



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Agrícola

NILSA DUARTE DA SILVA LIMA

**ESTIMATIVA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO PROCESSO
PRODUTIVO DE FRANGOS DE CORTE**

**ESTIMATING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF BROILER
PRODUCTION PROCESS**

CAMPINAS
2019

NILSA DUARTE DA SILVA LIMA

**ESTIMATIVA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO PROCESSO
PRODUTIVO DE FRANGOS DE CORTE**

**ESTIMATING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF BROILER
PRODUCTION PROCESS**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, na Área de Construções Rurais e Ambiência.

Thesis presented to the School of Agricultural Engineering of the University of Campinas in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor, in the area of Agricultural Engineering.

Orientadora: PROFA. DRA. IRENILZA DE ALENCAR NÄÄS

ESTE ARQUIVO DIGITAL CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELA
ALUNA NILSA DUARTE DA SILVA LIMA, E
ORIENTADA PELA PROFA. DRA. IRENILZA DE
ALENCAR NÄÄS.

CAMPINAS
2019

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1284-7810>

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

L628e Lima, Nilsa Duarte da Silva, 1985-
Estimativa dos impactos ambientais no processo produtivo de frangos de corte / Nilsa Duarte da Silva Lima. – Campinas, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Irenilza de Alencar Nääs.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Impacto ambiental. 2. Avaliação do ciclo de vida. 3. Emergia. 4. Contabilidade ambiental. 5. Frango de corte. 6. Frango de corte - Criação. I. Nääs, Irenilza de Alencar. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Estimating the environmental impact of broiler production process

Palavras-chave em inglês:

Environmental impact

Life cycle analysis

Emergy

Environmental accounting

Broiler meat production

Broiler

Broiler - Rearing

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiente

Títuloção: Doutora em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

Irenilza de Alencar Nääs [Orientador]

Daniella Jorge de Moura

Juliana Aparecida Fracaroli

Danilo Florentino Pereira

Silvia Helena Bonilla

Data de defesa: 19-02-2019

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Nilsa Duarte da Silva Lima**, aprovada pela Comissão Julgadora em 19 de Fevereiro de 2019, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAAGRI

Profa. Dra. Irenilza de Alencar Nääs - Presidente e Orientador

Profa. Dra. Daniella Jorge de Moura - Membro Titular

Profa. Dra. Juliana Aparecida Fracarolli - Membro Titular

Faculdade de Engenharia Agrícola

Dr. Danilo Florentino Pereira - Membro Titular

Dra. Silvia Helena Bonilla - Membro Titular

Unicamp

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do discente.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Campinas e a Faculdade de Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do doutorado. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro e bolsa de estudos concedida.

A minha orientadora, Profa. Dra. Irenilza de Alencar Nääs, pela orientação, confiança, cuidado, ensinamentos, por acreditar no meu trabalho, e acima de tudo por ajudar inigualavelmente nos desafios que encontrei durante esses quatro anos. Também pela amizade, conselhos, paciência, por compartilhar seus conhecimentos e pela convivência harmoniosa e generosa. Obrigada a “Mommy’s” da vida acadêmica, a “Gru” do grupo de pesquisa e a Cientista Brilhante!

Ao Programa de Pós-Graduação, em especial à secretária Rita de Cássia Cuesta Ferreira, pela paciência, gentileza e todo auxílio durante os desesperos burocráticos da vida acadêmica. Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pelas disciplinas ministradas. E ao Programa de Estágio de Docência (PED) e a Profa. Dra. Daniella Jorge de Moura que me acrescentou experiências na docência e na Engenharia.

À empresa integradora de produção de frangos de corte por disponibilizar sua estrutura para o desenvolvimento do trabalho, assim como a solicitude de seus funcionários. E a ajuda e apoio incondicional do Prof. Rodrigo Garófallo Garcia na coleta dos dados nas granjas em MS.

Pelas inúmeras amizades construídas durante esses últimos anos do doutorado, pelo companheirismo e cumplicidade em todos os momentos.

E a todos aqueles que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para esta realização.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Estimativa dos impactos ambientais no processo produtivo de frangos de corte

RESUMO

O objetivo deste estudo foi estimar os impactos ambientais do ciclo de vida e o custo ambiental do processo de produção de frangos de corte. No primeiro capítulo, o objetivo foi avaliar o impacto ambiental do processo produtivo de frangos de corte usando a abordagem de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O estudo avaliou dados da produção de frango de corte de seis granjas, período de um ano, o total de seis ciclos produtivos por ano. O inventário do ciclo de vida incluiu todos os fluxos de entrada e saída dos subsistemas: produção de ração e criação de frangos, com finalidade de avaliar o impacto ambiental desde o alojamento das aves até o portão da granja. As categorias de impacto: potencial de aquecimento global, depleção de recursos abióticos (recursos minerais e fósseis), depleção da camada de ozônio, eutrofização, acidificação, ecotoxicidade aquática de água doce, ecotoxicidade aquática marinha, ecotoxicidade terrestre, toxicidade humana, oxidação fotoquímica e uso da terra. Os resultados mostraram que as emissões totais de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes do gerenciamento de dejetos totalizaram 0,154 kg CO₂-eq por kg de frango produzido. As contribuições de CH₄, N₂O direto e N₂O indireto para o potencial de aquecimento global foram de 18,9%, 19,3% e 61,8% respectivamente. O resultado do potencial de aquecimento global total para o processo produtivo de frangos de corte foi de 2,70 kg de CO₂-eq por kg de frango vivo produzido no portão da granja. A fase de produção das aves apresentou maior contribuição no aquecimento global com 1,95 kg CO₂-eq por kg de frango vivo produzido. A depleção de recursos abióticos (recursos minerais 5,1 E-8 kg e recursos fósseis 0,143 MJ) apresentaram valores maiores para a fase de produção de ração. No segundo capítulo, o objetivo foi estimar o custo ambiental do processo produtivo de frangos de corte usando a abordagem da contabilidade emergética. O processo produtivo de frangos de corte de uma granja padrão foi avaliado. Um diagrama sistêmico foi elaborado para identificar todos os componentes e fluxos de energia. Uma tabela que contém os valores dos fluxos de materiais e energia foi construída. Os índices emergéticos foram calculados a partir dos resultados encontrados na avaliação dos fluxos de energia. A energia total que suporta o sistema foi 7,00 E+05 sej/ha/ano. A contribuição mais importante no fluxo emergético do sistema provém dos materiais da economia com total de 6,60 E+05 sej/ha/ano, incluindo a ração com 4,60 E+05 sej/ha/ano, os pintos de um dia 1,48 E+05 sej/ha/ano e a energia elétrica 2,07 E+04 sej/ha/ano. O fluxo de energia agregado do processo produtivo foi 69.693,84 sej/ha/ano. O índice de renovabilidade mostrou baixa sustentabilidade do sistema, a razão de rendimento emergético indicou que a quantidade de energia da natureza incorporada na produção de frangos é baixa quando comparada com a energia total usada, a razão de investimento emergético indicou um alto investimento para produzir frangos no sistema convencional, e a razão de carga ambiental indicou alta degradação ambiental.

Palavras-chave: Impacto Ambiental; Análise do Ciclo de Vida; Emergia; Contabilidade Ambiental; Produção de Frangos de Corte.

Estimating the environmental impact of broiler production process

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the environmental impacts of the life cycle and the environmental cost of the process of production of broilers. In the first chapter, the objective was to evaluate the environmental impact of the productive process of broiler chickens using the Life Cycle Assessment (LCA) approach. The study evaluated data from the production of broiler from six farms, period of one year, the total of six productive cycles per year. The life cycle inventory included all inflows and outflows of the subsystems: feed production and broiler rearing to assess the environmental impact from broiler housing to farm gate. Impact categories: global warming potential, depletion of abiotic resources (mineral and fossil resources), ozone depletion, eutrophication, acidification, freshwater aquatic ecotoxicity, marine aquatic ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity, human toxicity, photochemical oxidation and land use. The results showed that total greenhouse gas emissions from waste management totaled 0.154 kg CO₂-eq per kg of broiler produced. The contributions of CH₄, direct N₂O and indirect N₂O to the global warming potential were 18.9%, 19.3% and 61.8% respectively. The total global warming potential for the broilers production process was 2.70 kg CO₂-eq per kg of live broiler produced at the farm gate. The production phase of the poultry presented greater contribution in global warming with 1.95 kg CO₂-eq per kg of live chicken produced. The depletion of abiotic resources (mineral resources 5.1 E-8 kg and fossil resources 0.143 MJ) presented higher values for the stage of production of feed. In the second chapter, the objective was to estimate the environmental cost of the productive process of broilers using the approach of the emergy accounting. The productive process of broilers from a standard farm was evaluated. A systemic diagram was designed to identify all components and energy flows. A table containing the values of the material and energy flows was constructed. The emergy indices were calculated from the results found in the evaluation of the emergy flows. The total emergy that supports the system was 7.00 E+05 sej/ha/year. The most important contribution in the emergy flow of the system comes from the economy materials with a total of 6.60 E+05 sej/ha/year, including the feed with 4.60 E+05 sej/ha/year, day-old chicks 1.48 E+05 sej/ha/year and the electric energy 2.07 E+04 sej/ha/year. The aggregate emergy flow of the productive process was 69,693.84 sej/ha/year. The renewability index showed low sustainability of the system, the rate of emergy indicated that the amount of emergy of the nature incorporated in broiler production is low when compared to the total emergy used, the rate of emergy investment indicated a high investment to produce broilers in the conventional system, and the environmental load ratio indicated high environmental degradation.

