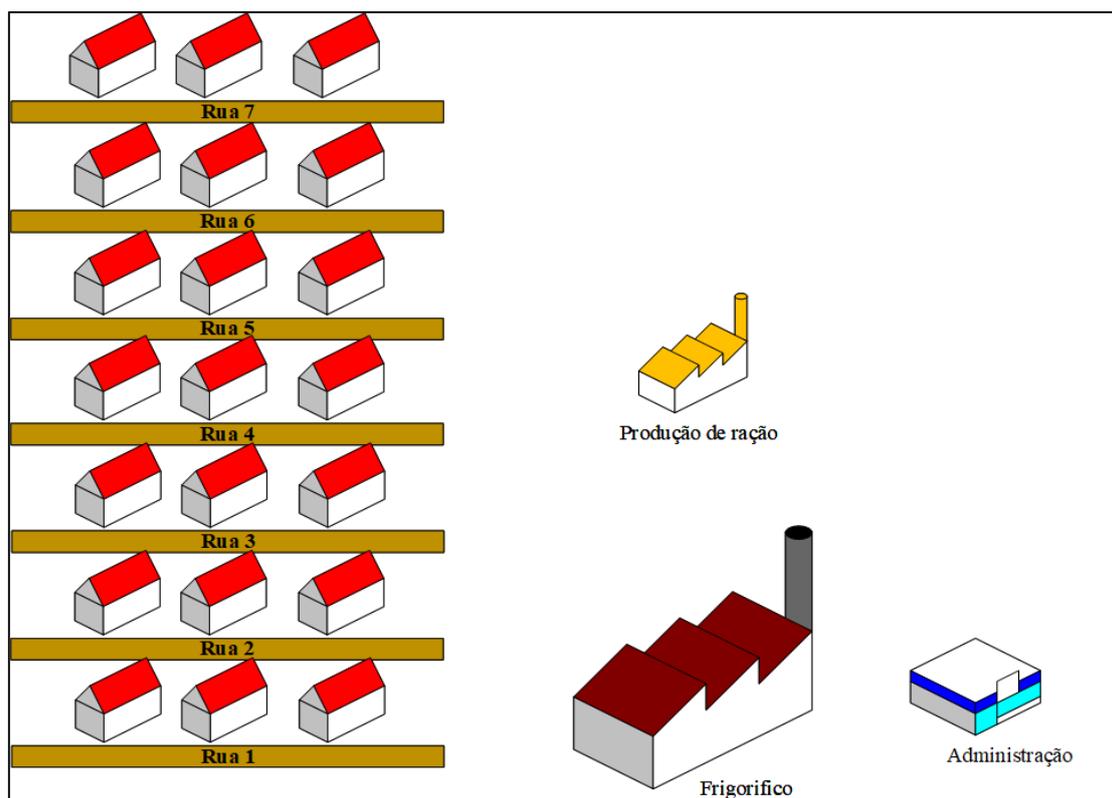
fornecida e a sobra. Para este estudo, foi considerada a quantidade total de cada ingrediente para formulação de toda a alimentação de um lote, em todo o ciclo de vida.

Todos os pintos de um lote são recebidos com um dia de vida, sempre nas quartas-feiras, e são abatidos com idade entre quarenta (40) a quarenta e cinco dias (45) (de segunda a sexta-feira), de acordo com a programação de processamento da empresa.

A empresa produz sua própria lenha (madeira de eucalipto) para alimentar os aquecedores dos aviários e abastecer as caldeiras. A água utilizada em todo o sistema tem origem em 4 poços artesianos, que estão localizados na mesma propriedade da empresa. Dos poços, a água é bombeada para as caixas d'água dos setores. A distribuição de água dos poços para os setores é feita de forma aleatória, ou seja, não existe um controle, ou uma padronização quanto ao poço que deve abastecer qual setor, sendo a distribuição feita conforme a oferta de água dos poços.

Todas as aves destinadas ao abate vêm do aviário da própria empresa. A estrutura física desse setor é organizada em ruas onde estão localizados os aviários. Assim, existe um total de 7 “ruas”, tendo cada uma delas, 3 galpões de 1.260 m<sup>2</sup> (Figura 6). A rua representa um lote de produção, sendo que todas as ruas estão localizadas no mesmo terreno do frigorífico. Esta organização minimiza as atividades de transporte das aves até o abatedouro.

**Figura 6** - Esquema representativo da empresa.



**Fonte:** Autor, 2018.

Os 3 (três) galpões presentes em uma rua recebem o mesmo lote de insumos (pinto, ração, lenha, água, cama e serviços), suficientes para o ciclo de vida dos animais. No entanto, ao chegar à rua, estes são distribuídos de forma independente entre os galpões, sendo que cada um destes tem seu espaço para armazenar o material destinado a ele. O envio dos insumos é documentado, e deve ser consumido por animais daquele local, não podendo ser redistribuído, sem antes haver um registro.

A distribuição dos lotes de pintos pelas ruas acontece de forma que, em cada semana, uma rua diferente recebe um lote, ou seja, se na semana 1 a rua 1 recebeu um lote de aves, na semana 2, a rua 2 receberá outro lote, e assim por diante. Essa logística de distribuição dos pintos entre as ruas acontece para manter o suprimento constante de aves para o abate no frigorífico. Assim, quando os lotes da rua 1 estão chegando, os da rua 7 estão saindo para o abate. Importante destacar que, à medida que o primeiro galpão se esvazia, a higienização se inicia, sendo que até a véspera de a rua receber o novo lote de pintos, todos estão higienizados e preparados para recebê-los. A taxa de mortalidade média dos animais é de 6%, conforme registrado na empresa.

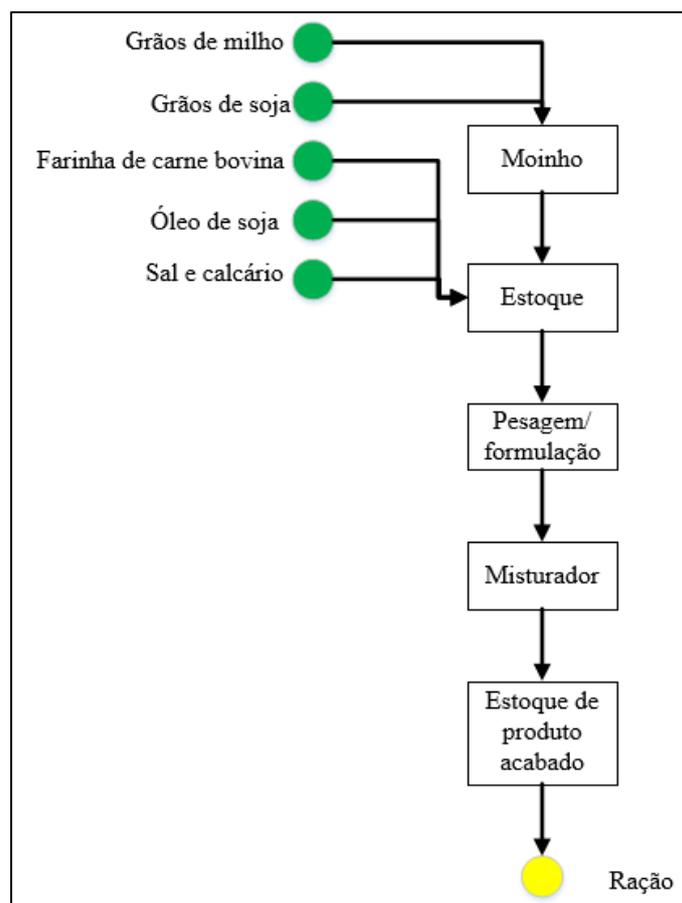
O controle de temperatura nos galpões ocorre por aquecimento oriundo da queima de madeira com potência térmica de até 600.000 kcal/h (cada). Esse procedimento é utilizado até a terceira semana de vida do animal. Em seguida, já na idade adulta, as aves necessitam de menores temperaturas (até 16 °C), assim os aviários são ventilados por ventiladores de 1/5 CV de potência, específicos para esse fim.

Após os 40 dias de vida, o frango pode seguir para o abate e beneficiamento da carcaça no frigorífico, e de lá é distribuído para varejistas de toda região.

#### *4.1.1 Descrição das linhas de processo*

O processo de fabricação de rações para a dieta de frangos tem início com a obtenção dos grãos e suprimentos. A formulação conta com os ingredientes: milho, soja, óleo, farinha de carne bovina, sal e calcário, sendo que as concentrações destes variam, dependendo das necessidades nutricionais de cada fase da vida do animal (Figura 7).

O milho e a soja têm origens em propriedades rurais da cidade de Barreiras, Bahia, que está localizada a 687 km da empresa considerada neste estudo. Das propriedades rurais até o frigorífico, a carga é transportada por meio rodoviário, utilizando carretas com capacidades entre 35 e 70 toneladas. A quantidade de grãos adquirida é avaliada pela diferença entre pesagem do caminhão cheio no momento de chegada à empresa e a pesagem do caminhão vazio após o descarregamento.

**Figura 7** - Produção de ração.

Fonte: Autor, 2018.

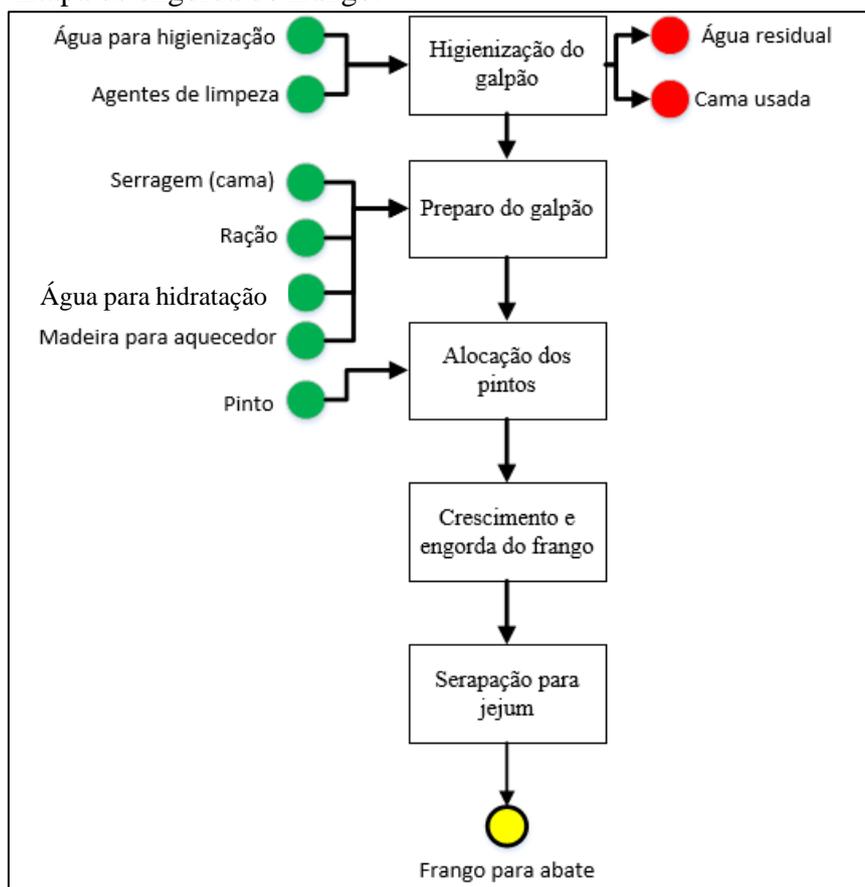
A farinha de carne bovina tem origem na cidade de Itapetinga, Bahia, distante 100 km da empresa. O óleo de soja, o sal e o calcário são obtidos no mesmo município onde está situada a empresa.

Quando os ingredientes chegam à indústria, eles são armazenados, exceto os grãos de milho e soja, que passam, antes da armazenagem, por um processo de moagem, sendo então estocados na forma de farelo. Os insumos são pesados e separados conforme a formulação. Todos os ingredientes serão posteriormente misturados para elaboração da ração que será usada para o abastecimento semanal dos silos dos galpões, ficando disponível para alimentação dos frangos.

A etapa de manejo dos frangos nos galpões (Figura 8) acontece antes de receber os pintos. Esta é iniciada com a higienização do ambiente, primeiramente, retirando toda a cama utilizada no lote anterior. Esse material é comercializado, a cerca de R\$ 150,00, por tonelada, sem ser submetido no interior da empresa, a qualquer tratamento, para ser usado como adubo.

Posteriormente, o galpão e os equipamentos desse setor (comedouros e bebedouros) são lavados, com água e agentes de limpeza (detergente alcalino e sanitizante clorado). A água utilizada na higienização é fornecida por 2 caminhões pipa da região (10 m<sup>3</sup> aproximadamente por caminhão). O transporte da água foi desconsiderado para este estudo. A água residual desse processo é escoada para o solo ao redor dos galpões.

**Figura 8** - Etapa de engorda do frango.



Fonte: Autor, 2018.

Após a higienização, é inserida a cama para aves (maravalha), sendo utilizados em média de 900 sacos de 22 kg, por galpão.

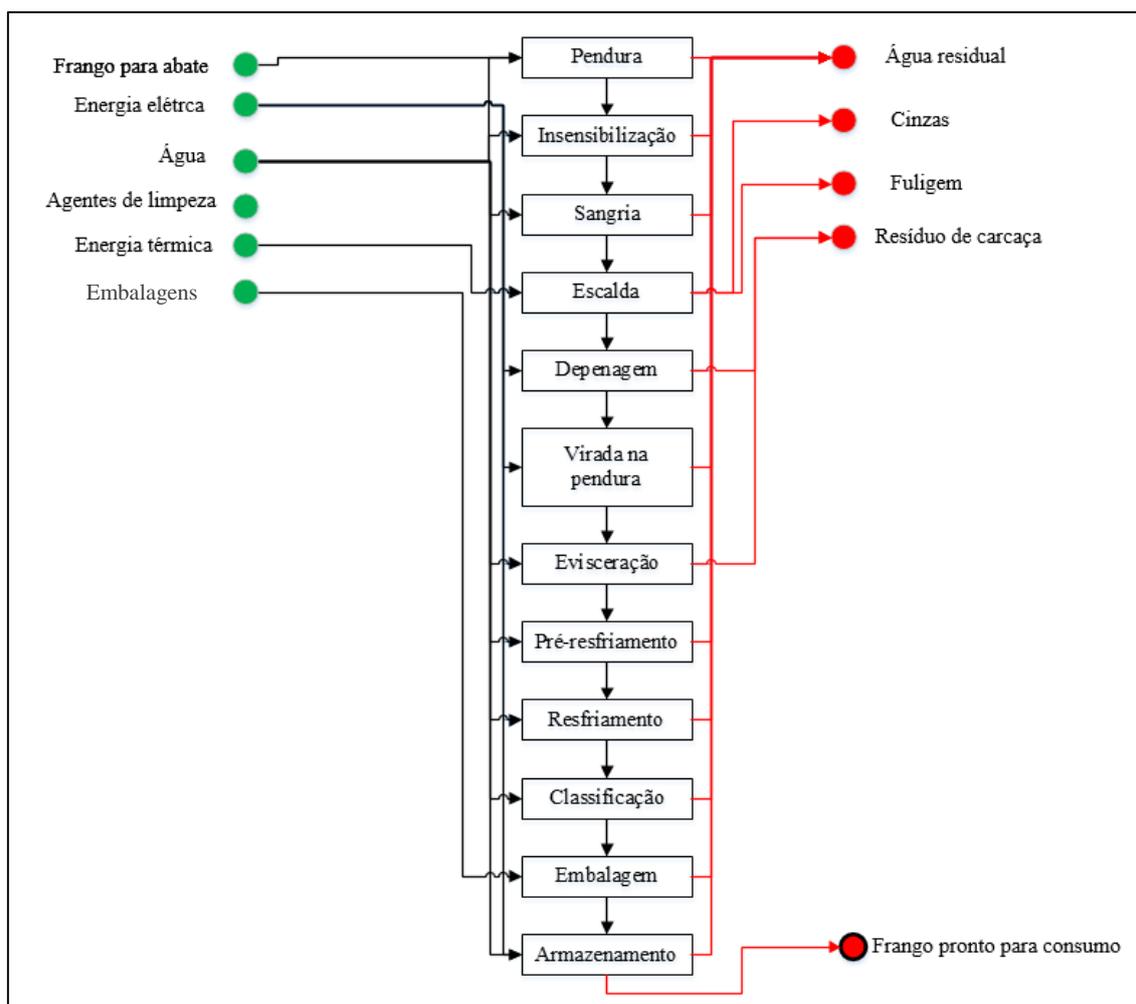
Em seguida, os comedouros e os bebedouros são abastecidos e os galpões recebem os pintos da raça Cobb 500, vindos da cidade de São José da Lapa – Minas Gerais (que se localiza a 876 km). Os animais são recebidos com 1 dia de vida e já vacinados. Em relação ao sexo, a proporção de aves recebidas é de aproximadamente 50% machos e 50% fêmeas.