Keywords: Environmental impact; Life Cycle Analysis; Emergy; Environmental Accounting; Broiler meat Production.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo I

| | |
|--|----|
| Figura 1. Limites e diagrama de fluxo do sistema de produção de frangos de corte..... | 19 |
| Figura 2. Esquema dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> da ACV utilizando o software OpenLCA..... | 27 |

Capítulo II

| | |
|--|----|
| Figura 1. Localização da área de estudo | 46 |
| Figura 2. Diagrama do modelo de produção de frangos de corte..... | 47 |
| Figura 3. Imagem da granja com dois conjuntos de aviários | 48 |
| Figura 4. Diagrama de Fluxos Agregados de um sistema rural..... | 50 |
| Figura 5. O fluxograma de energia do processo de produção de frangos de corte..... | 52 |

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Dados de inventário de ciclo de vida para granjas de produção de frangos de corte (por 1 kg de frango vivo produzido) | 22 |
| Tabela 2. Principais características do sistema de criação | 23 |
| Tabela 3. Emissões diretas e indiretas de N ₂ O e CH ₄ a partir do gerenciamento de dejetos da produção de frangos de corte por 1 kg de peso vivo produzido | 25 |
| Tabela 4. Nomenclatura utilizada nas categorias de impacto e suas respectivas unidades..... | 26 |
| Tabela 5. Emissões de gases de efeito estufa e contribuições para o potencial de aquecimento global para a produção de frangos de corte a partir do gerenciamento de dejetos | 28 |
| Tabela 6. Impacto ambiental do processo produtivo de frangos de corte por 1 kg de peso vivo produzido..... | 30 |

Capítulo II

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Principais características da produção de frangos de corte | 48 |
| Tabela 2. Símbolos da linguagem de fluxos de energia para representar sistemas | 52 |
| Tabela 3. Classificação dos fluxos emergéticos | 52 |
| Tabela 4. Tabela de avaliação emergética..... | 53 |
| Tabela 5. Índices emergéticos tradicionais e modificados..... | 54 |
| Tabela 6. Avaliação emergética do processo produtivo de frangos de corte | 57 |
| Tabela 7. Energia total produzida na granja | 58 |
| Tabela 8. Fluxos de energia agregados do processo produtivo | 58 |
| Tabela 9. Indicadores emergéticos do processo produtivo de frangos de corte | 59 |
| Tabela 10. Índice de sustentabilidade emergético do processo produtivo de frangos de corte..... | 61 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| Introdução | 11 |
| Hipótese | 13 |
| Objetivos..... | 13 |
| | |
| I - Avaliação de impacto ambiental do processo produtivo de frangos de corte – usando avaliação do ciclo de vida | 14 |
| Resumo | 14 |
| 1. Introdução | 15 |
| 2. Material e Métodos..... | 17 |
| 2.1 Descrições do sistema de produção | 17 |
| 2.2. Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) | 18 |
| 2.2.1 Definição do Escopo e Objetivo | 18 |
| 2.2.2. Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV)..... | 21 |
| 2.2.3. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) | 25 |
| 2.2.4 Interpretação do Ciclo de Vida..... | 27 |
| 3. Resultados e Discussão..... | 27 |
| 3.1. Contribuintes do gerenciamento de dejetos para o potencial de aquecimento global .. | 27 |
| 3.2. Impacto ambiental do processo produtivo de frangos de corte..... | 29 |
| 4. Conclusões | 34 |
| Referências..... | 34 |
| | |
| II. Custo ambiental associado ao processo produtivo de frangos de corte: abordagem emergética | 44 |
| Resumo | 44 |
| 1. Introdução | 45 |
| 2. Material e Métodos | 46 |
| 2.1. Caracterizações do processo produtivo e delimitação do estudo | 46 |
| 2.2. Avaliação Emergética..... | 49 |
| 2.2.1. Diagrama sistêmico | 50 |
| 2.2.2. Tabela de avaliação emergética e análise dos fluxos energéticos | 53 |
| 2.2.3. Índices emergéticos | 53 |
| 2.3. Coleta dos dados | 54 |
| 2.4. Análise dos dados..... | 55 |
| 3. Resultados e Discussão | 56 |
| 3.1. Avaliação emergética do processo produtivo de frangos de corte..... | 56 |
| 3.2 Indicadores emergéticos | 59 |
| 4. Conclusões..... | 61 |
| Referências | 62 |
| | |
| Considerações Finais | 68 |
| Referências | 69 |
| Anexos | 72 |

INTRODUÇÃO

As intensificações das mudanças climáticas alteram, ao longo dos anos, as regiões produtoras de alimentos causando impactos negativos no ambiente. Esses impactos negativos causam alterações na cadeia produtiva de alimentos, principalmente da cadeia de carnes. As questões sobre conservação ambiental em função da contribuição das atividades agropecuárias nas alterações climáticas e as suas consequências geram preocupações e discussões de grandes países produtores como o Brasil. Uma vez que o setor agrícola e o uso da terra são as principais fontes de emissão de gases de efeito estufa (IPCC, 2006; IPCC AR5-2014). Considerando a concentração de gases atmosféricos, os gases que contribuem relativamente para o aquecimento global são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), contribuindo em 55%, 15% e 4%, respectivamente (Snyder et al., 2008).

A avaliação de potenciais impactos dos gases no ambiente e no processo produtivo de frangos de corte torna-se fundamental para compreender as consequências ambientais. Essa avaliação pode ser realizada por meio de monitoramentos capazes de auxiliar na gestão de riscos e minimizar os efeitos (IPCC 2006; Miles et al., 2008; Lima et al., 2011; Lima et al., 2015).

No sistema produtivo de frangos de corte, o gerenciamento de dejetos é considerado um dos fatores mais importantes devido a perdas significativas, diretas e indiretas, de nitrogênio proveniente das excretas das aves nas granjas de produção animal. Assim, é importante estimar a quantidade restante de nitrogênio disponível na cama de frango ou medir a concentração de amônia no interior dos aviários. As emissões indiretas resultam das perdas de nitrogênio voláteis que ocorrem principalmente nas formas de amônia e óxidos de nitrogênio (Asman et al., 1998; Rogeri et al., 2016). As perdas de nitrogênio ocorrem nas instalações a partir da produção de animais em camas de diferentes materiais orgânicos como é o caso da avicultura industrial.

Um dos gases mais nocivos na criação de frangos de corte é o gás amônia (NH_3). Este gás é um composto alcalino abundante na atmosfera, liberado na superfície por meio da decomposição de material orgânico, apresenta solubilidade com água e reatividade com componentes aerossóis ácidos e são volatilizados a partir da cama de frango (Ziereis e Arnold, 1986). A carga de matéria orgânica varia em função das densidades populacionais, da tecnificação do aviário, espessura inicial da cama e do número de reutilizações da cama, e da variabilidade espacial das características ambientais de frangos de corte em galpões de ventilação com pressão negativa (Oliveira et al., 2003). Altas temperaturas, excesso de umidade, densidade das aves, ventilação reduzida e principalmente, higienização e

desinfecção inadequada durante o vazio sanitário dos aviários podem contribuir para a alta concentração de amônia, dióxido de carbono e óxido nitroso no interior das instalações para animais de produção. A variação de umidade relativa, taxa de ventilação e condições de cama úmida também contribuem para essa situação (Carvalho et al., 2011; Menegali et al., 2009). A elevação da temperatura e do pH da cama, relacionados ao aumento da umidade da cama (considerando que a umidade recomendada esteja entre 20% e 30%), propiciam maior atividade microbiana e, assim a formação e volatilização de gases (amônia e dióxido de carbono). Deste modo, a qualidade e a quantidade da cama influenciam na capacidade da emissão de amônia (Toghyani et al., 2010).

No entanto, considerando o aumento da produtividade anual de frangos de corte e o número de aves abatidas é imprescindível avaliar a perspectiva do aumento das emissões dos gases com potencial de efeito estufa nos cenários atuais de criação para estudar alternativas de atenuar os impactos causados pelo sistema produtivo (IPCC AR5-2014).

A avaliação emergética é considerada como um método de para avaliar o custo ambiental de um sistema agrícola. É avaliada uma contabilidade ambiental que considera o fluxo de energia que um sistema utiliza para produzir um produto ou serviço, expressa em energia (que foi previamente requerida, de forma direta ou indireta), calculada em termos de Joules de energia solar equivalente (*seJ*) ou *emJoule*. A metodologia emergética propõe medir todas as contribuições, tais como: moeda, massa, energia e informação. (Odum, 1996; Ulgiati e Brown, 1998; Ortega 2002; Brown e Ulgiati, (2002); Brown; Ulgiati, (2004).

Para produzir mais proteína animal (frango) para a estimativa global do aumento de demanda por alimentos é necessário maior uso de do ecossistema natural, mas este aumento da produção agrícola causa alguns impactos. Esses impactos chamados de externalidades negativas são definidos como “custos da utilização de recursos naturais” para produzir e que ainda não são considerados no preço de mercado do produto. Os recursos naturais são considerados livres e por esta razão são degradados (Pretty et al., 2000; Pretty et al., 2005).

Diante disso, o estudo dos impactos ambientais durante o ciclo de vida do frango de corte e a avaliação emergética (eficiência ambiental e econômica) no processo produtivo de frangos de corte auxilia no desenvolvimento de inventários nacionais de emissões de gases e este oferece suporte para a formulação de indicadores de impactos ambientais e permite avaliar a sustentabilidade do processo de produção convencional da carne de frango brasileira.

A Tese está estruturada em formato de artigos, além de conter uma introdução geral, os dois capítulos de artigos (o primeiro capítulo com intitulado “Avaliação de impacto

ambiental do processo produtivo de frangos de corte – usando avaliação do ciclo de vida”, e o segundo capítulo intitulado “Custos ambientais associados ao processo produtivo de frangos de corte: abordagem emergética”), as considerações finais e as referências,

Hipótese

O uso combinado da avaliação do ciclo de vida e da avaliação emergética permite a avaliar o desempenho ambiental do processo de produção de frangos de corte para determinar a sustentabilidade do ponto de vista ambiental e ecológico-econômico. A utilização dessas avaliações permite identificar as etapas e processos críticos que mais impactam o ambiente e o maior consumo de recursos naturais renováveis ou não renováveis empregados durante o processo de produção.

Objetivos

- **Objetivo geral:**

Estimar os impactos ambientais do ciclo de vida e os custos ambientais do processo de produção de frangos de corte.

- **Objetivos específicos:**

Os objetivos específicos correspondem a cada capítulo/artigo da Tese.

I - Avaliar o impacto ambiental do processo produtivo de frangos de corte usando a abordagem de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV);

II - Avaliar o custo ambiental do processo produtivo de frangos de corte, a partir da abordagem da contabilidade emergética.

CAPÍTULO I

AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DO PROCESSO PRODUTIVO DE FRANGOS DE CORTE – USANDO AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Resumo

A gestão ambiental dos elementos da cadeia produtiva de frangos de corte inclui avaliar o impacto ambiental com finalidade de melhorar o desempenho dos processos relacionados ao ciclo de vida da produção de frangos de corte na granja. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto ambiental do processo produtivo de frangos de corte usando a abordagem de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O estudo avaliou a produção de frango de corte de seis granjas. Os dados compreendem o período de um ano de produção de frangos de corte, total de seis ciclos por ano. O inventário do ciclo de vida incluiu todos os fluxos de entrada e saída dos subsistemas: produção de ração e criação de frangos, com finalidade de avaliar o impacto ambiental do produto desde o alojamento das aves até o portão da granja. As categorias de impacto: potencial de aquecimento global, depleção de recursos abióticos (recursos minerais), depleção de recursos abióticos (recursos fósseis), depleção da camada de ozônio, eutrofização, acidificação, ecotoxicidade aquática de água doce, ecotoxicidade aquática marinha, ecotoxicidade terrestre, toxicidade humana, oxidação fotoquímica e uso da terra. Os resultados mostraram que as emissões totais de Gases de Efeito Estufa provenientes do gerenciamento de dejetos nas granjas de frangos de corte totalizaram 0,154 kg CO₂-eq por kg de frango produzido. As contribuições de CH₄, N₂O direto e N₂O indireto para o potencial de aquecimento global foram de 18,9%, 19,3% e 61,8% respectivamente. Os principais fatores que contribuem para a emissão de CH₄ no processo produtivo de frangos de corte são a quantidade de excreta produzida por kg de peso vivo (0,176 kg de sólidos voláteis), e a porção que se decompõe anaerobicamente no fim de cada ciclo de produção quando a cama é tratada para reutilização. O resultado do potencial de aquecimento global total para o processo produtivo de frangos de corte (subsistema: produção de ração; subsistema: criação das aves) foi de 2,70 kg de CO₂-eq por kg de frango vivo produzido no portão da granja. A fase de produção das aves apresentou maior contribuição no aquecimento global com 1,95 kg CO₂-eq por kg de frango vivo produzido. A depleção de recursos abióticos - recursos minerais (5,1 E-8 kg ant.-eq) e a depleção de recursos abióticos - recursos fósseis (1,43 E-01 MJ) apresentaram valores maiores para a fase de produção de ração, por kg de frango vivo produzido.

Palavras-chave: impacto ambiental, emissões de GEE; avaliação do ciclo de vida, produção de frango de corte; sistema convencional.

1. Introdução

A intensificação e especialização na produção pecuária permitem investimentos em tecnologias e instalações mais direcionadas ao objetivo de gerar menor impacto ambiental. Isto, agregado a fatores como ambiência, nutrição, genética, sanidade, boas práticas de produção e gerenciamento de resíduos na granja resultam em crescimento produtivo impulsionado pela demanda por proteína de origem animal de ciclo mais curto e maior desempenho produtivo. A produção de frangos de corte responde a essa demanda através da produção intensiva e verticalizada, com maior eficiência na conversão alimentar e números de animais produzidos por ano (Jaspers e van den Ende, 2006; Patricio et al., 2012; Nääs et al., 2015). Além deste crescimento houve mudanças no comportamento de consumo de carne, quanto ao seu impacto ambiental, induzindo os consumidores a uma conscientização a favor da sustentabilidade na produção (Miele, 1999; Daniel et al., 2011; Westhoek et al., 2014).

No entanto, o sistema intensivo de produção de frangos de corte, em que as aves são criadas totalmente confinadas nas granjas com climatização e alimentação industrial (ração), depende da produtividade e intensificação do uso do solo para disponibilidade de principais matérias-primas, como milho e soja, utilizada na fabricação de ração. As instalações climatizadas apresentam condições de ambiente que permitem densidades maiores de criação, o aumento na capacidade de alojamento de frangos resulta em maior eficiência produtiva (Kic, 2016). Por outro lado, o uso de energia nesse sistema é maior que nos sistemas com ventilação natural ou instalações com baixo nível de mecanização (Baxevanou et al., 2017; Pishgar-Komleh et al., 2017).

A produção brasileira de carne de frango representou 13,05 milhões de toneladas em 2017, desse total 33,1 % para exportação e 66,9 % para o mercado interno. No mercado mundial de carne de frango, o Brasil ocupa o segundo lugar no ranking de produtores, atrás dos EUA e à frente da China, e o primeiro exportador (4 milhões de toneladas) à frente dos EUA e da União Europeia. A carne de frango representa 46 % do consumo total de carne no Brasil, com consumo per capita de 42,07 kg/habitante, de acordo com as estatísticas nacionais (ABPA, 2018). A carne de frango brasileira tem participação significativa no mercado mundial e nacional, e perspectivas de crescimento (Nääs et al., 2015; ABPA, 2018). No entanto, para atender essa economia de escala na produção e manter o compromisso de

redução de emissão de gases de efeito estufa no setor agropecuário assumido pelo país resultam em adoção de tecnologias de produção sustentáveis com objetivo de responder a esse compromisso. Uma economia de baixa emissão de carbono no setor pecuário depende da participação ativa dos atores da cadeia em relação à gestão, organização e planejamento das ações destinadas às práticas que contribuem para a redução de emissões de gases de efeito estufa emitidos pela atividade agropecuária (Nobre, 2010; IPCC, 2014; Rojas-Downing et al., 2017).