Durante a permanência no galpão, os animais recebem ração e água *ad libitum*, com exceção da fase de jejum pré-abate. As temperaturas são mantidas de forma a garantir

condições técnicas para a manutenção dos animais, utilizando-se aquecedores a lenha e ventilação. Há um monitoramento constante das condições, para evitar contaminações dos animais, falta de alimentos (que pode ocorrer por falhas no equipamento), e temperatura inadequada. Os animais que morrem, ou que apresentam alguma doença, ou os de baixo desenvolvimento, são removidos do ambiente (refugo), sendo os mortos destinados ao aterro municipal e aqueles que não apresentam desenvolvimento satisfatório são encaminhados para doação.

O abate dos animais acontece quando eles atingem as condições ideais, o que geralmente ocorre entre 40 e 45 dias de vida. Para realização desse procedimento, as aves são submetidas a um jejum de ração de 8 a 12 horas antes do abate, visando garantir que o interior das aves esteja livre de dejetos.

O frango, recebido vivo no frigorífico, é pendurado pelos pés, em uma transportadora de correntes aéreas. Em seguida, são insensibilizados por eletronarose (imersão da ave em água com corrente elétrica causando um choque na mesma), a 64 volts, por 7 segundos, objetivando-se minimizar o sofrimento das aves no abate. As etapas do abate podem ser visualizadas na Figura 9.

**Figura 9** - Produção frigorífica.

Fonte: Autor, 2018.

Após a insensibilização, ocorre a sangria. Esse processo é realizado por meio de um corte manual no pescoço da ave, sendo que, nos primeiros 40% do tempo desse processo, os animais perdem 80% do sangue. O sangue é destinado, juntamente com toda a água residual do frigorífico, para uma lagoa de tratamento.

Para facilitar a retirada das penas (depenagem), as aves já abatidas passam por escalda, que é o mergulho em tanque de água à temperatura de 52°C por 2 min, provocando-se o afrouxamento das penas, facilitando e tornando eficiente a depenagem, feita com o uso de um rolo que possui dedos de borracha para não machucar a carcaça.

Na sequência, a carcaça é virada, ficando pendurada pela cabeça, para facilitar o processo seguinte, de evisceração. Nessa etapa, inicialmente, é feito o corte da cloaca e a seguir abertura do abdome, sendo as vísceras expostas, examinadas e separadas. A retirada das vísceras procede na seguinte ordem: glândula uropígea, traqueia, cloaca,

retirada das vísceras não comestíveis, retirada das vísceras comestíveis e pulmões. Os pulmões são extraídos através da pistola de compressão de ar. Segue-se a retirada dos pés e do pescoço. Estes são lavados e destinados, juntamente com os miúdos comestíveis (moela, coração e fígado), para o setor de embalagens. Os miúdos não comestíveis, penas, glândula, órgãos e demais partes do frango, não destinados ao consumo humano (resíduos da carcaça de frango), são enviados ao setor de resíduos e depois ao aterro municipal.

O restante da carcaça (corpo), que é considerada a mais valiosa, é pré-resfriada. O pré-resfriamento ou *pré-chiller* consiste na imersão em tanques de inox com água pura a uma temperatura entre 10°C e 18°C, durante 12 minutos. O *pré-chiller* visa dar início ao resfriamento, limpeza e reidratação da carcaça. Nesse processo, a carne absorve cerca de 8% de água referente ao seu peso. O resfriamento ou *chiller*, que finaliza esse processo, ocorre com temperatura de 2°C durante 17 min.

As carcaças seguem para a classificação, podendo ser destinadas para comercialização inteiras ou em cortes. Esse processo é feito por um colaborador que realiza a tipificação de acordo com a demanda. Sequencialmente, as carcaças inteiras são embaladas a vácuo, em sacos de PEBD (Polietileno de baixa densidade). Os cortes são dispostos em bandejas de EPS (Poliestireno Expandido), e embalados com filmes PVC (Policloreto de vinila). A empresa também comercializa frango inteiro e cortes a granel para restaurantes e açougues da região. Esses são embalados em sacos de PEBD com maior capacidade (3kg a 4kg). Após a embalagem, os produtos seguem para o armazenamento em câmara fria onde permanecem até a expedição para os clientes.

Para esse estudo a embalagem foi desconsiderada, uma vez que sua utilização depende da forma de destinação do produto ou pedido do cliente, tornando sua participação na unidade funcional imprevisível.

## **4.2 Etapas da Avaliação de Ciclo de Vida**

A Avaliação do Ciclo de Vida inclui a definição dos objetivos e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação.

#### 4.2.1 Definição dos objetivos e escopo

Esta etapa da ACV é apresentada a seguir:

- Aplicações pretendidas

Avaliar os impactos ambientais no ciclo de vida da carne de frango.

- Razões para a realização do estudo

As razões para se conduzir esta pesquisa foram pautadas na necessidade de fornecer informações confiáveis e adequadas para as avaliações ambientais de atividades industriais ligadas ao setor, além de comparar o sistema de produção de carne de frango tradicional da região com propostas de cenários que reutilizam resíduos do aviário e do frigorífico na cadeia de produção. Outro estímulo fundamentou-se na perspectiva de contribuir para o desenvolvimento dos estudos na área de alimentos pelo uso da ACV em produtos da agroindústria.

- Público-alvo para o qual os resultados serão comunicados

Os resultados são apresentados para serem utilizados por público-alvo que inclui as indústrias, a comunidade acadêmica, os órgãos públicos, entre outros.

- Função do sistema

Produzir carne de frango para consumo.

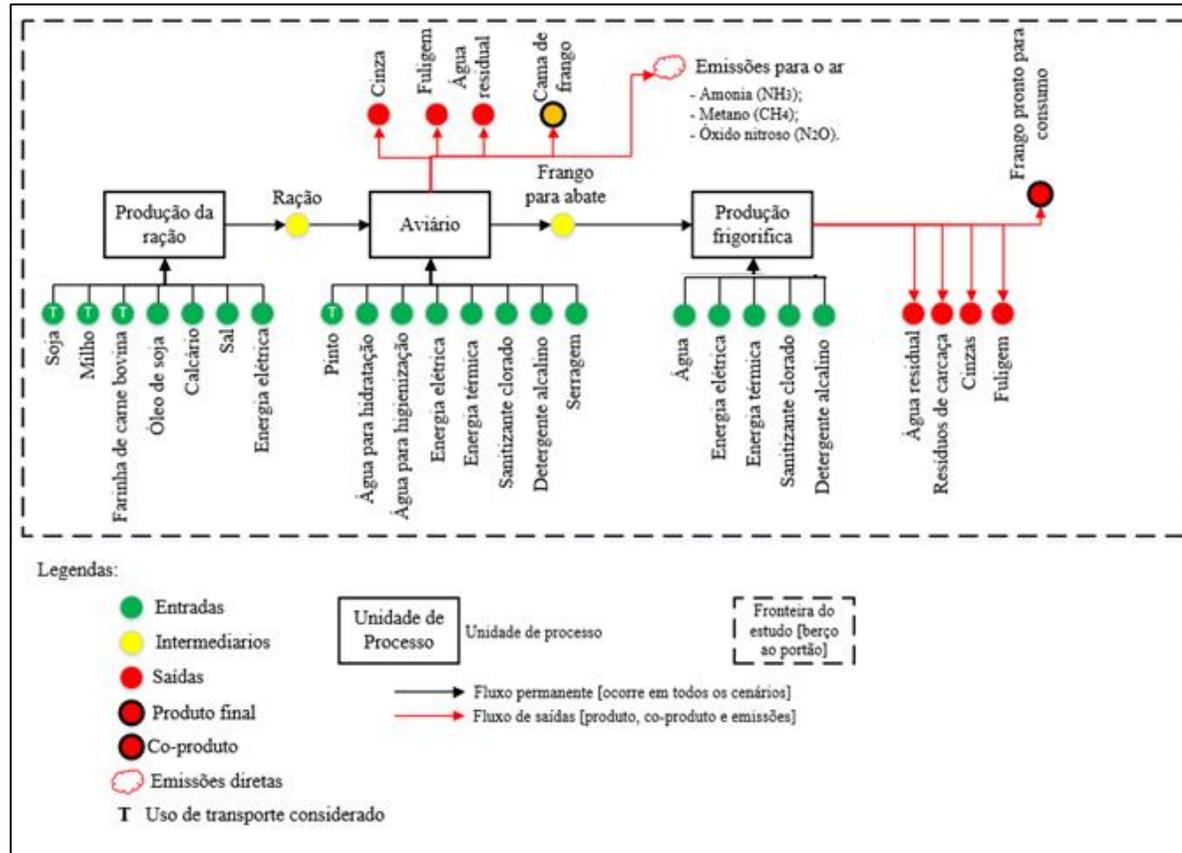
- Unidade Funcional

Um quilograma de carne de frango pronta para o consumo. Esta foi escolhida visando a uma melhor forma de comunicação dos impactos ao público-alvo, caso a informação seja adicionada ao rótulo do produto, por exemplo.

- Fronteiras do sistema

O sistema de produto compreende as etapas de fabricação da ração, manejo das aves, frigorífico, até a obtenção do frango abatido pronto para embalagem, sendo as fronteiras do berço ao portão de saída do abatedouro (Figura 10).

Figura 10 - Sistema do produto (atual).

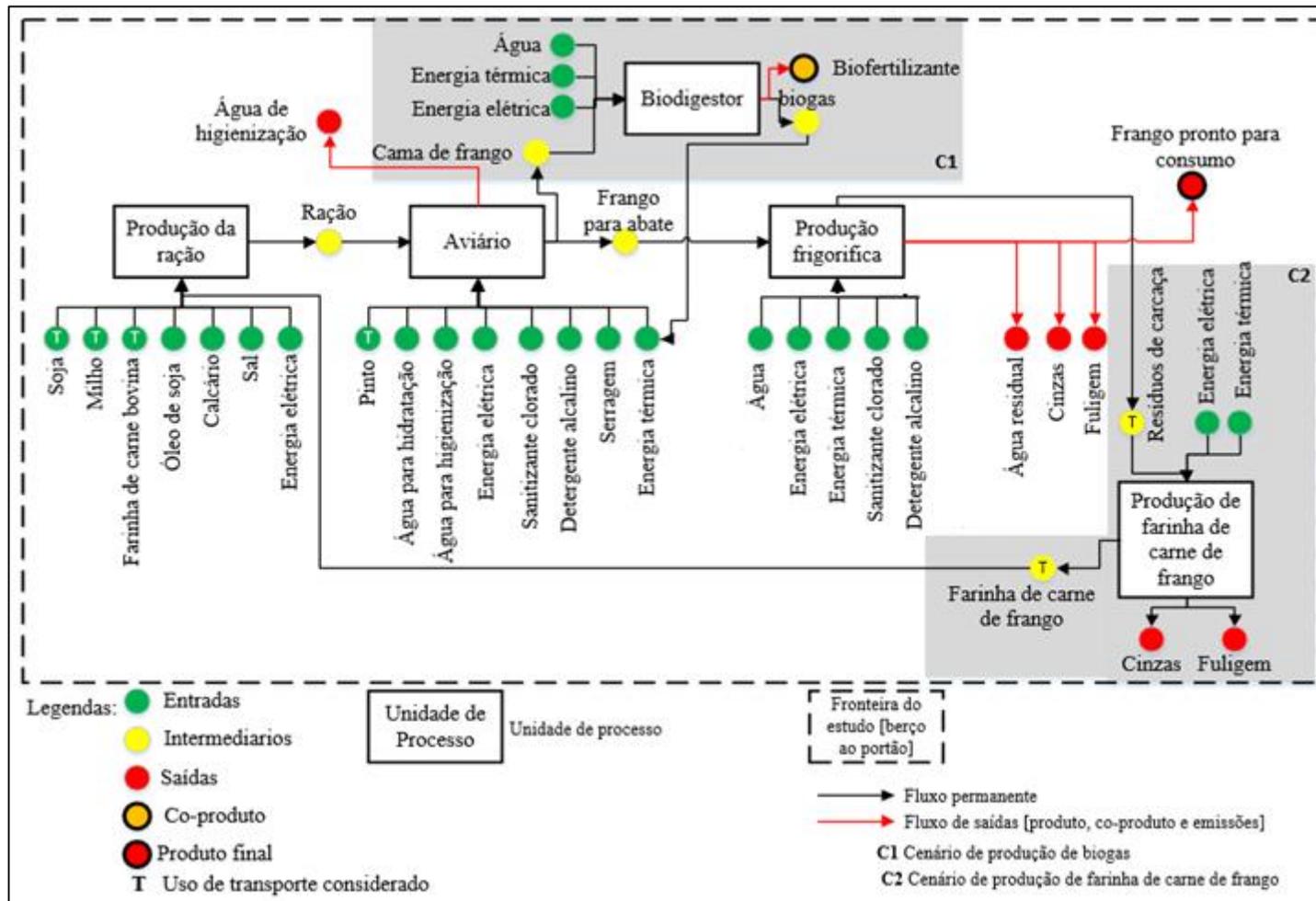


Fonte: Autor, 2018.

- Implementação de cenários de comparação

Os cenários avaliados foram identificados na literatura como viáveis economicamente, porém não dispõem de estudos de sua viabilidade ambiental. Isso pode causar um entrave para entrada ou manutenção do produto no mercado, tendo em vista as constantes exigências do mercado consumidor e da legislação vigente, quanto ao atendimento dos indicadores ambientais. Dois processos foram selecionados, sendo eles: a utilização de cama de frango em biodigestores para a produção de biogás com utilização como fonte para aquecimento dos galpões (identificado com C1 na Figura 11); e o aproveitamento de resíduos do abate de frango na produção de farinha de carne para uso na ração animal (identificado com C2 na Figura 11). Posteriormente, os dois cenários (C1 e C2) foram avaliados em conjunto.