As emissões estão relacionadas ao consumo e eficiência de recursos renováveis e não renováveis no sistema de produção animal. O impacto da utilização desses recursos são encargos que incidem sobre o meio ambiente, principalmente o uso de energia não renovável. Os impactos ambientais do setor pecuário sobre as mudanças climáticas e impactos das mudanças climáticas na produção pecuária tem sido o foco principal nas pesquisas, motivados por pesquisadores, consumidores e produtores (Nardone et al., 2010; IPCC, 2013; IPCC, 2014; Rojas-Downing et al., 2017).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para quantificar o impacto dessas emissões é atualmente proposta e discutida como parte do desenvolvimento de abordagens para avaliação das consequências desses impactos, principalmente climáticas. A ACV é uma metodologia utilizada na avaliação dos impactos ambientais de um produto, processo ou atividade ao longo de seu ciclo de vida, e são interpretadas em termos de potenciais impactos e avaliadas em categorias (Anderson et al., 1994; Tukker e Jansen, 2006; Finnveden et al., 2009; Roy et al., 2009; Guinée et al., 2002; de Vries e de Boer, 2010; ISO 14040, 2006a; ISO 14044, 2006b). A abordagem da ACV é o método mais adequado para avaliar o impacto ambiental da produção de frangos de corte (de Vries e de Boer, 2010; ISO 14040, 2006a; ISO 14044, 2006b). Diversos estudos estão disponíveis na literatura internacional sobre a avaliação do impacto ambiental da produção de frangos de corte em sistemas intensivos com metodologia ACV (Cesari et al., 2017; Da Silva et al., 2014; González-García et al., 2014; Leinonen et al., 2012). No entanto, as análises são direcionadas para frangos de corte com menor peso e tempo de criação. O desempenho ambiental da cadeia de carne de frango pode ser avaliado com abordagem de ACV com foco nas seguintes categorias de impactos mais importantes: potencial de aquecimento global, potencial de acidificação, potencial de eutrofização e depleção de ozônio (Skunca et al., 2015).

As emissões ao longo da cadeia de fornecimento da pecuária mundial são estimadas em 7 gigatoneladas de CO₂-eq/ano, representando 14,5% de todas as emissões induzidas pelo homem (Gerber et al., 2013). A produção e processamento de ração, e a

fermentação entérica de ruminantes são as principais fontes de emissão do setor, representando 45% e 39% das emissões, o armazenamento e processamento de dejetos (CH₄ e N₂O) representam 10%, e o transporte e processamento de produtos de origem animal representa 6% das emissões totais do setor. Incluídos na produção de alimentos para animais, a mudança de uso da terra representa 9% das emissões do setor (Steinfeld et al., 2006; Gerber et al., 2013). As emissões associadas ao consumo de energia (direta ou indiretamente relacionadas ao combustível fóssil) estão principalmente relacionadas à produção de alimentos e à fabricação de fertilizantes. Quando somado ao longo das cadeias, o uso de energia contribui com cerca de 20% das emissões totais do setor (Steinfeld et al., 2006; Gerber et al., 2013).

Um dos fatores importantes na emissão de gases nas granjas de produção é o resíduo gerado a partir dos dejetos com a cama. A cama exerce uma função importante nesse aspecto, à qualidade da cama influencia no potencial de emissão dos gases. O substrato utilizado para a cama pode influenciar na taxa de emissão de gases, principalmente considerando o desequilíbrio entre temperatura, pH da cama, umidade da cama e a ventilação do ambiente de criação. Essas condições em altas taxas favorecem a atividade microbiana e conseqüentemente a formação e volatilização de gases (Siefert and Scudlark, 2008; Toghyani et al., 2010; Von Bobrutzki et al., 2011; Garcia et al., 2012).

A gestão ambiental dos elementos da cadeia produtiva de frangos de corte inclui avaliar o impacto ambiental com finalidade de melhorar o desempenho dos processos relacionados ao ciclo de vida do processo produtivo de frangos na granja. Portanto, a importância do gerenciamento ambiental da cadeia de suprimentos permite melhorar a sustentabilidade da indústria avícola (Pelletier, 2008). O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto ambiental do processo produtivo de frangos de corte usando a abordagem de ACV no sistema intensivo. Além disto, o trabalho visou identificar áreas-chave do processo de produção para contribuir nas medições e monitoramento do desempenho ambiental.

2. Material e Métodos

2.1. Descrições do sistema de produção

O estudo analisou a produção convencional de frango de corte na região do Centro-Oeste do Brasil. Os dados compreendem o período de um ano de produção de frangos de corte (abril de 2016 a março de 2017), considerando a média de seis granjas com seis ciclos produtivos anuais. A aplicação da avaliação do ciclo de vida (ACV) no processo

produtivo da cadeia avícola seguiu conforme a norma ISO 14040 e ISO 14044 (ISO, 2006a, 2006b; Guinée et al., 2001; Guinée et al., 2002).

2.2. Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A avaliação do ciclo de vida (AVC) obedeceu aos princípios de perspectiva do ciclo de vida, foco ambiental, abordagem relativa e unidade funcional. Todas as análises são relativas à unidade funcional, assim como todas as entradas e saídas no inventário do ciclo de vida (LCI) (Finkbeiner et al., 2006; ISO, 2006a, 2006b; Guinée, 2001). A metodologia de ACV consiste em quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação de resultados (ISSO, 2006a). Este procedimento refere-se à produção de um ano do sistema produtivo de frangos. Toda análise do processo produtivo foi dividida em duas fases principais e cada fase inclui diferentes subprocessos:

- 1) Produção de ração (alimentação das aves);
- 2) Produção de frango (criação das aves).

2.2.1. Definição do Escopo e Objetivo

O escopo da ACV foi analisar os impactos ambientais do processo produtivo no sistema de produção de frangos de corte e os elementos envolvidos nesse processo na cadeia avícola. Os objetivos específicos do presente estudo incluem quantificar os impactos ambientais da produção de frango quanto às emissões de gases de efeito estufa (GHG) e as categorias de impacto quanto ao uso de recursos. Fornecer dados consistentes para fins de comparação, com base no desempenho ambiental e eficiência da produção. O limite temporal do inventário foi desde o alojamento das aves até o portão da granja (*cradle-to-gate studies*, ISO 14040:2006a e ISO 14044:2006b) para obtenção de frangos para o abate, considerando os recursos para a atividade até a obtenção do produto final no local. A unidade funcional refere-se a “um quilograma de peso vivo” de frango, em produção intensiva, os resultados também são apresentados usando essa unidade (Figura 1).

O sistema de criação de frangos de corte analisado foi dividido em subsistemas dentro da cadeia de fornecimento: produção de ração e produção de frango, com seus respectivos inputs e outputs. Assim, os processos adotados neste estudo foram divididos em dois sistemas principais da cadeia avícola: Sistema I – corresponde à subfunção “transformar grãos em alimentação animal”, que inclui os processos de produção de ração para as aves; Sistema II – corresponde à subfunção “transformar ração em frangos”, que inclui os processos de produção de frangos vivos para o abate (do alojamento a fase de terminação).