Figura 11 - Sistema de produto com cenários.



Fonte: Autor, 2018.

a) Produção de biogás com cama de frango (C1)

O sistema de produto estudado utiliza forno a lenha para aquecimento do aviário. Como demonstrado na literatura, a produção de biogás, com a cama de frango e o seu uso em aquecedores de aviário a gás, já se demonstra ser aplicável do ponto de vista técnico e econômico.

Foi proposto para este estudo a utilização da cama de frango para produção de biogás para o aquecimento dos aviários.

Para verificar as condições e a capacidade de produção de biogás pela cama de frango, em relação à necessidade calorífica do aviário, foi utilizado como base o inventário do ciclo de vida obtido para a carne de frango. A demanda de calor é de 1,096 MJ e a cama de frango gerada é de 1,16 kg. Com base no item 3.4, foram realizados os cálculos para estipular capacidade de produção do sistema (Apêndice 4).

b) Produção de farinha de resíduos de frango (C2)

O sistema de produto estudado utiliza farinha de carne bovina para produção de ração e gera como resíduo partes não comerciáveis do frango (pena, miúdos não comestíveis e sangue).

Estudos como os de Katajajuuri *et al.* (2008) e Xavier *et al.* (2012) têm demonstrado que esses resíduos podem ser reutilizados para produção de farinha para ração. Com isso, foi observada a oportunidade de avaliar tal proposta quanto ao seu comportamento em termos dos seus potenciais impactos ambientais.

O cenário C2 foi modelado sobre o processo de farinha de carne bovina com origem no banco de dados Agri-Footprint. O processo foi editado, alterando-se a entrada de resíduo de carcaça de frango, no lugar de subprodutos de carne de gado. Foi considerada a proporção de 14% de farinha de resíduos de frango, para cada quilograma de entrada, conforme Costa *et al.* (2008).

A farinha gerada pela utilização dos resíduos do sistema estudado tem a capacidade de substituir apenas 50% da necessidade de farinha de animal da mistura de ração. Assim, foi adicionado 50% de farinha de carne bovina para complementar a mistura.

Como o fornecedor desse insumo se localiza a 100 km da produção de ração e da geração do resíduo de frango, foi considerado o envio das partes não proveitosas do abate para a empresa produtora desse insumo, tendo como proposta que a mesma processe e

forneça as duas farinhas de origem animal. Os valores financeiros não foram analisados, nem informados pelo fornecedor.

- Procedimento de alocação

Como o sistema de produto estudado utiliza mais de um produto que reparte pelas mesmas entradas e saídas de materiais, energias e emissões, faz-se necessário estabelecer um método de alocação de impactos. Foi avaliado a aplicação dos métodos de alocação econômico e mássico. Dentre esses, o método selecionado foi a alocação econômica. A escolha baseou-se no recorrente uso desse método em outros trabalhos com propostas e produtos semelhantes (DA SILVA *et al.*, 2014; BENGTSSON e SEDDON, 2013; LEINONEN *et al.*, 2012). A alocação econômica reflete a real existência do sistema de produção, que é a obtenção de lucro.

Para o cálculo dos fatores de alocação econômica, será utilizada a equação 2:

$$FA_{(econômica)} = \frac{[VE \times PR]_i}{\sum_{i=1}^n [VE \times PR]} \quad (2)$$

sendo

VE = valor econômico (R\$/kg);

PR = produção (kg/ano);

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

n = número total de produtos fabricados.

Os valores econômicos foram coletados em estabelecimentos comerciais da região, uma vez que a empresa não se dispôs a informar o preço de venda para o varejo. Para o corte de frango, foi realizada uma média, a partir do valor econômico de cada corte, multiplicado pelo seu volume de produção, e dividido pelo volume total de produção de todos os cortes.

Na sequência, foi realizado o cálculo de alocação econômica e definidas as participações (Tabela 1).

**Tabela 1** - Fatores de alocação econômica

<b>Alocação do cenário C0 e C2</b>					
<b>Produto</b>	<b>Produção (kg/ano)</b>	<b>Fator de alocação mássica</b>	<b>Valor econômico (R\$/kg)</b>	<b>Valor econômico total (R\$)</b>	<b>Fator de alocação econômica</b>
Frango pronto para consumo	6.240.480	44,30%	7,22	45.056.265,60	97,51%
Cama de frango	7.847.107	55,70%	0,15	1.177.066,05	2,49%
<b>Total</b>	<b>14.087.587</b>	<b>100%</b>	<b>--</b>	<b>47.378.121,09</b>	<b>100%</b>
<b>Alocação do cenário C1</b>					
<b>Produto</b>	<b>Produção (kg/ano)</b>	<b>Fator de alocação mássica</b>	<b>Valor econômico (R\$/kg)</b>	<b>Valor econômico total (R\$)</b>	<b>Fator de alocação econômico</b>
Frango pronto para consumo	6.240.480	9,56%	7,22	45.056.265,60	83,92%
Cama de frango	59.010.244,64	90,44%	0,15	8.851.536,70	16,08%
<b>Total</b>	<b>65.250.724,64</b>	<b>100%</b>	<b>--</b>	<b>55.052.591,74</b>	<b>100%</b>

**Fonte:** Autor, 2018.

Observa-se que, no caso da alocação mássica, a maior parte dos impactos seria atribuída à cama de frango, omitindo assim a responsabilidade real dos impactos ambientais do produto principal do sistema.

- Categorias e indicadores de impactos ambientais

Para avaliação dos impactos ambientais foram selecionadas oito categorias do método ReCiPe Midpoint (H) v. 1.12 (Quadro 2) (GOEDKOOPE *et al.*, 2013). Estas foram escolhidas com base na relevância e frequência em pesquisas que abordam os impactos ambientais da carne de frango, com fronteiras e metodologia que contemplam o objetivo proposto nesta pesquisa (LEINONEN *et al.*, 2012; DA SILVA *et al.*, 2014; KIST *et al.*, 2009; DAVIS e SONESSON 2008).

**Quadro 2** - Descrição das categorias de impacto utilizadas

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fator de caracterização</b>
Mudanças climáticas	Mudanças na temperatura dos oceanos e da cama de ar próxima a superfície terrestre, causadas pelas emissões de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) e o metano (CH <sub>4</sub> ).	kgCO <sub>2</sub> eq
Depleção do ozônio	Rarefação da camada de ozônio estratosférico, provocado pelas emissões de substâncias que provocam o aumento da quantidade de raios ultravioleta. Exemplo: Cloro (Cl) e bromo (Br). Outros elementos são os gases de efeito estufa (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> ).	kg CFC-11eq
Acidificação terrestre	Mudança do potencial hidrogeniônico (pH) do solo, causado pela deposição atmosférica de óxido de nitrogênio (NO <sub>x</sub> ), amônio (NH <sub>3</sub> ) e dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> ).	kg SO <sub>2</sub> eq
Eutrofização de água doce	Presença de excessiva quantidade de nutrientes, normalmente o fósforo (P), em massa de água doce, com consequente aumento da biomassa e redução do nível de oxigênio dissolvido.	kg P <sub>eq</sub>
Formação de oxidantes fotoquímicos	São poluentes atmosféricos formados por reações fotoquímicas no ar a partir da queima de combustíveis, em presença da luz ultravioleta proveniente do sol.	kg NMVOC
Formação de material particulado	São finas partículas sólidas ou gotas de líquido (aerossóis) pequenas o bastante para permanecerem dispersas no ar.	kg PM <sub>10</sub> eq
Depleção de água	Redução do volume de recursos hídricos.	m <sup>3</sup>
Depleção fóssil	Esgotamento de combustível fóssil.	kg oil <sub>eq</sub>

- Suposições, limitações de utilização de resultados

O sistema de produto utilizado para estudo apresenta algumas limitações que são explicadas a seguir:

- O produto “frango pronto para consumo” foi modelado de forma a englobar todos os tipos de cortes que a empresa produz, com exclusão da embalagem. A junção de todos os cortes para determinação da unidade funcional (1 kg) foi utilizada, considerando que os processos elementares são iguais a todos os cortes. A

exclusão da embalagem se deu por conta que seu uso é dependente da forma de destinação do produto ou pedido do cliente.

- ii) O transporte de óleo de soja, vitaminas e minerais, lenha, produtos intermediários, além de resíduos para o aterro sanitário, foram desconsiderados, uma vez que não foi possível mensurá-los, nem obter a informação precisa do número de viagens. Assim, considerando a pequena distância e frequência de viagens, em relação aos demais transportes, esses foram desconsiderados.
- iii) O frigorífico onde os dados foram coletados não utiliza toda a capacidade física instalada, operando 8 horas/dia, 5 dias/semana. A extrapolação dos dados para frigoríficos que operam com capacidade, ou utilização diferentes, pode apresentar diferenças relevantes na relação do uso de recursos fixos (água e produtos para higienização, energia relacionada à refrigeração e água dos tanques de *chiller* e *pré-chiller*).

- Requisitos de qualidade dos dados

Para conclusão dos resultados da AICV, o estudo concebeu a utilização de dados primários, sempre que possível, sendo complementados por dados secundários, quando necessário. Os primários foram coletados “*in loco*”, através de monitoramento, observação e documentos. Os dados secundários foram obtidos da literatura e de bibliotecas de inventários.

A partir dessa etapa, foram calculadas as variâncias para cada um dos itens do inventário pela matriz de *pedigree*, conforme Weidema *et al.* (2013) (Apêndice 2).

#### 4.2.2 - Análise de inventário

O levantamento quantitativo dos fluxos elementares foi realizado no período de dezembro de 2016 a dezembro de 2017. Os meios utilizados foram medições em pontos específicos, reuniões com pessoal da gerência e colaboradores dos setores, análise de documentos da empresa relativo a registros de produção e almoxarifado.

Segue a descrição da metodologia de coleta dos dados de entrada, saída, produtos intermediários e subprodutos:

- i) Energia: A quantificação de energia relativa aos produtos estudados, foi realizada por meio de talões de cobrança disponibilizados pela empresa. Foram considerados os valores dos períodos de março de 2016 a maio de 2017.
- ii) Água: Para determinar o consumo de água do frigorífico, foram utilizadas informações documentadas pela própria empresa. No entanto, como a empresa não possui medição do controle de água, no setor dos galpões, um hidrômetro foi instalado com finalidade de registro para este estudo. Ressalta-se que a falta de medição do consumo ocorre porque a empresa utiliza poços artesianos como fonte de água, não possuindo boletos de cobrança da companhia de abastecimento da região.
- iii) Madeira: Para determinar a massa de madeira no aviário, foi medido o volume em m<sup>3</sup> da quantidade de lenha antes do início do uso, e o volume após o período de aquecimento. Foi considerado o volume consumido pela diferença entre o volume inicial e final. Para a caldeira do frigorífico, foi medido o volume ocupado pela madeira na carroceria do caminhão de entrega, e avaliado o tempo em que essa madeira é consumida. Assim, obteve-se a quantificação do consumo de madeira em um lote de produção (1 semana).  
A relação de kg/m<sup>3</sup> e de MJ/kg foi realizada com base nas descrições contidas no processo do item madeira de eucalipto do banco de dados do Ecoinvet 3. Para o cálculo das saídas da madeira (cinza e fuligem), foi utilizada a mesma proporção de Santos Junior *et al.* (2017), sendo 2,61% de cinzas da entrada da madeira e a diferença foi considerada fuligem (97,39%).
- iv) Volume de água absorvido na carcaça no *pré-chiller*: Essa determinação foi realizada pela diferença de peso da carcaça antes e depois do *pré-chillher*. A diferença entre os pesos foi o volume de absorção (média de 8% do peso da carcaça).
- v) Resíduos, sangue e vísceras não comestíveis: Foi estimada em 15% a relação de peso vivo no animal, conforme sugerido por Barbosa *et al.* (2001).
- vi) Os cálculos e os parâmetros para estimativa para uso do biogás foram descritos anteriormente no item 3.4.

Os dados coletados de documentos e registros da empresa foram validados com a sua verificação, quando foram efetuados novos registros pela empresa. Assim, foi feito o seu registro independente. Em seguida, os dados registrados pela empresa e o registro independente foram comparados, visando à validação de dados. Nesta verificou-se a

exatidão entre os dados do registro da empresa e do pesquisador, atribuindo confiança e credibilidade aos históricos da empresa. O inventário da produção de ração, aviário e frigorífico estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Inventário para produção de 1kg de carne de frango pronta consumo

		Unidade		Quantidade	
<b>Produção de 1kg de ração</b>					
<b>ENTRADA</b>			C0	C1	C2
Soja	kg		0,290	0,290	0,290
Milho	kg		0,600	0,600	0,600
Farinha de carne bovina	kg		0,05	0,05	0,02704
Farinha de osso de frango			-	-	0,02296
Óleo de soja	kg		0,05	0,05	0,05
Calcário	kg		$5,0 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-3}$
Sal	kg		$5,0 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-3}$
Energia elétrica	kWh		0,0235	0,0235	0,0235
<b>TRANSPORTE</b>					
Especificações					
Transporte da soja	kg.km		0,0127	0,0127	0,0127
Transporte do milho	kg.km		0,0263	0,0263	0,0263
Transporte da farinha bovina carne	kg.km		$3,951 \times 10^{-3}$	$3,951 \times 10^{-3}$	$3,951 \times 10^{-3}$
<b>SAÍDA</b>					
Ração	kg		1	1	1
<b>Aviário – 1kg de frango vivo para abate</b>					
<b>ENTRADA</b>					
Pinto	kg		0,020	0,020	0,020
Ração	kg		1,426	1,426	1,426
Água para hidratação	l		3,24	3,24	3,24
Água para higienização	l		14,76	14,76	14,76
Energia elétrica	kWh		0,0694	0,0694	0,0694
Madeira	kg		0,0756	-	0,0756
Biogás	m <sup>3</sup>			0,2105	
Sanitizante clorado	kg		$3,81 \times 10^{-4}$	$3,81 \times 10^{-4}$	$3,81 \times 10^{-4}$
Detergente Alcalino	kg		$9,502 \times 10^{-4}$	$9,502 \times 10^{-4}$	$9,502 \times 10^{-4}$
Serragem	kg		0,377	0,377	0,377
<b>TRANSPORTE</b>					
Especificações					
Transporte de pinto	kg.km		$2,898 \times 10^{-3}$	$2,898 \times 10^{-3}$	$2,898 \times 10^{-3}$
<b>SAÍDA</b>					
Frango para abate	kg		1	1	1
Água residual	l		14,761	14,761	14,761
Cinzas	kg		$2,381 \times 10^{-3}$	$2,381 \times 10^{-3}$	$2,381 \times 10^{-3}$
Fuligem	kg		$3,589 \times 10^{-4}$	$3,589 \times 10^{-4}$	$3,589 \times 10^{-4}$
Cama de frango	kg		1,16	1,16	1,16
Amônia <sup>1</sup>	kg		$1,04 \times 10^{-2}$	-	$1,04 \times 10^{-2}$
Metano <sup>1</sup>	kg		$7,8 \times 10^{-3}$	-	$7,8 \times 10^{-3}$
Óxido Nitroso <sup>1</sup>	kg		$4,0 \times 10^{-4}$	-	$4,0 \times 10^{-4}$

Tabela 2 - (Continuação)

<b>Produção frigorífica 1kg de frango pronto para consumo</b>				
<b>ENTRADA</b>				
Frango para abate	kg	1,084	1,084	1,084
Água	l	0,413	0,413	0,413
Energia elétrica	kWh	0,21	0,21	0,21
Energia térmica (Madeira)	MJ (kg)	$1,61 \times 10^{-2}$	$1,61 \times 10^{-2}$	$1,61 \times 10^{-2}$
Sanitizante clorado	kg	$9,65 \times 10^{-4}$	$9,65 \times 10^{-4}$	$9,65 \times 10^{-4}$
Detergente alcalino	kg	$2,07 \times 10^{-4}$	$2,07 \times 10^{-4}$	$2,07 \times 10^{-4}$
<b>SAÍDA</b>				
Frango pronto para consumo	kg	1	1	1
Água residual	l	0,3342	0,3342	0,3342
Resíduos de carcaça	kg	0,164	0,164	0,164
Fuligem	kg	$4,8 \times 10^{-5}$	$4,8 \times 10^{-5}$	$4,8 \times 10^{-5}$
Cinza	kg	$3,22 \times 10^{-4}$	$3,22 \times 10^{-4}$	$3,22 \times 10^{-4}$
<b>Produção de biogás<sup>2</sup></b>				
<b>ENTRADA</b>				
Cama de frango	kg	-	0,164	-
Água	l	-	1,23	-
Esterco	kg	-	0,246	-
<b>SAÍDA</b>				
Biogás	m <sup>3</sup>	-	0,1681	-
Biofertilizante	kg	-	1,64	-
<b>Produção de farinha de resíduos de frango<sup>2</sup></b>				
<b>ENTRADA</b>				
Resíduos de carcaça	kg	-	-	0,164
Energia elétrica	Wh	-	-	*
Energia térmica	MJ	-	-	*
<b>SAÍDA</b>				
Farinha de resíduos de frango	kg	-	-	0,02296
Fuligem	kg	-	-	*
Cinza	kg	-	-	*

\*: Os valores utilizados foram referentes ao processo de farinha de carne bovina do banco de dados do Agri-Footprint.

<sup>1</sup> IPCC, 2006 (Apêndice 4)

<sup>2</sup>Inventário dos cenários propostos

Fonte: Autor, 2018.

### 4.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida corresponde ao processo quantitativo ou qualitativo inserido na preparação e avaliação dos impactos ligados ao inventário do ciclo de vida (ISO, 2006a).

As projeções dos impactos ambientais foram realizadas com auxílio do *software* SimaPro, versão 8.0.5.13 (PRÉ CONSULTANTS, 2015). Na sequência, as avaliações de impactos foram estruturadas em dois modos: no primeiro, os dados do inventário foram lançados no software; no segundo, a avaliação foi estruturada a partir de banco de dados dos inventários do ciclo de vida, denominados de processos, oriundos de estudo de caso desenvolvidos em vários países.

Para representar os itens quantificados na cadeia de produção de carne de frango, doze processos foram selecionados (Apêndice 1).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Avaliação de impacto do cenário base (C0)

Entre os produtos avaliados no cenário original, o Frango pronto para o consumo (FPC) obteve maior potencial na geração de impactos ambientais, considerando as categorias de impactos utilizadas. O FPC apresentou os maiores valores de impactos em todas as categorias (Tabela 3).

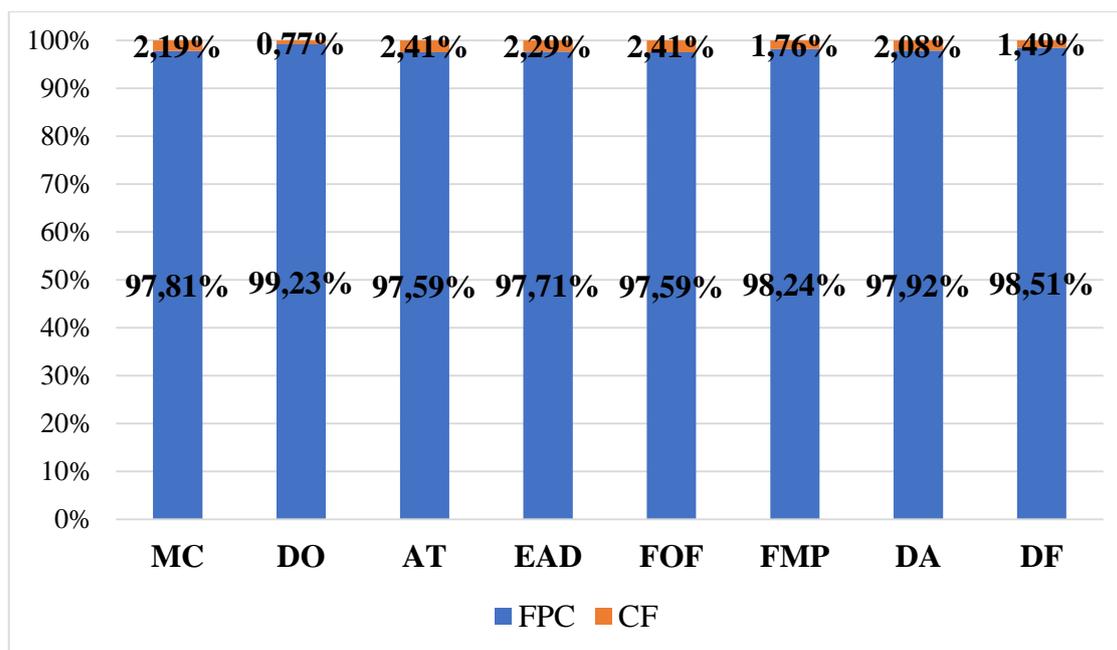
**Tabela 3** - Avaliação dos potenciais impactos ambientais associados à fabricação do frango pronto para consumo e cama de frango

<b>Categorias de Impactos*</b>	<b>Unidade</b>	<b>Total</b>	<b>Frango pronto para consumo</b>	<b>Cama de frango</b>
MC	kg CO <sub>2</sub> eq	4,566305	4,466305	0,100
DO	kg CFC-11eq	8,233E-08	8,17E-08	6,306E-10
AT	kg SO <sub>2</sub> eq	0,205201	0,200248	4,953E-03
EAD	kg P eq	2,968E-04	0,00029	6,798E-06
FOF	kg NMVOC	0,344891	0,336581	8,310E-03
FMP	kg PM10eq	0,106624	0,104746	1,878E-03
DA	m <sup>3</sup>	0,0460306	0,045074	9,566E-04
DF	kg oil eq	0,28731	0,283031	4,279E-03

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

Esse resultado pode ser explicado pelo fato do FPC absolver os maiores impactos pela alocação escolhida (econômica), além de absolver os impactos do frigorífico integralmente, já que a cama de frango (CF) não utilizava essa unidade de processo.

Os resultados em participação podem ser observados na Figura 12.

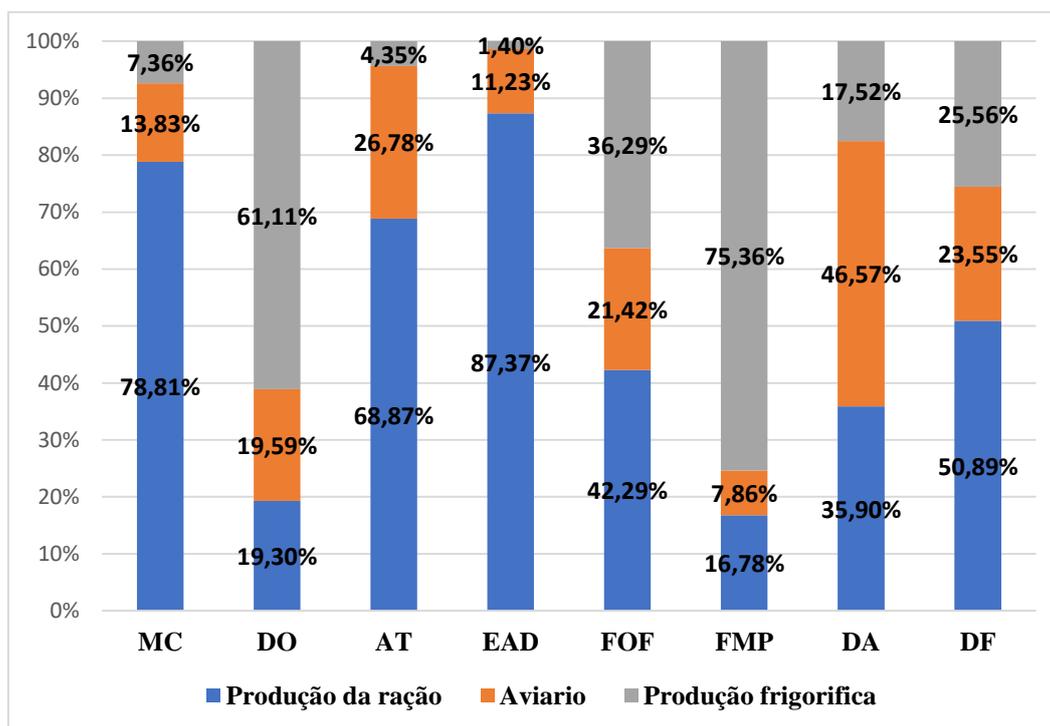
**Figura 12** - Resultado (em %) associado à produção do CFE, FIE, CF.

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

A maior participação da cama de frango (CF) foi em AT e FOF (2,41%), principalmente causados pelas emissões dos dejetos do frango.

Ao avaliar as unidades de processo da FPC, que foi considerado o produto principal, foi observado que a produção de ração é a etapa de maior contribuição na maioria das categorias (MC, AT, EAD, FOF, DF). Esses resultados estão alinhados com os estudos realizados por Bengtsson e Seddon (2013), González-Garcia *et al.*, (2014) e Da Silva *et al.*, (2014), que demonstram que a maior parte dos impactos estão associados à alimentação do frango. As categorias DO e FMP foram mais influenciadas pela etapa de produção frigorífica. Quanto à categoria DA, o aviário foi o maior responsável para contribuição (46,57%) (Figura 13). Tal situação se deve ao fato de que parte consumo de água do aviário é ocasionado pela hidratação das aves, que é crescente, conforme o número de animais no local. Enquanto que a hidratação está diretamente relacionada ao número de animais, a higienização é feita independentemente do número de animais. Neste caso, quanto maior o número de animais, menor o impacto por quilo produzido, devido ao rateio do uso de água.

**Figura 13** - Participação das Unidades de Processo para a produção de 1kg de frango pronto para o consumo.



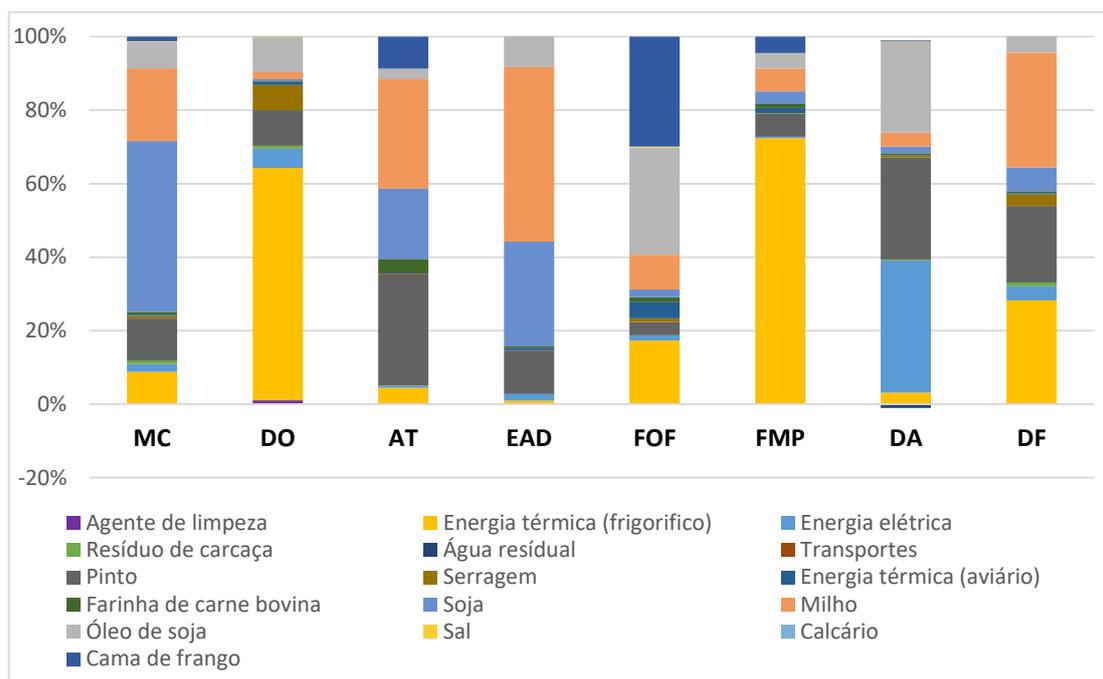
Legenda: MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

A contribuição percentual por categoria de cada fluxo elementar da fronteira estudada é apresentada (Figura 14).

A soja é responsável por 46,20% dos impactos na categoria MC; 19,03% em AT; 28,30% em EAD. Já o milho apresentou a maior contribuição em MC, AT, EAD, FOF e DF (19,69%; 29,76%; 47,51%; 9,41%; 29,98%). Os resultados dos autores Cesari *et al.* (2017), Da Silva *et al.*, (2014), Bengtsson e Seddon (2013), e Pelletier (2008) corroboram os encontrados.

Nas categorias MC, DO, AT, EAD, FMP, DA e DF, o pinto de um dia obteve destaque, contribuindo com 11,28% na categoria MC. Esses resultados estão relacionados à manutenção das matrizes, e são decorrentes dos ingredientes da ração.