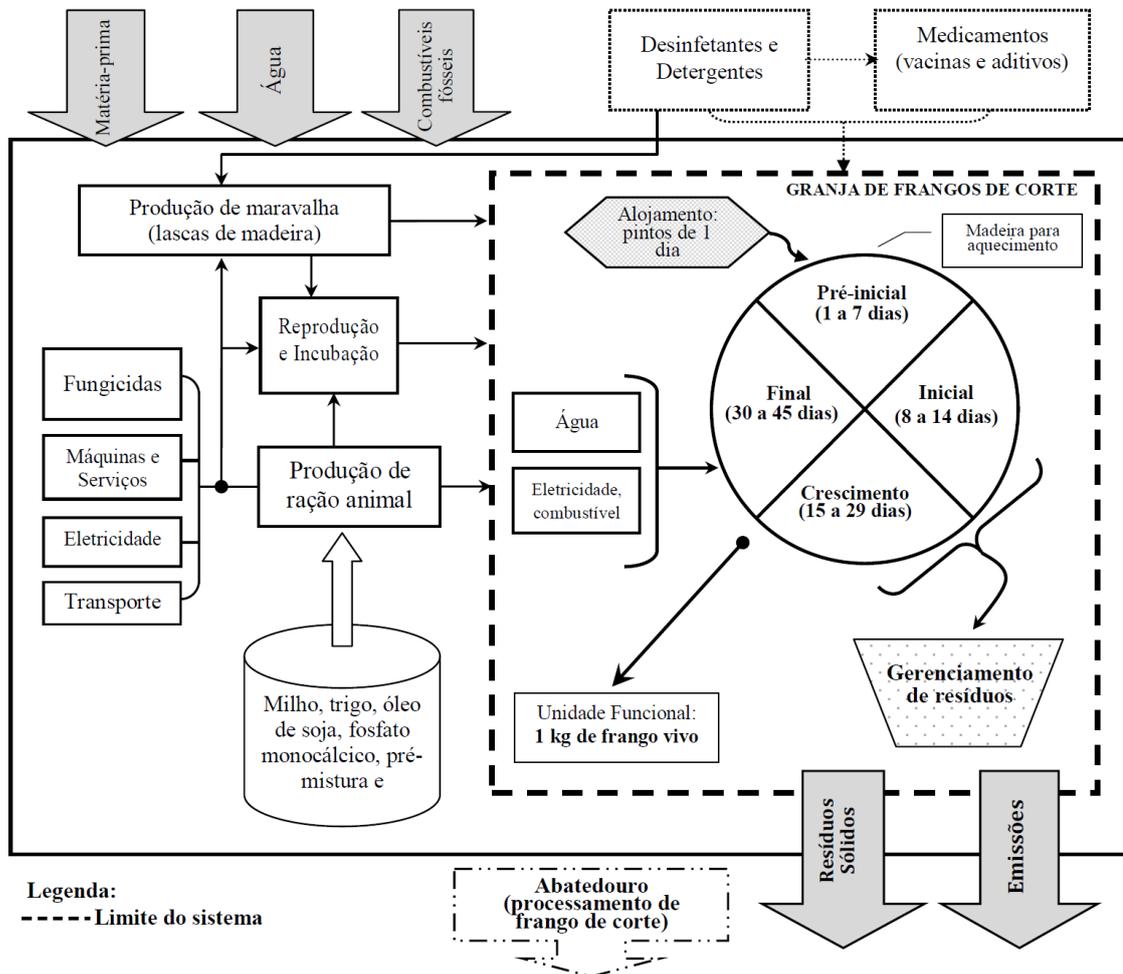


Figura 1. Limites e diagrama de fluxo do sistema de produção de frangos de corte.

Regras de corte/exclusão: o inventário não incluiu produtos de limpeza, produtos veterinários (medicamentos), produção de pintos de um dia (matrizes e incubação), incineração de carcaças de frango, abate e processamento de frangos, e todos os processos que ocorreram fora da granja. A infraestrutura de produção nas granjas, como edifícios, e maquinários, não foi incluída. A alocação do produto não foi considerada nesta avaliação.

Qualidade dos dados: os dados foram coletados no local do estudo de caso, nas granjas de frango dos produtores integrados. Dessa forma, foram determinados os valores para consumo de água, ração, energia, combustíveis, e resíduos sólidos gerados. Cada dado foi coletado somente uma vez no final de cada ciclo produtivo, e foram considerados os valores médios de cada insumo da produção de frangos, para elaboração do inventário. O escopo está limitado à aplicação da abordagem atual de avaliação da qualidade de dados através da Matriz de Qualidade de Dados ou Matriz Pedigree (Althaus et al., 2004), para um

estudo de caso realizado com produtores brasileiros de frangos de corte na região Centro-Oeste.

Matriz de Qualidade de Dados - Pedigree Matrix Uncertainty (Althaus et al., 2004; Frischknecht et al., 2007; Weidema et al., 2013; Muller et al., 2016; Wernet et al., 2016): Os indicadores de qualidade de dados foram expostos em uma Matriz de Qualidade de Dados, para descrever aspectos da qualidade dos dados que geram confiança no resultado do estudo, considerando os seguintes aspectos: os indicadores independentes às metas de qualidade, que são aqueles que independem da finalidade específica do estudo (confiança na fonte, completeza, número de amostras) e os indicadores dependentes relacionados à validade da produção e tecnologias na qual os dados foram produzidos que dependem das metas de qualidade de dados (correlação temporal, correlação geográfica, correlação tecnológica). Os seis indicadores de qualidade foram colocados em uma matriz de qualidade. Cada indicador recebe uma avaliação de 1 a 5, considerando 1 como a melhor pontuação de qualidade e 5 como a pior pontuação de qualidade. A partir dessas pontuações geradas foi atribuído a cada um dos seis indicadores de qualidade um fator de incerteza (grau de contribuição da incerteza acumulada em todos os indicadores) relacionado à pontuação do indicador. Esses fatores de incerteza são baseados na metodologia de Frischknecht et al. (2007), Ciroth et al. (2004; 2016) e Muller et al. (2016). Depois de encontrado os respectivos fatores de incerteza a partir da pontuação do indicador foram determinados o grau de incerteza (intervalo de confiança de 95% - SD_{g95}) calculado a partir da Equação 1 (Frischknecht et al., 2007; Weidema et al., 2013; Ciroth et al., 2016; Muller et al., 2016; Wernet et al., 2016).

$$SD_{g95} = \exp \sqrt{[\ln(U_1)]^2 + [\ln(U_2)]^2 + [\ln(U_3)]^2 + [\ln(U_4)]^2 + [\ln(U_5)]^2 + [\ln(U_6)]^2 + [\ln(U_b)]^2} \quad (1)$$

Onde:

SD_{g95} = Grau de incerteza com intervalo de confiança de 95%;

U_1 = fator de incerteza do indicador Confiança na fonte;

U_2 = fator de incerteza do indicador Completeza;

U_3 = fator de incerteza do indicador Número de amostras;

U_4 = fator de incerteza do indicador Correlação Temporal;

U_5 = fator de incerteza do indicador Correlação Geográfica;

U_6 = fator de incerteza do indicador Correlação Tecnológica;

U_b = fator de incerteza básico aplicado às entradas e saídas para os fluxos elementares.

A incerteza dentro do modelo relaciona-se à variabilidade natural nos dados de inventário e incertezas relacionadas às premissas feitas durante o processo de modelagem.

2.2.2. Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

O inventário do ciclo de vida incluiu todos os fluxos de entrada e saída dos subsistemas: produção de ração e produção de frangos, com finalidade de avaliar o impacto ambiental do produto no portão da granja. Os dados do ICV foram coletados usando questionários em entrevistas com produtores e gerente da empresa integradora. Os dados referem ao ano de 2016-2017, representando um ano de produção, com unidade funcional de 1 kg de frango vivo produzido. Os dados das granjas de produção de frangos de corte foram adquiridos em forma de questionários e relatórios de produção anual com os produtores e empresa integradora da região. As entradas e saídas relacionadas ao processo produtivo de frangos de corte foram identificadas e quantificadas incluindo regras de corte, que são exclusões de produtos veterinários/sanitários, processo de incubação, material de limpeza, material de construção, transporte de grãos no processamento da ração e todos os processos que ocorreram fora da granja, como abate e processamento. Os bancos de dados Ecoinvent v. 2.2 (Frischknecht et al., 2007) e Ecoinvent v. 3.3 (Muller et al., 2016; Wernet et al., 2016) foram aplicados para os seguintes insumos: ingredientes para ração, eletricidade, transporte, água. O software utilizado para o ICV foi o OpenLCA (v. 1.6) (GreenDelta, 2017). A Tabela 1 resume os dados de inventário dos insumos utilizados na produção de frangos de corte no portão da granja.

Tabela 1. Dados de inventário de ciclo de vida para granjas de produção de frangos de corte (unidade funcional: 1 kg de frango vivo produzido)