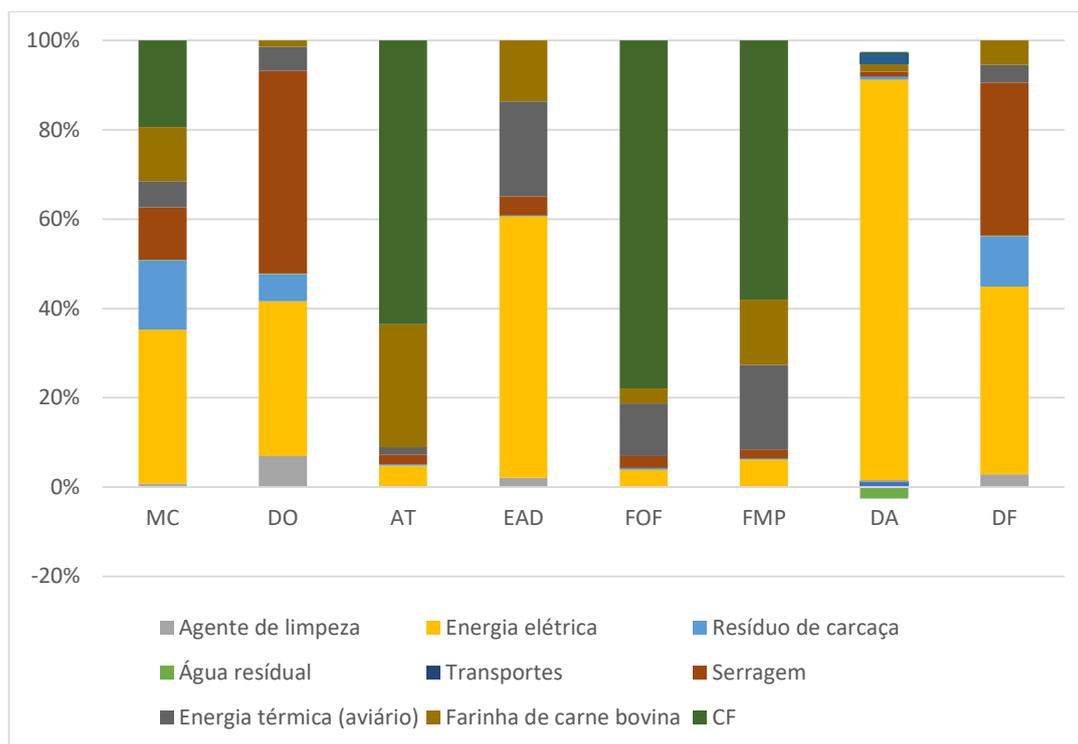
**Figura 14** - Análise de contribuição dos fluxos elementares para 1kg de frango pronto para consumo.



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

Outro importante contribuinte de impacto nas categorias MC (8,65%), DO (63,08%), FOF (17,19%), FMP (72,35%) e DF (26,81%) foi a energia térmica consumida no frigorífico. Esses impactos têm como principal origem o eucalipto utilizado para queima na caldeira. Destes, 60,5% da participação da energia térmica em MC têm origem no plantio da lenha, e no diesel utilizado nas máquinas para manejo da plantação (27%). Em AT, a maior parte (86%) está relacionada à produção de petróleo utilizado com insumo para o diesel.

Os resultados demonstram que a produção da ração é onde se encontram os maiores contribuintes em todas as categorias de impacto, em relação às outras unidades de processo. Entretanto, como o objetivo deste estudo não considera propor alteração nas concentrações de formulação da ração, este insumo foi desconsiderado para melhor visualização dos impactos nos limites do sistema de produto. A energia térmica para o frigorífico, o pinto de um dia e os complementos da ração, sal e calcário também foram retirados, para melhor identificação dos demais fluxos, e por não possuírem substitutos viáveis dentro do objetivo do estudo (Figura 15).

**Figura 15** - Análise de contribuição dos insumos do sistema de produto, com exclusões.

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

Analisando os *inputs* que foram mantidos, as contribuições da cama de frango para os impactos em MC, AT, FOF e FMP foram destaques. Na categoria MC, as emissões de gases como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), amônia (NH<sub>3</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) são os principais responsáveis pela contribuição, provenientes do manuseio de esterco de aves, obtendo um total de 0,010855kg de CO<sub>2</sub> equivalentes.

Na categoria FMP, o principal responsável pela contribuição foi a poeira emitida pela CF, tanto pelas fezes secas, quando pelo processo de produção da serragem. Já, para a FOF, as causas estão nas emissões da cama, assim como citado acima.

A categoria de AT obteve significativa participação da cama de frango (50,35%) e da farinha de carne bovina (21,81%). Ambas possuem como fluxo elementar a amônia emitida dos dejetos das aves e da urina do gado.

A energia térmica para o aviário demonstrou representatividade nas categorias de MC (3,24%), DO (6,03%), e principalmente em EAD (11,25%), FOF (10,46%) e FMP (10,21%). Estes têm origem na queima da lenha e no cultivo do eucalipto.

Assim como no estudo feito por Bengtsson e Seddon (2013), a farinha de carne bovina possui relevante participação em MC (6,75%), AT (21,81%), EAD (7,21%) e

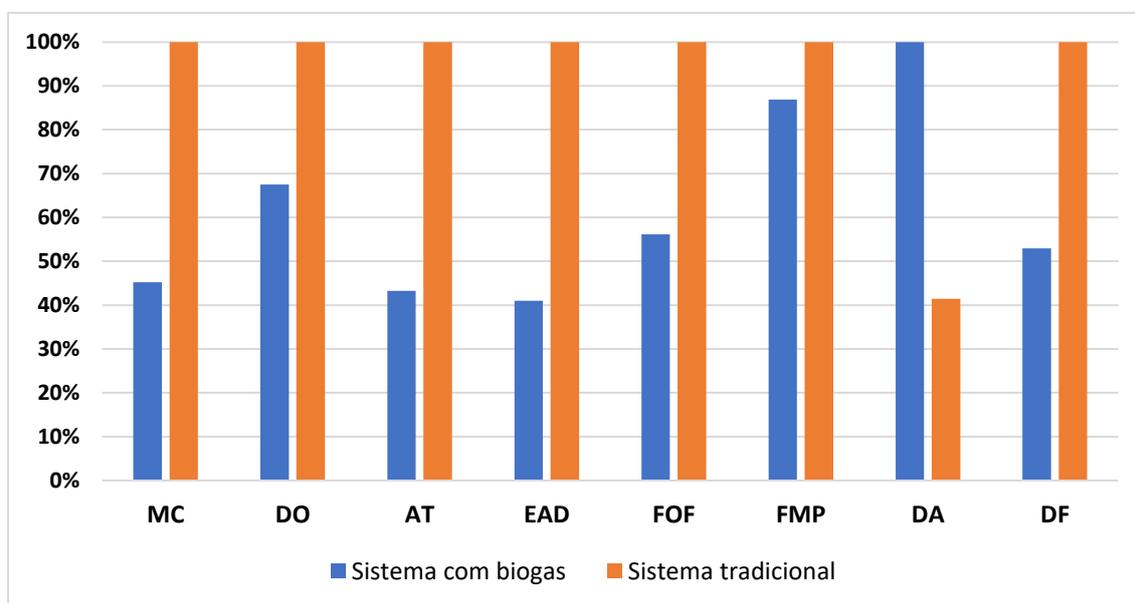
FMP (7,84%), tendo como fluxo mais significativo o cultivo da pastagem do gado de corte.

Os resultados abrem a possibilidade de avaliar, nas condições de impactos ambientais, diversas alternativas. Para este estudo, foram adotadas duas propostas de cenários: o uso de biodigestores para produção de biogás e biofertilizante a partir da cama de frango; e o uso dos resíduos de frango como insumo para produção de farinha de carne animal (frango). Os resultados e discussões são mostrados e interpretados a seguir.

## 5.2 Comparação entre lenha e biogás para geração de energia térmica em aviário (C0 – C1)

O uso da cama de frango em um biodigestor para produção de biogás, visando a geração de energia térmica do aviário, demonstrou, em quase todas as categorias, menor contribuição de impacto quando comparado ao sistema tradicional, em que não ocorre o aproveitamento da cama de frango para produção de energia térmica (Figura 16).

**Figura 16** - Comparação do uso sistema tradicional com o de biogás como combustível para aquecimento do aviário.



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

As reduções mais relevantes foram em MC (54,78%), AT (56,74%) e EAD (58,98%). Na categoria de MC, o uso da cama de frango no biodigestor reduziu a emissão

de metano, que foi utilizado para geração de calor no aviário. A redução do uso da lenha também contribuiu, de maneira positiva, para o menor impacto em MC. A queima da lenha promove a emissão de CO<sub>2</sub>, e o cultivo do eucalipto (lenha utilizada) apresenta grandes participações nas emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), devido aos fertilizantes.

As reduções em DO (32,53%) também são promovidas pelas reduções anteriormente citadas. A redução de AT foi devido a não disposição da cama de frango em solo, reduzindo os impactos causados pela amônia e pela fermentação do mesmo. Houve semelhante redução de EAD, pois, com a destinação da cama para uso no biodigestor, os impactos causados em corpos d'água foram reduzidos.

Na categoria de DA, única que obteve elevação de contribuição para o cenário proposto, a demanda de água foi elevada em 58,56%. Esse fato provém do alto uso de água para mistura no biodigestor.

Um fator importante na redução dos impactos ambientais para essa proposta é o aumento da produção de biofertilizante, a partir da cama de frango, sendo que, com a mesma quantidade de *inputs* (com exceção da água), o sistema gerou maior volume de produtos. No processo tradicional, a CF é comercializada como adubo. Já, no cenário com uso do biodigestor, a cama é utilizada com insumo para alimentar o processo, sendo adicionado água como uma das entradas, e após a redução de eficiência da digestão anaeróbica, o biofertilizante da unidade de processo torna-se um produto.

O uso de água no biodigestor possui uma razão de 1 m<sup>3</sup> para 0,133 kg de CF (aproximadamente 7,52 vezes de água por CF). Aplicando-se essa razão para a produção de um ano, obtém-se um aumento de 752% na produção de fertilizante para comercialização, e um aumento de R\$ 7.674.470,65 na receita.

Essa prática eleva o volume total da produção geral do sistema, ocorrendo, na sequência, aumento da receita e, por conseguinte, aumento do volume para alocação dos impactos, ou seja, mais quilogramas produzidos com o mesmo volume de fluxos elementares acarretam menores quantidades de impactos relacionados por quilograma de produto. Como, para a proposta, apenas o consumo de água foi aumentado na fronteira do sistema do produto, as contribuições, nas demais categorias, com exceção de DA, diminuíram.

Para avaliar melhor a diferença dos impactos ambientais do uso da lenha e do biogás para produção de energia térmica, apresenta-se um comparativo de contribuição de impacto para 1,096 MJ gerado, necessário para atender a produção de 1 kg de frango na Unidade de Processo Aviário (Tabela 4).

**Tabela 4** - Avaliação dos impactos ambientais associados a 1,096MJ de energia térmica (UF 1kg de frango para abate)

<b>Categoria de Impacto*</b>	<b>Unidade</b>	<b>Lenha de eucalipto</b>	<b>Biogás</b>
MC	kg CO <sub>2</sub> eq	0,256	0,046
DO	kg CFC-11 eq	3,543E-08	6,180E-10
AT	kg SO <sub>2</sub> eq	1,564E-03	3,769E-04
EAD	kg P eq	5,479E-06	6,672E-06
FOF	kg NMVOC	3,175E-03	1,050E-04
FMP	kg PM10 eq	0,020	7,315E-05
DA	m <sup>3</sup>	5,751E-04	0,187
DF	kg oil eq	0,067	4,240E-03

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

Avaliando-se as categorias estudadas, em DA, o uso do aquecedor a biogás gerou maior impacto (325 vezes maior). Isso se deve à água utilizada no biodigestor, fator já discutido anteriormente. Já, em EAD, a contribuição foi 20% maior, estando o principal foco no biofertilizante.

Nas demais categorias, o uso da energia térmica no aviário foi menos impactante com o combustível de biogás. Em MC, representou 17,97% dos impactos causados pela lenha, o que demonstra resultados positivos de sua aplicação. A principal causa é a não queima, e não produção da lenha, sendo o eucalipto responsável por pelo menos 84% da contribuição de impacto em todas as categorias.

O cultivo do eucalipto é também o grande responsável pela diferença total nas categorias de DO (57,3 vezes mais), AT (4,1 vezes mais) e DF (15,8 vezes mais).

### 5.3 Comparação entre a farinha de carne bovina e de frango (C0 – C2)

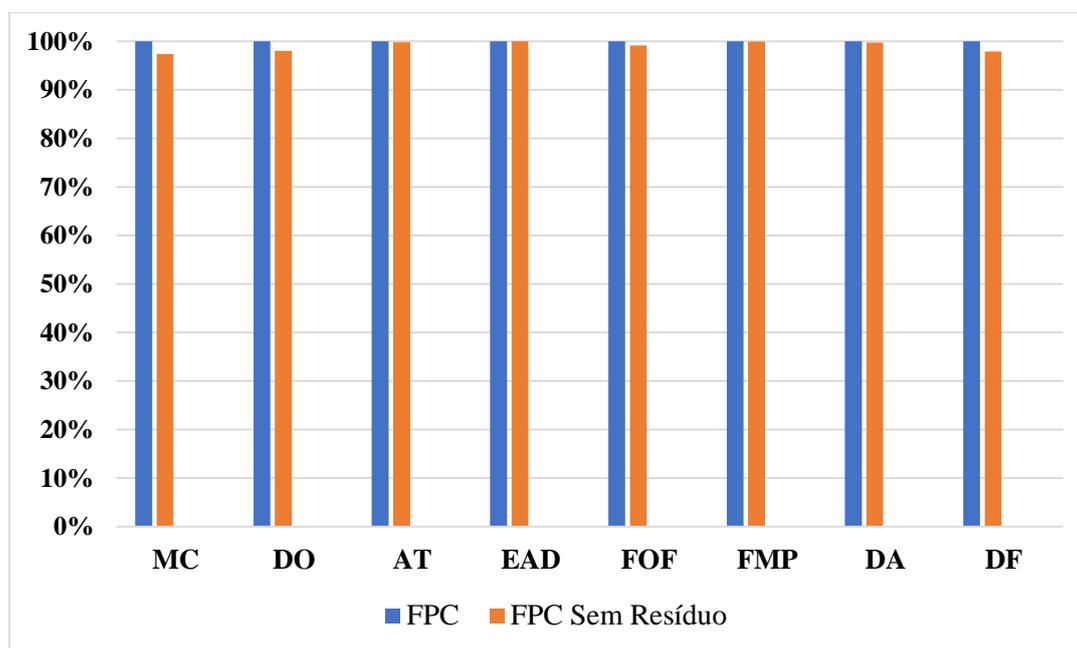
A proposta de uso dos resíduos de carcaça de frango para produção de farinha de carne de frango e o seu uso como insumo na ração foram avaliados nesta etapa.

A farinha de carne bovina foi substituída, parcialmente, pela farinha de carne de aves. Isso decorre da capacidade de aproveitamento dos resíduos gerados, pelo fato de a empresa não atender toda demanda do insumo. Conforme anotado por Xavier *et al.* (2012), a eficiência de transformação de resíduos de carne em farinha é de 14% para o

frango. Sendo assim, houve uma substituição de 46% do insumo tradicional, utilizando-se 100% dos resíduos de frango oriundos da indústria.

Avaliando-se a diferença de contribuição de impacto apenas na Unidade de Processo Frigorífico, sem o descarte dos resíduos de carcaça de frango em aterro (Figura 17), podem ser observadas pequenas reduções nos impactos ambientais nas categorias selecionadas.

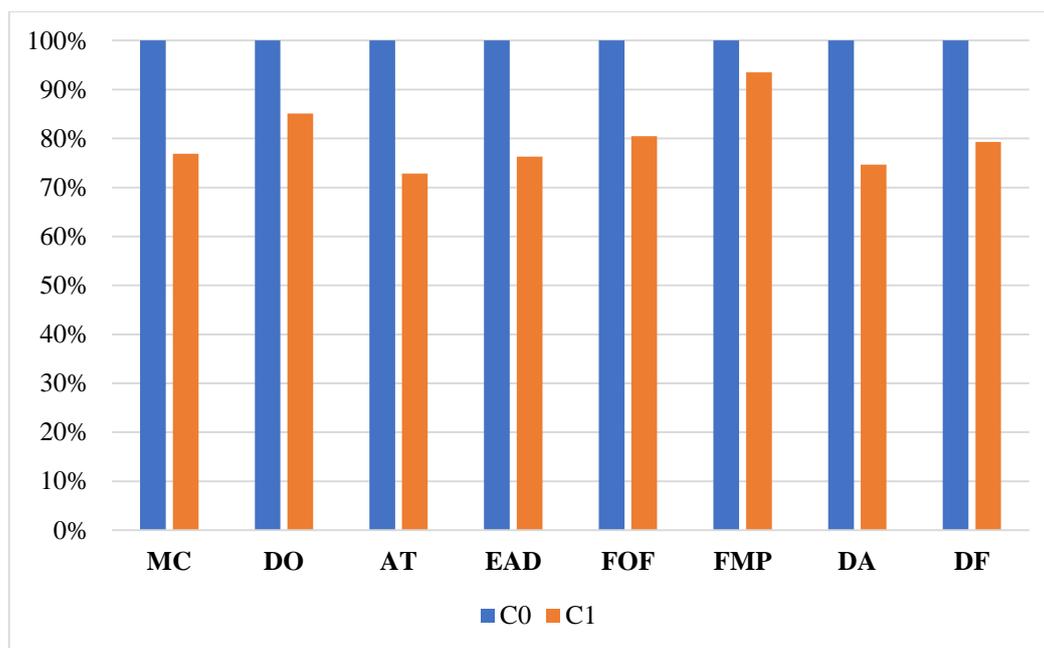
**Figura 17** - Contribuições da Unidade de Processo Frigorífico com e sem descarte de resíduos de carcaça.



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

A categoria de MC obteve a maior diferença (2,61%) entre as analisadas. Essa relação é causada pela existência da emissão de metano que também se torna responsável pela diminuição na DO (1,98%). Essas diferenças não são significativas para o estudo de ACV, segundo a ISO 14040 (2006a). Portanto, não há diferenças entre os cenários acima.

Para maior avaliação dos impactos causados por C1, foram comparadas as contribuições em todo o sistema de produto (Figura 18).

**Figura 18** - Comparação do Sistema de Produto C0 com o C1.

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

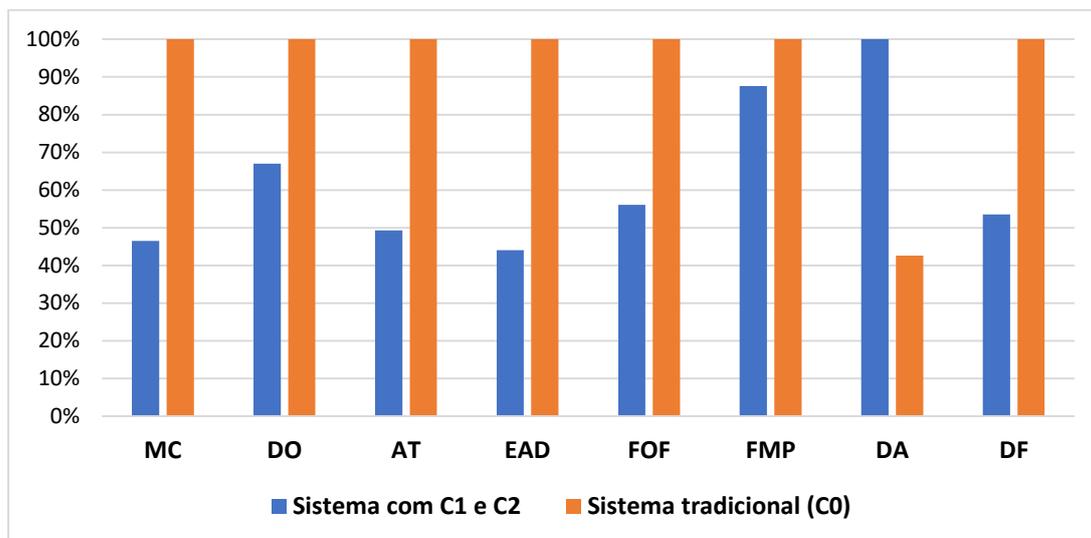
Os resultados demonstram uma tendência a um melhor desempenho ambiental do uso de farinha de carne de frango produzida com os resíduos de carcaça da própria cadeia de suprimentos. A redução pode ser explicada por ações como o não descarte dos resíduos em aterro, pelo menor uso de farinha de carne bovina na ração, além de minimização dos desperdícios industriais, conforme observado por Skunca *et al.* (2018).

Tais ações reduzem as emissões da decomposição da carcaça, melhorando os impactos nas categorias MC, DO, AT e EAD. Já a redução do uso da farinha de gado oferece impactos positivos em todas as categorias, principalmente em MC e DO.

#### **5.4 Comparação entre o sistema tradicional (C0) e o sistema com os dois cenários propostos (C1 e C2)**

A aplicação dos dois cenários propostos neste estudo demonstrou ser favorável para as categorias selecionadas (Figura 19). Apenas na categoria DA, observou-se elevação dos impactos ambientais (57,40%), cuja justificativa para esse aumento é a mesma mostrada no item 5.2. O volume de água demandada para o biodigestor foi o fator contribuinte.

**Figura 19** - Comparação entre o sistema tradicional (C0) e o sistema com os dois cenários propostos (C1 e C2).



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

Em todas as outras categorias, os impactos foram reduzidos consideravelmente, sendo: MC (53,51%), DO (33,0%), AT (50,72%), EAD (55,99%), FOF (43,95%), FMP (12,42%) e DF (46,49%). A menor participação na formulação da ração de farinha bovina, do descarte dos resíduos de carcaça das aves e o não uso direto da cama de frango para adubação foram importantes para essas reduções, principalmente, em MC. Menores emissões de CH<sub>4</sub> da digestão ruminante do gado e também da cama de frango e decomposição da carcaça de frango foram os maiores influenciadores da queda dos gases de efeito estufa.

No entanto, o maior contribuinte para a redução dos impactos foi o aumento de produção do fertilizante com o processo no biodigestor. Conforme discutido, o uso da água no processo elevou a saída do produto, e com isso aumentou o volume e a receita da produção total. A condição estável dos outros *inputs* manteve a contribuição de impacto total fixa. Assim, a relação de absorção dos impactos ambientais dos produtos, dentro da fronteira foi menor, proporcionando ao sistema maior produção, sem aumentar o consumo da maioria dos recursos ambientais.

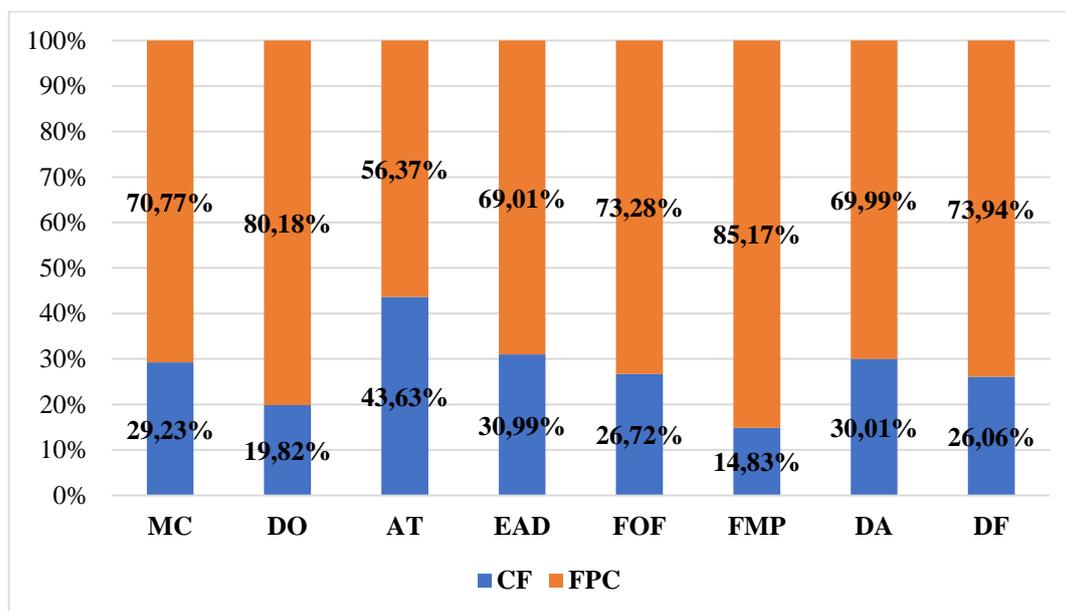
Não foram propostos cenários com alternativas a esses insumos, visto que alterações nos ingredientes poderiam causar impactos na nutrição animal, e esse não foi o foco do estudo. Porém, um melhor bem-estar do animal pode refletir em melhor

conversão alimentar, ou seja, menor consumo de ração para maior ganho de peso (RODRIGUES *et al.*, 2014).

### 5.5 Avaliação com alocação mássica

Para melhor compreensão das variações das participações dos produtos estudados nos impactos ambientais na fronteira, de acordo com os critérios de alocação, foi realizada uma análise com alocação mássica (Figura 20).

**Figura 20** - Avaliação dos produtos pela alocação mássica.



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

A partir das proporções da participação de cada produto, pode-se perceber uma grande variação da cama de frango em relação à alocação econômica discutida anteriormente (item 5.1). Essa discrepância se explica pelo grande volume gerado de cama, em relação aos demais.

Esses resultados indicam que estudos que demonstrem métodos de alocação diferentes não devem ser comparados. A ISO 14040 (2006a) recomenda que a alocação seja evitada. Porém, como visto neste estudo, nem sempre, um sistema de produto possui apenas um produto, ou uma pesquisa com aplicação da ACV tem a aplicação de expansão de fronteira, como no caso desse estudo.

## 6. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que a etapa de fabricação de ração é o mais relevante ponto crítico ambiental do ciclo de vida da carne de frango. As estratégias de substituição parcial da farinha animal na ração, da redução do uso da ração de gado e da adição do uso na de frango não demonstraram ser suficientes para reduzir os impactos devido a utilização do milho e da soja na ração.

O uso do biogás para geração de energia térmica, tanto no estudo com o uso do excedente, ou com outras opções de técnicas de biodigestão, mostrou que podem aumentar a produção do combustível, e este ser aplicado, tanto na alimentação da caldeira industrial, quanto na geração de energia elétrica.

O aumento na produção de biofertilizante interferiu, de maneira positiva, nos impactos. Esse aumento gerou impacto apenas no consumo de água, sem a necessidade de aumentar a entrada de qualquer outro material. A proposta tende a ser viável, ambientalmente, desde que não seja aplicada em regiões de baixa oferta hídrica.

Tais cenários já foram avaliados no aspecto econômico e técnico, mas se torna necessária uma análise de investimento para aplicação. Sabe-se que a demanda e o uso da capacidade instalada dos processos inseridos no estudo, sobre influências, são constantes e podem variar de região para região.

Por fim, o uso da Avaliação do Ciclo de Vida na produção de alimentos torna-se fundamental, dada a importância que os recursos naturais têm para sua cadeia. Esses recursos estão diretamente relacionados aos impactos ambientais, podendo ocasionar depreciação de sua qualidade e oferta. Cabe ainda enfatizar que ações benéficas ao meio ambiente podem ser utilizadas para melhoria da imagem da empresa e agregação de valor ao seu produto, tanto na comunicação direta com o consumidor, quanto com as demais partes interessadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMON, B.; HUTCHINGS, N.; DÄMMGEN, U.; WEBB, J. 2016. Manure Management. In: Adams, M. (coord) EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016. **European Environment Agency**, Luxembourg.

ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. Cenário carnes 2016/2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 10 de jun. 2018.

BAHIA. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução Cepram nº 4.579, de 06 de março de 2018. Altera a Resolução CEPRAM nº 4.327, 31 de outubro de 2013, que dispõe sobre as atividades de impacto local de competência dos Municípios, fixa normas gerais de cooperação federativa nas ações administrativas [...], e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado da Bahia**, 06 de março de 2018, 2018.

BALDIN, V. **Geração de energia na avicultura de corte a partir da cama de aviário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2013.

BARBIERI, J.C. Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. São Paulo: **Saraiva**, 2. ed. p. 336, 2007.

BARBOSA, M.J.B.; JUNQUEIRA, O.M.; ANDREOTTI, M.O.; CANCHERINI, L.C.; ARAÚJO, L.F. Desempenho e rendimento de carcaça de frango de corte submetidos a diferentes níveis de treonina e lisina, na fase final de criação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 5, 1476-1480, 2001.

BARCZSZ, S.S.; LIMA FILHO, D.O. Agroindústria exportadora de frango de corte Sul-Mato-Grossense e os aspectos de internacionalização. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.2, n.2, p. 9-33, mai./ago. 2009.

BELUSSO, D.; HESPANHOL, A.N. A evolução da avicultura industrial brasileira e seus efeitos territoriais. **Revista Percursos**, v. 2, n. 1, p. 25-51, 2010.

BENGTSSON, J.; SEDDON, J. Cradle to retailer or quick serve restaurant gate life cycle assessment of chicken products in Australia. **Journal of Cleaner Production**, v.41, 291-300, 2013.

BESKE, P.; TERRA, A.; SEURING, S. Sustainable supply chain management practices and dynamic capabilities in the food industry: A critical analysis of the literature. **International Journal of Production Economics**. v. 152, p. 131-143, 2014.

BOER, D.I.J.M. Environmental impact assessment of conventional and organic milk production. **Livestock Production Science**. v.80, p. 69-77, 2003.

BOLAN, N.S.; SZOGI, A.A.; CHUASAVATHI, T.; SESHADRI, B.; ROTHROCK, M. J.; PANNEERSELVAM, P. Uses and management of poultry litter. **World's Poultry Science Journal**, v. 66, n. 4, p. 673-698. 2010.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). Brasília: Diário Oficial da União, 2010. Disponível em <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-1010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-1010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em 05.03.18.

CATELAN, F. **Sistema de Aquecimento Automático na Produção de Frangos de Corte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2007.

CESARI, V.; ZUCALI, M.; SANDRUCCI, A.; TAMBURINI, A.; BAVA, L.; TOSCHI, I. Environmental impact assessment of an Italian vertically integrated broiler system through a Life Cycle approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 904-911, 2017.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO Nº 01, de 23 de jan. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 21 de mai. 2018.

COSTA, D.P.S.; ROMANELLI, P.F.; TRABUCO, E. Aproveitamento de vísceras não comestíveis de aves para elaboração de farinha de carne. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 746-752, jul.-set. 2008.

CUNHA, D.A.; DIAS, R.S. Análise do segmento exportador da avicultura brasileira no período de 1996 a 2004. **Revista de Economia e Agronegócio**, v.4, n. 1. 2005.

CURI, T.M.R.D.C. **Avaliação do sistema de ventilação em instalações para frangos de corte através de diferentes modelagens**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 295, 2014.

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.