| <i>Inputs</i> | <i>Unidade</i> | <i>1 kg de frango vivo produzido</i> | | <i>Incerteza (SD_{g95})</i> |
|---------------------------------------|----------------|--------------------------------------|-----------|-------------------------------------|
| <i>Subsistema: Produção de ração</i> | | | | |
| Eletricidade | kWh | 0,036 | 3,60 E-02 | 1,06 |
| Diesel | L | 0,00019 | 1,90 E-04 | 1,06 |
| Uso de água | L | 0,16 | 1,60 E-01 | 1,06 |
| <i>Ingredientes</i> | | | | |
| Milho | kg | 1,273 | 1,27 E+03 | 1,06 |
| Farelo de soja | kg | 0,46 | 4,60 E-01 | 1,06 |
| Farinha de glúten de milho | kg | 0,086 | 8,60 E-02 | 1,06 |
| Óleo de soja | kg | 0,019 | 1,90 E-02 | 1,06 |
| Calcário | kg | 0,014 | 1,40 E-02 | 1,06 |
| Farinha de carne e ossos | kg | 0,011 | 1,10 E-02 | 1,06 |
| Bicarbonato de sódio | kg | 0,009 | 9,00 E-03 | 1,06 |
| L-lisina HCL | kg | 0,005 | 5,00 E-03 | 1,06 |
| Premix vitaminas | kg | 0,004 | 4,00 E-03 | 1,06 |
| DL-metionina | kg | 0,003 | 3,00 E-03 | 1,06 |
| Cloreto de sódio | kg | 0,002 | 2,00 E-03 | 1,06 |
| Premix minerais | kg | 0,002 | 2,00 E-03 | 1,06 |
| Enzimas | kg | 0,0001 | 1,00 E-04 | 1,06 |
| <i>Subsistema: Produção de Frango</i> | | | | |
| Pintos de um dia | kg | 0,052 | 5,20 E-02 | 1,06 |
| Ração de frangos | kg | 1,891 | 1,89 E+03 | 1,06 |
| <i>Energia</i> | | | | |
| Eletricidade, granja | kWh | 0,055 | 5,50 E-02 | 1,06 |
| Diesel, granja | L | 0,00036 | 3,60 E-04 | 1,06 |
| Gasolina, granja | L | 0,00022 | 2,20 E-04 | 1,06 |
| <i>Água</i> | | | | |
| Água, resfriamento | L | 0,25 | 2,50 E-01 | 1,06 |
| Água, bebedouro | L | 3,4 | 3,40 | 1,06 |
| <i>Transporte</i> | | | | |
| Transporte ração | tkm | 0,0000013 | 1,30 E-06 | 2,0 |
| Transporte pintos de um dia | tkm | 0,0000003 | 3,00 E-07 | 2,0 |
| <i>Madeira</i> | | | | |
| Maravalha - cama | kg | 0,003 | 3,00 E-03 | 1,06 |
| Lenha para aquecimento | kg | 0,0004 | 4,00 E-04 | 1,06 |

Pedigree Matrix Uncertainty – SD_{g95}. Incerteza da matriz de pedigree.

Produção de ração e criação dos frangos de corte: os ingredientes principais da ração como milho, farelo de soja, farelo de glúten de milho, óleo de soja, suplementos de minerais, vitaminas e aminoácidos foram utilizados na fabricação da alimentação dos frangos durante o período de produção (Tabela 1).

As características do sistema de criação analisado estão na Tabela 2. As granjas de frangos de corte estavam localizadas na região do Centro-Oeste do Brasil, fazem parte da cadeia de abastecimento de produção de frangos verticalmente integrada. A fábrica de ração estava localizada a uma distância média de 13 km das granjas. As instalações eram construídas com paredes duplas sólidas, fundações de concreto, sistema de distribuição de água e ração automáticos, ventilação de pressão negativa, sistema de iluminação misto (LED e fluorescente). O resfriamento evaporativo e o isolamento por parede dupla proporciona maior controle do microclima para maximizar o desempenho e conforto das aves. A área média de construção das instalações foi de 2.400 m². O ciclo produtivo foi de 60 dias (50 dias produção mais 10 dias de vazio sanitário) e seis ciclos de produção por ano. A densidade de aves foi de 13,6/m². O total médio de frangos produzidos por granja por ano foi de 956.830 e o total de frangos por ciclo por ano foi de 191.366. Foram utilizados frangos de corte das linhagens Cobb® e Hubbard® de ambos os sexos, com peso médio de alojamento de 45 gramas, com peso médio final de 2,841 kg, consumo de ração de 5,346 kg e com conversão alimentar de 1,89. As dietas convencionais foram formuladas de acordo com as recomendações das tabelas nutricionais de Rostagno et al., (2011) e eram fornecidas aos frangos por fases: pré-inicial (1-7 dias), inicial (8-21 dias), crescimento I (22-33 dias), crescimento II (34-42 dias) e final (43-50 dias).

Tabela 2. Principais características do sistema de criação

| Dados de produção | Unidade | Produção anual |
|-------------------------------|----------------------------|----------------|
| Idade média das aves no abate | dias | 50 |
| Ciclos de produção | número/ano | 6 |
| Densidade | ave/m ² | 13,6 |
| Aves produzidas por granja | aves/granja/ano | 956.830 |
| Aves produzidas por ciclo | aves/ciclo/ano | 191.366 |
| Peso vivo médio | kg/frango | 2,841 |
| Consumo de ração | kg/frango | 5,346 |
| Taxa de conversão de ração | kg ração/kg frango vivo | 1,89 |
| Taxa de Mortalidade | mortalidade (%)/ciclo | 3,8 |
| Área de construção | m ² /instalação | 2.400 |

Eletricidade: as granjas de produção de frangos utilizavam energia elétrica para o aquecimento, resfriamento, iluminação, equipamentos de distribuição de alimento e água.

Combustível: os combustíveis, diesel e gasolina foram utilizados no sistema de aquecimento nos aviários durante a fase inicial do crescimento das aves e no período de inverno e em equipamento de manejo de cama. As emissões por combustíveis foram calculadas.

Madeira (lenha e material de cama): a lenha foi utilizada como combustível para a geração de calor em fornalhas para aquecimento nas granjas. O material utilizado como cama nas granjas foi aparas de madeira (maravalha) que é a mais utilizada na região do estudo.

Transporte: o transporte de rações da fábrica até as granjas durante o processo produtivo foi realizado por caminhões. O transporte dos pintos de um dia do incubatório até as granjas no dia do alojamento foi realizado por caminhões. A unidade utilizada para transporte é de tonelada por quilometro (tkm). Os transportes que não foram incluídos: o transporte de grãos para produção de ração e o transporte de trabalhadores não foram incluídos no estudo, justificados pelo uso local de grãos e mão de obra, e por serem consideramos trajetos curtos para os cálculos do inventário nos dois subsistemas.

Sistemas de gerenciamento de dejetos (MMS): as emissões diretas e indiretas de óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4) ocorrem durante a produção e armazenamento de dejetos nas granjas e as emissões de N_2O ocorrem pelo processo de nitrificação de amônio em nitrato (Dong et al., 2006).

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes do sistema de gerenciamento de dejetos (MMS) foram calculados com os seguintes passos: o primeiro passo foi estimar a excreção, e mais especificamente a massa de sólidos voláteis (SV) e nitrogênio (N) excretados no dejetos. A excreção de SV e N do dejetos foram estimadas com dados coletados no local do estudo (dados de desempenho alimentar: consumo diário de ração e as propriedades da dieta). As emissões provenientes de manejo de resíduos resultam de dejetos durante a criação (metano: CH_4 e óxido nitroso: N_2O), armazenamento de dejetos (CH_4 e N_2O), aplicação de cama de frango (N_2O) e de fontes indiretas (por volatilização de amônia e lixiviação, escoamento de nitratos) (Brasil, 2010 a, 2010b; Dong et al., 2006; Brasil, 2014). As emissões provenientes do manejo de dejetos (Tabela 3) e resíduos foram estimadas de acordo com as diretrizes aprovadas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*; IPCC, 2006). O conjunto de dados sobre as emissões diretas e indiretas a partir do gerenciamento de dejetos foi calculado pelo Programa

Nacional de Inventários de Gases de Efeito Estufa do IPCC (*IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme*, IPCC Inventory Software v. 2.54, 2017).

Tabela 3. Emissões diretas e indiretas de N₂O e CH₄ a partir do gerenciamento de dejetos da produção de frangos de corte por 1 kg de peso vivo produzido

| Dados | Unidade | 1 kg de frango vivo produzido | | Incerteza (SD _{g95}) |
|---|---------------------|-------------------------------|-----------|--------------------------------|
| Excreção dejetos, Sólidos Voláteis | kg SV | 0,176 | 1,76 E-01 | 1,06 |
| Excreção total de N, MMS | kg N | 0,050 | 5,00 E-02 | 1,06 |
| Emissão de CH ₄ , MMS | kg CH ₄ | 0,00117 | 1,17 E-03 | 1,20 |
| Emissões diretas de N ₂ O, MMS | kg N ₂ O | 0,0001 | 1,00 E-04 | 1,40 |
| Emissões indiretas de N ₂ O, MMS | kg N ₂ O | 0,00032 | 3,20 E-04 | 1,40 |
| Emissões totais de N ₂ O | kg N ₂ O | 0,0004 | 4,00 E-04 | 1,40 |
| N _{volatilization-MMS} | kg N | 0,002 | 2,00 E-03 | 1,40 |
| N _{MMS_Avb} | kg N | 0,0016 | 1,60 E-03 | 1,40 |
| Emissão de CH ₄ , diesel | kg CH ₄ | 0,0000001 | 1,00 E-07 | 1,50 |
| Emissão de N ₂ O, diesel | kg N ₂ O | 0,000000012 | 1,20 E-08 | 1,50 |
| Emissão de CO ₂ , eletricidade | kg CO ₂ | 0,000094 | 9,40 E-05 | 1,06 |
| Emissão de CO ₂ , diesel | kg CO ₂ | 0,0000106 | 1,06 E-05 | 1,06 |
| Emissões de CO ₂ , energia total | kg CO ₂ | 0,000105 | 1,05 E-04 | 1,06 |

MMS: Sistemas de Gerenciamento de Dejeto. N_{volatilization-MMS} -. Quantidade de N no dejetos que é perdido devido à volatilização de NH₃ e NO_x. N_{MMS_Avb} -. Quantidade de nitrogênio do manejo de dejetos disponível para aplicação. Incerteza Pedigree matrix - SD_{g95}.