DAVIS, J.; SONESSON, U. Life cycle assessment of integrated food chains—a Swedish case study of two chicken meals. **The International Journal Life Cycle Assessment**. v. n. 13, p. 574-84, 2008.

EMBRAPA. Apresentação. Embrapa suínos e aves. **Portal Embrapa** v.3.59.2, p.01, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/apresentacao>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

ESPINDOLA, C.J. Trajetórias do progresso técnico na cadeia produtiva de carne de frango do Brasil. **Geosul**, v. 27, n. 53, p. 89-114, 2012.

EUROPEAN COMMISSION, 2013. EU Ecolabel. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/index_en.htm)>. Acesso em: 10 mar. 2018.

EUROPEAN UNION, 2008. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the

Committee of the Regions on the Sustainable Consumption and Production and Sustainable Industrial Policy Action Plan {SEC(2008) 2110} {SEC(2008) 2111}. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/environment/eussd/escp\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/eussd/escp_en.htm)>. Acesso em: 10 mar. 2018.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Agribusiness handbook: Poultry, meat & eggs, 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/012/al175e/al175e.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

FERREIRA, J.V.R. Análise de ciclo de vida dos produtos. **Gestão Ambiental**. Instituto Politécnico de Viseu. Viseu, Portugal, 2004.

FRANKL, P.; RUBIK, F. Life Cycle Assessment in Industry and Business: Adoption of Patterns, Applications and Implications. Berlin: **Springer-Verlag**, 2000.

FREITAS, L.A.R.; BERTOGLIO, O. A evolução da avicultura de corte brasileira após 1980. **Revista Economia e Desenvolvimento**, n. 13, Brasília-DF, RBA Editora, 2001.

FUNCK, S.R.; FONSECA, R.A. Avaliação energética e de desempenho de frangos com aquecimento automático a gás e a lenha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 12, n. 1, p. 91-97, 2008.

GARCIA, L.A.F. **Economias de escala na produção de frangos de cortes no Brasil**. Tese (Doutorado em Economia Aplicada). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. p. 114, 2004.

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

GONZÁLEZ-GARCÍA. S.; GOMEZ-FERNÁNDEZ, Z.; DIAS, A. C.; FEIJOO, G.; MOREIRA, M. T.; ARROJA, L. Life Cycle Assessment of broiler chicken production: a Portuguese case study. **Journal of Cleaner Production**. v. 74, p. 125-134, 2014.

HANAFIAH, M. M.; MOHAMED ALI, M. Y.; ABDUL AZIZ, N. I. H.; ASHRAF, M. A.; HALIM, A. A.; LEE, K. E.; IDRIS, M. Biogas production from goat and chicken manure in Malaysia. **Applied Ecology and Environmental Research**. v.15, n. 3, p. 529-535, 2017.

HEIJUNGS, R.; GUINÉE, J.B.; HUPPES, G.; LANKREIJER, R.M.; UDO DE HAES, H.A.; WEGENER SLEESWIJK, A.; ANSEMS, A.M.M.; EGGELS, P.G.; DUIN, R. VAN; GOEDE, H.P. **Environmental life cycle assessment of products: guide and backgrounds (Part 1)**. 1992.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: **Agriculture, Forestry and Other Land Use**. 2006.

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

ISO, International Organization for Standardization. ISO 14044. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. **Genebra: ISO**, 2006b.

KALHOR, T.; RAJABIPOUR, A.; AKRAM, A.; SHARIFI, M. Environmental impact assessment of chicken meat production using cycle assessment. **Information Processing in Agriculture**, v.3, p.262-271, 2016.

KATAJAJUURI, J.M.; GRÖNROOS, J.; USVA, K. Environmental impacts and related options for improving the chicken meat supply chain. In: **6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector**. Zurich, 2008.

KIST, L.T.E.L.; MOUTAQI, S.; MACHADO, E.L. Cleaner production in the management of water use at a poultry slaughterhouse of Vale do Taquari, Brazil: a case study. **Journal of Cleaner Production**. v. 17, p. 1200-5, 2009.

KRABBE, E.; ROMANI, A. Importância da qualidade e do manejo da água na produção de frangos de corte. **XIV Simpósio Brasil Sul de Avicultura e V Brasil Sul Poultry Fair** – Chapecó-SC, p.113-121, 2013.

LAZZARI, M.R. Avicultura de corte no Brasil: uma comparação entre as regiões sul e centro-oeste. **Indicadores Econômicos FEE**, Porto Alegre, v. 31, n. 4, p. 259-290, fev. 2004.

LEINONEN, I.; WILLIAM, A.; WISENAM, J.; GUY, J.; KYRIAZAKI, I. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Broiler production systems. **Poultry Science**. v. 91, p. 8-25, 2012.

LIMA, A.M.F. **Avaliação de ciclo de vida no Brasil: inserções e perspectivas**. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 116, 2007.

MARTINS, S.S. Avicultura de corte: situação e perspectivas em maio de 2005. **Informações Econômicas**, v. 35, n. 7, p. 57-59, 2005.

MEDEIROS, P.T. **Produção avícola: Subsídios na busca de sistemas de alimentação saudáveis, econômicos e de menor impacto ambiental**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) Universidade Federal de Santa Catarina, p. 107, 2008.

MENDES, N.C.; BUENO, C.; OMETTO, A.R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**. v. 26 São Paulo. Nov. 24, 2015.

NEME, R.; SAKOMURA, N.K.; OLIVEIRA, M.D.S.; LONGO, F.A.; FIGUEIREDO, A.N. Adição de gesso agrícola em três tipos de cama de aviário na fixação de nitrogênio e no desempenho de frango de corte. **Ciência Rural**, v. 30, n. 4, p. 687-692, 2000.

NIGRI, E.M. **Análise Comparativa do Ciclo de Vida de Produtos Alimentícios Industriais e Artesanais da Culinária Mineira. Dissertação** (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 232, 2012.

National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH. **Metal Working Fluids Recommendation for Chronic Inhalation Studies**. Cincinnati OH USA 45226. 2001.

NOTARNICOLA, B.; HYASHI, K.; CURRAN, M.A.; HUISINGH, D. Progress in working towards a more sustainable agri-food industry. **Journal of Cleaner Production**. v. 28, p. 1-8, 2012.

OLIVEIRA, E.S.; BIAZOTO, C.D.S. Análise dos possíveis impactos ambientais causados na construção e operação de aviários de frango. **Conexão Ciência**. v.7, n. 1, p.30-34, 2012.

OLIVEIRA, D.R.M.S.; NÃÃS, I.A.; MOLLO NETO, M. CANUTO, S., WAKER, R.; VENDRAMETTO, O. Issues of sustainability on the Brazilian broiler meat production chain. **International Conference Advances in Production Management Systems**, 2012.

OVIEDO-RONDÓN, E.O. Technologies to mitigate the environmental impact of broiler production. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. SPE, p. 239-252, 2008.

PALHARES, J.C.P. Uso de cama de frango na produção de biogás. **Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004**. (Embrapa Suínos e Aves. Circular Técnica, 41).

PALHARES, J.C.P.; KUNZ, A. Manejo ambiental na Avicultura. **Embrapa Suínos e Aves-Documentos** (INFOTECA-E), 2011.

PARDO, G.; CIRUELOS, A.; LOPEZ, N.; GONZALEZ, L.; RAMOS, S.; ZUFIA, J. Environment improvement of a chicken product through life cycle assessment methodology. In: **8th Conference on LCA in the Agri-Food Sector**, Saint-Malo, France; p. 86-91, 2012.

PELLETIER, N. Environmental performance in the US broiler poultry sector: Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions. **Agricultural Systems**. v. 98, p. 67-73, 2008.

PRÉ CONSULTANTS. Software to measure and improve the impact of your product life cycle. 2015. Disponível em:< <https://www.pre-sustainability.com/simapro>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

RODRIGUES, W.O.P.; GARCIA, R.G.; NÃÃS, I.A.; ROSA, C.O.; CALDARELLI, C.E. Evolução da avicultura de corte no Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18, 2014.

SANTOS, M.F.N.; HORI, C.Y.; JULIOTI, P.S. Importância da Avaliação de Ciclo de Vida na Análise de Produtos: Possíveis Aplicações na Construção Civil. **Gestão da Produção, Operação e Sistemas**. Ano 6, nº 2, p. 57-76, 2011.

SANTOS, T.M.B. **Balanco Energético e Adequação do Uso de Biodigestores em Galpões de Frangos de Corte**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. P, 180. 2001.

SANTOS JUNIOR, H.C.M.; MARANDUBA, H.L.; ALMEIDA NETO, J.A.; RODRIGUES, L.B. Life cycle assessment of cheese production process in a small-sized dairy industry in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 4, p. 3470-3482, 2017.

SCOTT, J.; DA COSTA, M.J.; OVIEDO-RONDON, E.O. Incubation temperature profiles affect broiler feathering. **Journal of Applied Poultry Research**. v. 24, n. 1, p. 49-57, 2015.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. SEBRAE. **Cadeia produtiva da avicultura: cenários econômicos e estudos setoriais**. Sebrae, 2008.

SILVA, D.A.L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDF no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. P. 207. 2012.

SOMBRIO, C.M.O. **ACV de Painéis de Blocos Cerâmicos e Concreto Armado: Um Exercício de Aplicação do Manual do ILCD**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Universidade de Brasília, Brasília. p.138. 2015.

SOUSA, F.C.; TINÔCO, F.F.; PAULA, M.O.; SILVA, A.L.; SOUZA, C.F.; BATISTA, F.J.F.; BARBARI, M. Medidas para minimizar a emissão de amônia na produção de frango de corte: Revisão. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering** v. 10, n. 1, p. 51-61, 2016.

SOUSA, F.C.; TINÔCO, F.F.; SARAZ, J.A.O.; SOUZA, C.F.; PAULA, M.O.; SILVA, A.L.; COELHO, D.J.R. Methods of passive diffusion for ammonia determination in open facilities for animal production. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering** v. 9, n. 3, p.252-260, 2015.

SPOLADOR, H.F.S. Os efeitos da taxa de câmbio, importações mundiais e preços internacionais de commodities sobre as exportações do agronegócio brasileiro. **Revista de Economia e Administração**. v. 6, n. 1, 2007.

SKUNCA, D.; TOMASEVIC, I.; NASTASIJEVIC, I.; TOMOVIC, V.; DJAKIC, I. Life cycle assessment of the chicken meat chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 440-450, 2018.

TESSARO, A.A. **Potencial Energético da Cama de Aviário Produzida na Região Sudoeste do Paraná Utilizada como Substrato para a Produção de Biogás**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia - PRODETEC), Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) e o Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), Curitiba, 2011.

TESSARO, A.B.; TESSARO, A.A.; CANTÃO, M.P.; MENDES, M.A. Potencial energético da cama de aviário produzida na região sudoeste do paraná e utilizada como substrato para a produção de biogás. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá. v. 8, n. 2, p.357-377, 2015.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. USDA. **Agricultural Projections to 2023**. Office of the Chief Economist, World Agricultural Outlook Board, U.S. Department of Agriculture. Prepared by the Interagency Agricultural Projections Committee. Long-term Projections Report OCE-2014-1, 97 pp, 2014

VOGADO, G.M.S.; VOGADO, K.T.S.; FONSECA, W.J.L.; FONSECA, W.L.; OLIVEIRA, A.M.; VOGADO, W.F.; LUZ, C.S.M. Evolução da avicultura brasileira. **Nucleus Animalium**. v. 8, n. 1, p. 49-58, 2016.

WEIBENBERGER, M.; JENSCHB, W.; LANGC, W. The convergence of life cycle assessment and nearly zero-energy buildings: the case of Germany. **Energy and Building magazine**, v. 76, p. 551-557, 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. Ecoinvent Report 1 (v. 3). St. Gallen: The ecoinvent Centre. 2013.

WILLERS, C.D.; MARANDUBA, H.L.; ALMEIDA NETO, J.A.; RODRIGUES, L.B. Environmental Impact assessment of a semi-intensive beef cattle production in Brazil's Northeast. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. v. 22, n. 4, p. 516-524, 2017.

WILLERS, C.D.; RODRIGUES, L.B.; SILVA, C.A. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. **Produção**, v. 23, n. 2, p. 436-447, abr./jun. 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.

WINDHORST, H.W. Changes in poultry production and trade worldwide. **World's Poultry Science Journal**, v. 62, p. 585-602, 2006.

XAVIER, S. A. G; STRINGHINI, J. H; BRITO, A. B; CAFÉ, M. B; LEANDO, N. S. M; ANDRADE, M. A; LABOISSIÈRE, M. Poultry viscera and bone meal in broiler pre-starter and starter diets. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 41, n. 4, p. 934-940, 2012.

YADVIKA, S., SREEKRISHNAN, T. R., KOHLI, S., RANA, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques - A review. **Bioresource Technology**, v. 95, n. 1, p. 1-10, 2004.

ZHENG, Y.; YATES, M.; AUNG, H.; CHENG, Y. S.; YU, C.; GUO, H.; ZHANG, R.; VANDERGHEYNST, J.; JENKINS, B. M. Influence of moisture content on microbial

activity and silage quality during ensilage of food processing residues.  
**Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 34, p. 987-995, 2011.

## APÊNDICES

Apêndice 1 - Conjunto de processos selecionados no software SimaPro para a avaliação dos impactos ambientais associados à fabricação da carne de frango

Item	Processos	Base de dados	
Soja	Soybean, at farm/BR Economic	Agri-Footprint	
Milho	Maize, at farm/BR Economic	Agri-Footprint	
Óleo de soja	Soybean oil, refined {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent v3	
Farinha de carne bovina <sup>1</sup>	Animal meal, from dry rendering, at plant/NL Mass	Agri-Footprint	
Sal	Sodium chloride, powder {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent v3	
Calcário	Calcareous marl {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent v3	
Energia elétrica	Electricity, high voltage {BR}  production mix   Alloc Def, U	Ecoinvent v3	
Transporte	Soja	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent v3
	Milho	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent v3
	Pintos	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent v3
	Farinha de carne	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent v3
Agentes de limpeza	Detergente alcalino	Alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent v3
	Sanitizante clorado	Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent v3
Pinto	One-day-chickens, at hatchery/NL Mass	Agri-Footprint	
Energia térmica aviário <sup>2</sup>	Heat, central or small-scale, other than natural gas {CH}  heat production, mixed logs, at wood heater 6kW   Alloc Def, U	Ecoinvent v3	
Serragem	Wood chips, wet, measured as dry mass {RoW}  market for   Conseq, U	Ecoinvent v3	
Energia térmica aviário (biogás) <sup>3</sup>	Heat, central or small-scale, natural gas {CH}  market for heat, central or small-scale, natural gas   Alloc Def, U (Adaptado)	Ecoinvent v3	
Madeira (caldeira)	Roundwood, eucalyptus ssp. from sustainable forest management, under bark {GLO}  market for   Conseq, U	Ecoinvent v3	
Energia térmica frigorífico <sup>4</sup>	Heat, Caldeira district or industrial, other than natural gas {RoW}  heat production, softwood chips from forest, at furnace 300kW   Alloc Rec, U	Ecoinvent v3	
Resíduo do frango	Bone, blood and meat meal production	LCA Food DK	
Água residual	Wastewater from potato starch production {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent v3	

<sup>1</sup> Para modelagem da farinha de carne bovina foi substituído no processo o *input* que se refere ao gado da região de origem da modelagem (Holanda), para o gado produzido no Brasil.