2.2.3. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) é o cálculo do impacto ambiental com base nos resultados de inventário (ISO, 2006a, 2006b). O objetivo foi avaliar a significância ambiental dos resultados do inventário por meio de modelos e fatores de caracterização contidos nos métodos de AICV (ISO, 2006a, 2006b; Roy et al., 2009). A unidade funcional considerada na ACV foi de 1 kg de frango vivo produzido. De acordo com a definição do escopo, o estudo de ACV foi realizado “do berço ao portão da granja”, incluindo as matérias-primas que envolvem apenas o processo produtivo do frango de corte. Não foram considerados: o transporte dos grãos para a fábrica de ração, o processo de incubação, o transporte dos trabalhadores, o transporte para o abatedouro, o abate e processamento de carcaças e a distribuição.

O método IPCC 2007 (IPCC, 2007) foi utilizado com objetivo de quantificar o Potencial de Aquecimento Global (PAG) e identificar as contribuições dos processos para PAG de frangos de corte. O PAG com um horizonte de tempo de 100 anos foi usado para converter N₂O e CH₄ em termos de CO₂-eq. Consequentemente, o potencial de aquecimento global 25 e 298 foram utilizados para CH₄ e N₂O, respectivamente. O método CML 2002 (*Institute of Environmental Sciences - Faculty of Science of Leiden University*) (Guinée, 2002; Jolliet et al., 2003) foi utilizado para as categorias de impacto: potencial de aquecimento global – mudanças climáticas, depleção de recursos abióticos - recursos minerais, depleção de recursos abióticos - recursos fósseis, depleção da camada de ozônio, eutrofização, acidificação, ecotoxicidade aquática de água doce, ecotoxicidade aquática marinha, ecotoxicidade terrestre, toxicidade humana, oxidação fotoquímica e uso da terra - competição. As categorias de impacto consideradas neste estudo estão listadas na Tabela 4, doze categorias de impacto ambiental foram consideradas de acordo com CML baseline v. 4.4. Os dados de primeiro plano (específicos do sistema de produção) e os de segundo plano (materiais gerais, energia, transporte e gerenciamento de resíduos) foram utilizados para análise de ACV. Os bancos de dados Ecoinvent v. 2.2 (Frischknecht et al., 2007) e Ecoinvent v. 3.3 (Wernet et al., 2016) foram aplicados para os seguintes insumos: ingredientes para ração, eletricidade, transporte, água. Os dados foram implementados com auxílio do software OpenLCA v. 1.6 (GreenDelta, 2017).

Tabela 4. Nomenclatura utilizada nas categorias de impacto e suas respectivas unidades

| Categorias de impacto | Unidade |
|--|----------------------------|
| Potencial de Aquecimento Global | kg CO ₂ -eq |
| Acidificação | kg SO ₂ -eq |
| Depleção de recursos abióticos - recursos minerais | kg antimony-eq |
| Depleção de recursos abióticos - recursos fósseis | MJ |
| Depleção da camada de ozônio | kg CFC-11-eq |
| Eutrofização | kg PO ₄ -eq |
| Ecotoxicidade aquática de água doce | kg 1,4- dichlorobenzene-eq |
| Ecotoxicidade aquática marinha | kg 1,4- dichlorobenzene-eq |
| Ecotoxicidade terrestre | kg 1,4- dichlorobenzene-eq |
| Toxicidade humana | kg 1,4- dichlorobenzene-eq |
| Oxidação fotoquímica | kg ethylene-eq |
| Uso da terra - competição | m ² a |

2.2.4. Interpretação do Ciclo de Vida

A interpretação dos resultados das fases de inventário e avaliação de impacto no ACV incidiu em conclusões e recomendações de acordo com o escopo e objetivo do estudo, correspondendo a fluxos de entrada e saída para a avaliação (Figura 2).

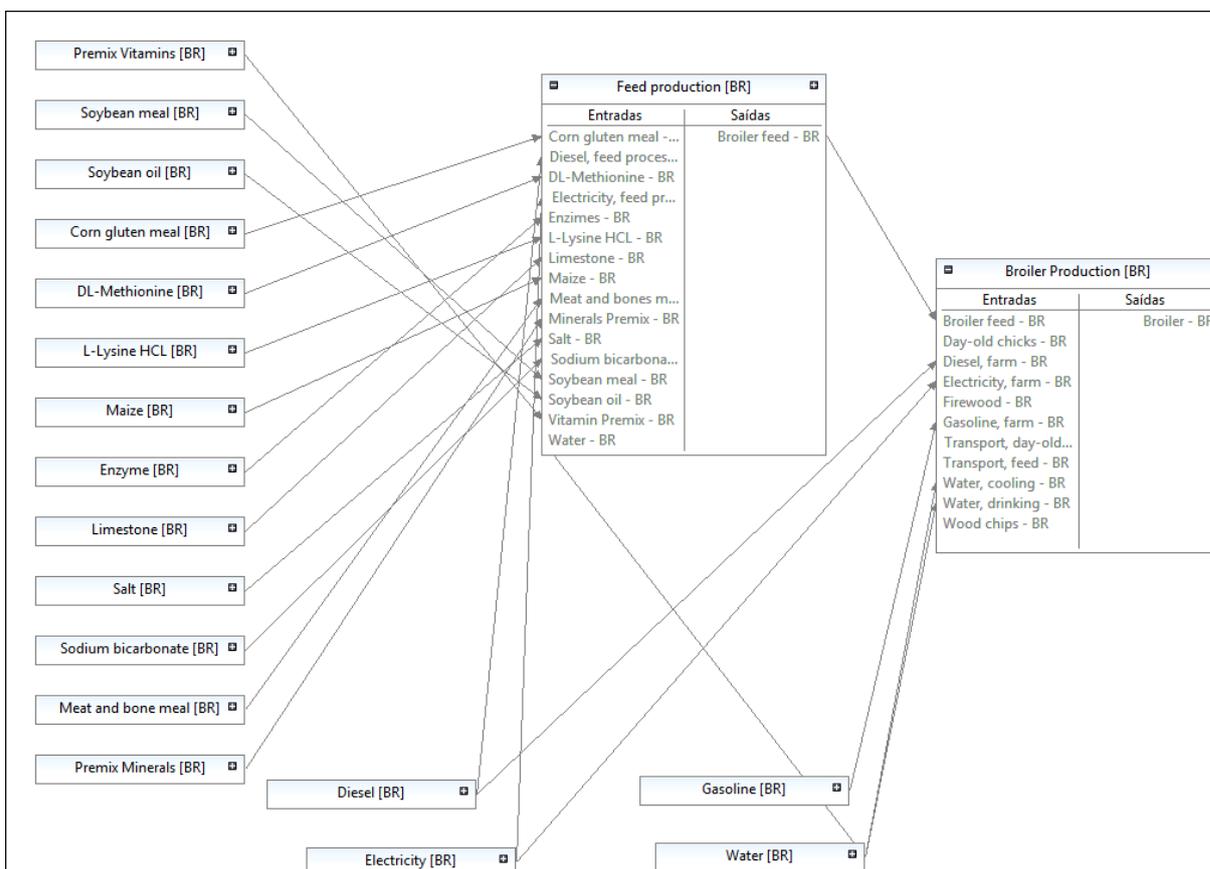


Figura 2. Esquema de entradas e saídas da ACV utilizando o software OpenLCA.

3. Resultados e Discussão

3.1. Contribuintes do gerenciamento de dejetos para o potencial de aquecimento global

As emissões totais de gases de efeito estufa (GEE), CH_4 e N_2O , provenientes do gerenciamento de dejetos nas granjas de frangos de corte totalizam 0,154 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ por kg de frango produzido, ou 154,0 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ por 1.000 kg de frangos vivos produzidos. As contribuições de CH_4 , N_2O direta e N_2O indireta para o PAG foram de 18,9%, 19,3% e 61,8% respectivamente. As emissões totais de N_2O , provenientes do gerenciamento de dejetos, contribuíram com percentual total de 81,1% das emissões totais na granja, principalmente emissão de N_2O de forma indireta (95 kg de $\text{CO}_2\text{-eq}$) seguida por emissão de N_2O na forma direta (30 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$) por 1.000 kg de peso vivo produzido. A emissão de CH_4 apresentou

valor similar (29 kg de CO₂-eq por 1.000 kg de frangos vivos produzidos) à emissão de N₂O direta (Tabela 5).