<sup>2</sup> Para energia térmica do aviário foi utilizado o processo de origem na Suíça, sendo substituído o *input* de madeira, por madeira produzida no Brasil.

<sup>3</sup> Para energia térmica do aviário (biogás) foi utilizado o processo de origem na Suíça, sendo substituído o *input* de biogás, por biogás produzida no Brasil.

<sup>4</sup> Para energia térmica frigorífico foi o *input* de madeira, por madeira produzida no Brasil.

Apêndice 2 - Vetores Pedigree, Vetores Resultados, Incertezas Básicas, Desvios Padrões

	Quantidade	Unidade	Vetor Pedigree	Incerteza Básica	Desvio-padrão
<b>Produção de Ração</b>					
<b>ENTRADA</b>					
Soja	0,290	kg	2,3,1,1,1	1,05	1,06
Milho	0,600	kg	2,3,1,1,1	1,05	1,06
Farinha de carne	0,05	kg	2,4,1,1,1	1,05	1,06
Óleo de soja	0,05	kg	2,4,1,1,1	1,05	1,06
Calcário	$5,0 \times 10^{-3}$	kg	2,4,1,1,1	1,05	1,06
Sal	$5,0 \times 10^{-3}$	kg	2,4,1,1,1	1,05	1,06
Energia elétrica	0,0235	kWh	3,2,1,1,1	1,05	1,07
<b>TRANSPORTE</b>					
Transporte da soja	0,0127	kg.km	3,4,1,1,3	2,00	2,11
Transporte do milho	0,0263	kg.km	3,4,1,1,3	2,00	2,11
Transporte da farinha de carne	$3,951 \times 10^{-3}$	kg.km	3,4,1,1,3	2,00	2,11
<b>SAÍDA</b>					
Ração	1	kg	-	-	-
<b>Aviário</b>					
<b>ENTRADA</b>					
Pinto	0,020	kg	2,3,1,1,1	1,05	1,06
Ração	1,426	kg	2,3,1,1,1	1,05	1,06
Água para hidratação	3,24	l	1,3,1,1,1	1,05	1,05
Água para higienização	14,76	l	2,3,1,1,1	1,05	1,06
Energia elétrica	0,0694	kWh	3,2,1,1,1	1,05	1,06
Energia térmica (madeira)	1,096 (0,0756)	MJ (kg)	2,4,1,5,4	1,05	1,26
Sanitizante clorado	$3,81 \times 10^{-4}$	L	2,4,1,1,1	1,05	1,06
Detergente Alcalino	$9,502 \times 10^{-5}$	l	2,4,1,1,1	1,05	1,06
Serragem	0,377	kg	2,3,1,1,1	1,05	1,06
<b>TRANSPORTE</b>					
Transporte de pinto	$2,898 \times 10^{-3}$	kg.km	3,4,1,1,3	2,00	2,11
<b>SAÍDA</b>					
Frango para abate	1	kg	-	-	-
Água residual	14,761	l	2,3,1,1,1	1,05	1,06
Cinzas	$2,381 \times 10^{-3}$	kg	3,5,1,5,3	1,05	1,14
Fuligem	$3,589 \times 10^{-4}$	kg	3,5,1,5,3	1,05	1,14
Cama de frango	1,16	kg		1,05	
<b>Produção frigorífica (Frango pronto para consumo)</b>					
<b>ENTRADA</b>					
Frango para abate	1,084	kg	2,3,1,1,1	1,05	1,06
Água	0,413	l	4,3,1,1,1	1,05	1,09
Energia elétrica	0,21	kWh	3,2,1,1,1	1,05	1,06
Energia térmica (Madeira)	$1,61 \times 10^{-2}$	MJ (kg)	2,4,1,5,4	1,05	1,26
Sanitizante clorado	$9,65 \times 10^{-4}$	l	2,4,1,1,1	1,05	1,06
Detergente alcalino	$2,07 \times 10^{-4}$	l	2,4,1,1,1	1,05	1,06
Frango inteiro	1	kg	-	-	-
Água residual	0,3342	l	4,3,1,1,1	1,05	1,09
Resíduos de carcaça (Ockerman e Hansen, 1994)	0,164	kg	3,3,1,1,1	1,05	1,06
Fuligem	$4,8 \times 10^{-5}$	kg	3,5,1,5,3	1,05	1,14
Cinza	$3,22 \times 10^{-4}$	kg	3,5,1,5,3	1,05	1,14

### Apêndice 3 - Cálculos de capacidade calorífica da cama de frango

Utilizando-se a equação 1 e na capacidade de produção de biogás da cama de frango (0,1712 m<sup>3</sup> por kg) do item 3.4, foi calculado a capacidade calorífica da cama de frango gerada pelo sistema de produto, baseando nos índices do Inventário.

$$CE_{gás} = \frac{CTG \times PCI}{1000000} \quad (3)$$

sendo:

$CE_{gás}$  = Consumo energético do sistema a gás (GJ);

$CTG$  = Consumo total de gás (m<sup>3</sup>);

$PCI$  = Poder calorífico inferior. (35.900 kJ/m<sup>3</sup> para biogás (FUNCK e FONSECA, 2008)).

Como a razão de produção de biogás é de 0,1712 m<sup>3</sup>/kg de cama de frango com maravalha, adotou-se a razão de 92% dessa produção conforme estudo de Santos (2001). Essa adoção se deve a 42 dias de biodigestor, ou seja, o tempo de um lote de produção no aviário estudado.

Assim, a produção de biogás é de 0,1575 m<sup>3</sup> por kg cama de frango.

Tendo cada 1 kg de frango pronto para consumo uma geração de 1,16 kg de cama de frango, a produção de biogás é de 0,1681 m<sup>3</sup> em 42 dias

Solução da equação

Assim:

$$(1^\circ) - CE_{gás} = \frac{0,1681 \times 35900}{1000000}$$

$$(2^\circ) - CE_{gás} = 6,04 \times 10^{-3} \text{ GJ ou } 6,04 \text{ MJ}$$

Esses resultados demonstram a capacidade de substituição plena da madeira pelo biogás. Para o estudo, foi utilizado apenas o valor necessário para atender a demanda do aviário. O excedente foi considerado como queima.

#### Apêndice 4 - Emissões de gases no manejo e armazenamento dos dejetos da criação das aves

Os cálculos das emissões de amônia (NH<sub>3</sub>) foram realizados conforme descrito por Amon *et al.*, (2016), no guia de inventário das emissões na criação de animais e manejo de dejetos.

##### Emissões de amônia (NH<sub>3</sub>)

Cálculo da população média anual dos animais produzidos.

$$AAP = \text{Dias vivo} \times \frac{NAPA}{365} \quad (4)$$

Onde:

AAP = população média anual

NAPA = número de animais produzidos anualmente

Para as empresas a quantidade de dias que os animais permanecem vivos em cada lote são 45 dias.

Com o valor da população média anual é possível identificar as emissões de amônia, através da Equação 5:

$$NH_3 = AAP \times EF \quad (5)$$

Onde:

NH<sub>3</sub> = emissões de amônia, kg NH<sub>3</sub>

EF = fator padrão, kg AAP<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub>

O valor padrão de EF no *Tier 1* foi definido de acordo com o tipo de animal e tipo de dejetos. Nesse estudo o valor de EF = 0,22 kg AAP<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub>, valor definido para frangos de corte criados em cama de frango (EMEP/EEA, 2009, pag. 14).

As emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) foram calculadas de acordo com modelos propostos pelo IPCC (2006) no capítulo 10 sobre emissões da pecuária e manejo de dejetos. Foi utilizado o *Tier 1*, com valores padrões indicados pelo IPCC.

##### Emissões de metano (CH<sub>4</sub>) do manejo de dejetos

As emissões de metano proveniente do manejo de dejetos foram calculadas pelo *Tier 1* através da Equação 6, com os fatores de emissões definidos pelo IPCC.

$$CH_{4(excretas)} = \sum_{(T)} \frac{EF_{(T)} \cdot N_{(T)}}{10^6} \quad (6)$$

Onde:

$CH_4$  = emissões de  $CH_4$  do manejo dos dejetos, por uma população definida, Gg  $CH_4$  ano<sup>-1</sup>

$EF_{(T)}$  = fator de emissão de  $CH_4$  dos dejetos, kg  $CH_4$  cabeça<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>

$N_{(T)}$  = número de cabeças de uma espécie

T = espécies/categoria pecuária

O valor do fator de emissão de  $CH_4$ ,  $EF_{(T)}$ , foi escolhido de acordo com a espécie do animal e a temperatura média anual (Tabela 5). Assim,  $EF_{(T)} = 0,02$  kg  $CH_4$  cabeça<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

**Tabela 5** - Fator de emissão de metano do manejo de dejetos por temperatura

Frangos	Fator de emissão de $CH_4$ pela temperatura média anual (°C)		
	T <15°C	15<T<25°C	T >25°C
Países em desenvolvimento	0,01	0,02	0,02

Fonte: IPCC, (2006), pag.40

#### Emissões de $N_2O$ do manejo dos dejetos

As emissões de óxido nitroso são divididas em emissões diretas e indiretas. As emissões diretas acontecem devido à combinação da nitrificação e desnitrificação do nitrogênio nos dejetos, enquanto que as emissões indiretas ocorrem em decorrência da perda de nitrogênio volátil (IPCC, 2006).

#### Emissões diretas de $N_2O$

As emissões diretas de  $N_2O$  são calculadas através da Equação 7:

$$N_2O_{D(mm)} = \left[ \sum_S \left[ \sum_T (N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)}) \right] \cdot EF_{3(S)} \right] \cdot \frac{44}{28} \quad (7)$$

Onde:

$N_2O_D$  = emissões diretas de  $N_2O$  do manejo dos dejetos, kg  $N_2O$  ano<sup>-1</sup>

$N_{(T)}$  = número de cabeças de uma espécie

$Nex_{(T)}$  = média anual de excreção de N por cabeça de espécies/categoria (T), kg N/animal.ano

$MS_{(T,S)}$  = fração do total anual de nitrogênio excretado para cada espécie/categoria (T) em um sistema de manejo de dejetos de um sistema (S)

$EF_{3(S)}$  = fator de emissão para as emissões diretas de  $N_2O$  do sistema de manejo dos dejetos (S) em um país, kg  $N_2O-N/kg$  N;

S = Sistema de manejo dos dejetos

T = espécies/categoria da pecuária

44/28 = conversão das emissões de (N<sub>2</sub>O-N) (mm) para emissões de N<sub>2</sub>O (mm)

A média anual de excreção de N por cabeça de espécies/categoria (T),  $N_{ex(T)}$  foi calculada pela Equação 8, onde o  $N_{rate(T)}$  foi encontrado na Tabela 19 do Manual de emissões da pecuária e manejo de dejetos (IPCC, 2006), sendo 1,10 kg N (1000 kg animal massa)<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> para frangos de corte em qualquer região do mundo.

$$N_{ex(T)} = N_{rate(T)} \cdot \frac{TAM}{1000} \cdot 365 \quad (8)$$

Onde:

$N_{rate(T)}$  = taxa padrão de excreção de N, kg N (1000 kg animal massa)<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>

$TAM(T)$  = peso típico de um frango, kg animal<sup>-1</sup>

O  $TAM(T)$  utilizado foi 2,6 kg, que é em média a pesagem dos frangos prontos para o abate na empresa avaliada.

A escolha do MS (%) foi baseada na forma como a empresa trata seus dejetos na etapa de crescimento e terminação do frango (Tabela 6).

**Tabela 6** - MS (%) para frangos do estado da Bahia

Sistema de manejo de dejetos	MS (%)
Lagoa anaeróbica	0,83
Armazenamento sólido	71,64
Pastagem	3,77
Estocagem <30 dias	6,96
Biodigestor	3,23
Outros	13,57

Fonte: Adaptado de Alves (2010), pág 73

Os dejetos foram dispostos no solo sem tratamento. Dessa forma o MS foi 13,57%.

O EF<sub>3</sub> escolhido foi 0,001 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N, valor utilizado para aves criadas para abate e que possuem como dejetos as excretas com a cama.

### Emissões indiretas de N<sub>2</sub>O

As emissões indiretas de N<sub>2</sub>O são calculadas através da Equação 9:

$$N_2O_G = (N_{volatilização-MMS} \cdot EF_4) \cdot \frac{44}{28} \quad (9)$$

Onde:

$N_2O_G$  = emissões indiretas de  $N_2O$  devido a volatilização de N do manejo dos dejetos, kg  $N_2O$  ano<sup>-1</sup>

$N_{volatilização-MMS}$  = quantidade de nitrogênio dos dejetos que é perdido devido a volatilização do  $NH_3$  e  $NO_x$ , kg N ano<sup>-1</sup>

$EF_4$  = fator de emissão de  $N_2O$  da deposição atmosférica do nitrogênio nos solos e superfície da água, kg  $N_2O-N$  (kg  $NH_3-N$  +  $NO_x-N$  volatilizado)<sup>-1</sup>

$EF_4$  possui valor padrão de 0.01 kg  $N_2O-N$  (kg  $NH_3-N$  +  $NO_x-N$  volatilizado)<sup>-1</sup>, dado no Capítulo 11 do IPCC (2006) na Tabela 11.3.

O  $N_{volatilização-MMS}$ , que é a volatilização nas formas de  $NH_3$  e  $NO_x$ , é calculado através da Equação 10:

$$N_{volatilização-MMS} = \sum_S \left[ \sum_T \left[ (N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)}) \cdot \left( \frac{Frac_{GasMS}}{100} \right)_{(T,S)} \right] \right] \quad (10)$$

Onde:

$N_{volatilização-MMS}$  = quantidade de nitrogênio dos dejetos que é perdido devido a volatilização do  $NH_3$  e  $NO_x$ , kg N ano<sup>-1</sup>

$N_{(T)}$  = número de cabeças de uma espécie

$N_{ex(T)}$  = média anual de excreção de N por cabeça de espécies/categoria de T, kg N animal<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>

$MS_{(T,S)}$  = fração do total anual de nitrogênio excretado para cada espécie/categoria (T) em um sistema de manejo de dejetos de um sistema (S)

$Frac_{GasMS}$  = percentual de nitrogênio manejado nos dejetos para categoria pecuária T que volatiliza como  $NH_3$  e  $NO_x$  no sistema de manejo de dejetos (S), %

O  $Frac_{GasMS}$  foi escolhido de acordo com o sistema de manejo dos dejetos (Tabela 7). O  $Frac_{GasMS}$  foi 40% devido à presença de cama na criação dos frangos.

**Tabela 7** - Perda de N de MMS devido a volatilização do N-NH<sub>3</sub> e N-NO<sub>x</sub>

<b>Tipo de animal</b>	<b>Sistema de manejo de dejetos (MMS)</b>	<b>Frac<sub>GasMS</sub> (Alcance do Frac<sub>GasMS</sub>) (%)</b>
<b>Aves</b>	Aves sem cama	55% (40 – 70)
	Lagoa anaeróbica	40% (25 – 75)
	Aves com cama	40% (10 – 60)

Fonte: IPCC (2006), pag. 65