Tabela 5. Emissões de gases de efeito estufa e contribuições para o potencial de aquecimento global para a produção de frangos de corte a partir do gerenciamento de dejetos

| Emissões - MMS | Unidade | 1 kg de peso vivo* | 1.000 kg de peso vivo* | PAG (%) |
|---------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|---------|
| CH ₄ | kg CO ₂ -eq | 0,029 | 29,0 | 18,9 |
| N ₂ O direta | kg CO ₂ -eq | 0,030 | 30,0 | 19,3 |
| N ₂ O indireta | kg CO ₂ -eq | 0,095 | 95,0 | 61,8 |
| Total | kg CO ₂ -eq | 0,154 | 154,0 | 100,0 |

MMS: Sistemas de Gerenciamento de Dejeito. PAG: Potencial de Aquecimento Global. Os PAGs de 100 anos usados são 25 para CH₄ e 298 para N₂O. (IPCC, 2007). *1 kg de frango vivo produzido.

As emissões indiretas resultam de perdas de nitrogênio volátil que ocorrem principalmente nas formas de óxidos de nitrogênio e amônia (Asman et al., 1998). A emissão de N₂O durante o armazenamento e tratamento das excretas das aves ocorre através da combinação de desnitrificação-nitrificação de nitrogênio contida nos resíduos. As emissões surgem de vários pontos, mas com as maiores contribuições de óxido nitroso emitido no processo de criação e das emissões indiretas via volatilização de amônia. A quantidade de N₂O liberada depende do sistema e da duração do manejo de resíduos (IPCC, 2006).

Os principais fatores que contribuem para a emissão de CH₄ no processo produtivo de frangos de corte são a quantidade de excreta produzida por kg de peso vivo, que foi de 0,176 kg de sólidos voláteis (Tabela 3), e a porção que se decompõe anaerobicamente no fim de cada ciclo de produção quando a cama com a excreta é tratada para reutilização. O metano é produzido a partir da decomposição da excreta das aves em condições anaeróbias. O tipo de sistema de manejo de dejeito utilizado e o clima são os principais fatores que determinam a eficiência do tratamento da cama que normalmente é realizado em grandes pilhas dentro das instalações. O uso de eletricidade levou à emissão de CO₂ (9,40 E-05 kg CO₂) quase nove vezes maior em relação ao uso de diesel (1,06 E-05 kg CO₂). As emissões de CH₄ (1,00 E-07 kg CH₄) e N₂O (1,20 E-08 kg N₂O) a partir do uso de diesel apresentaram valores similares. A quantidade de N no dejeito que é perdido devido à volatilização de NH₃ e NO_x também apresentou valor similar à quantidade de nitrogênio do gerenciamento de dejeito disponível para aplicação (adubação do solo, por exemplo).

Os resíduos da produção de frangos podem ser tratados por compostagem para fertilizante de cultivo, e isso é aplicado a taxas adequadas e com métodos que minimizam a

lixiviação de nutrientes. Este ciclo de nutrientes diminui a dependência da produção de fertilizantes sintéticos e é mais eficiente quando a produção animal e agrícola é combinada localmente (Kelleher et al., 2002). Outra forma de aproveitamento dos resíduos gerados no processo de produção de frangos é a biomassa de combustível (Lynch et al., 2013; Dalólio et al., 2017). A produção de eletricidade a partir desses resíduos poderia reduzir emissões da combustão de combustíveis fósseis, resultando em um impacto ambiental menor de gases de efeito estufa (Billen et al., 2015). Além disso, como excretas de frangos contém uma grande quantidade de nitrogênio, e devido aos processos de nitrificação e desnitrificação (Von Bobrutzki et al., 2011), a disposição do resíduos das granjas como fertilizante produziria emissões maiores de NH_3 , N_2O e NO_x do que a combustão do material para geração de energia (Billen et al., 2015).

As potenciais consequências associadas ao excesso de concentrações baseadas em nitrogênio, componente principal dos resíduos das granjas (formas oxidadas e reduzidas de N), são contaminação da água potável por nitratos; eutrofização de corpos d'água superficiais, mudanças no ecossistema, mudanças climáticas associadas ao aumento de N_2O , saturação de N nos solos, e acidificação do solo via nitrificação e lixiviação (Edwards e Daniel, 1992; Rotz, 2004; Leinonen e Kyriazakis, 2016).

3.2. Impacto ambiental do processo produtivo de frangos de corte

Os impactos ambientais do processo produtivo de frangos de corte no portão da granja (produção de ração e criação das aves) por kg de peso vivo produzido são mostrados na Tabela 6. O resultado do potencial de aquecimento global total para o processo de produtivo de frangos de corte (subsistema: produção de ração; subsistema: criação das aves) foi de 2,70 kg de $\text{CO}_2\text{-eq}$ por kg de frango vivo produzido no portão da granja. A criação das aves foi o subsistema com maior contribuição no aquecimento global com 1,95 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ por kg de frango vivo produzido, concordando com os resultados de vários autores (Pelletier, 2008; Boggia et al., 2010; Da Silva et al., 2012; Leinonen et al., 2012; Bengtsson e Seddon, 2013; González-García et al., 2014). Para estes autores, a criação dos frangos e a produção de ração são os segmentos que mais contribuem para as principais categorias de impacto ambiental no sistema de produção de frangos de corte.

Tabela 6. Impacto ambiental do processo produtivo de frangos de corte por 1 kg de peso vivo produzido

| Categoria de impacto | Unidade | Produção de | Produção de | Total |
|--|------------------------|-------------|-------------|-----------|
| | | Ração | frango | |
| | | 1 kg FV | 1 kg FV | |
| Potencial de Aquecimento Global* | kg CO ₂ -eq | 0,75 | 1,95 | 2,70 |
| Acidificação | kg SO ₂ -eq | 0,02 | 0,02 | 0,04 |
| Depleção de recursos abióticos - recursos minerais | kg ant.-eq | 5,1 E-08 | 3,5 E-08 | 8,6 E-8 |
| Depleção de recursos abióticos - recursos fósseis | MJ | 0,143 | 0,011 | 0,154 |
| Depleção da camada de ozônio | kg CFC-11-eq | 1,6 E-11 | 9,4 E-10 | 9,6 E-10 |
| Eutrofização | kg PO ₄ -eq | 1,20 E-02 | 1,40 E-02 | 2,60 E-02 |
| Ecotoxicidade aquática de água doce | kg 1,4-DCB-eq | 1,72 | 1,72 | 3,44 |
| Ecotoxicidade aquática marinha | kg 1,4-DCB-eq | 45,53 | 54,91 | 100,44 |
| Ecotoxicidade terrestre | kg 1,4-DCB-eq | 0,40 | 0,40 | 0,80 |
| Toxicidade humana | kg 1,4-DCB-eq | 0,537 | 0,542 | 1,079 |
| Oxidação fotoquímica | kg ethylene-eq | 6,65 E-04 | 6,74 E-04 | 1,34 E-03 |
| Uso da terra | m ² a | 1,4 E-03 | 1,5 E-03 | 2,9 E-03 |

Método: CML v4.4. *IPCC 2007. FV = frango vivo.

O potencial de aquecimento global da fase de produção de frangos de corte foi de 2,70 kg CO₂-eq por kg de frango vivo produzido, este resultado foi menor que o valor encontrado por Cesari et al. (2017) de 3,03 a 3,25 kg CO₂-eq por kg de peso vivo produzido. No entanto, o estudo de Da Silva et al. (2014) apresentou valor menor para o sistema de produção convencional francês (2,22 kg CO₂-eq por kg de peso vivo), similar para o sistema Label Rouge francês (2,70 kg CO₂-eq por kg de peso vivo), maior que o sistema de produção convencional brasileiro da região Centro-Oeste (2,06 kg CO₂-eq por kg de peso vivo) e do sistema convencional brasileiro da região Sul (1,45 kg CO₂-eq por kg de peso vivo). Considerando o valor de aquecimento global encontrado por Da Silva et al. (2014), somente para região Centro-Oeste, o resultado do presente estudo foi maior para a mesma região de avaliação. Isto pode ser explicado pelo nível de tecnificação das instalações que demandam mais energia para o processo produtivo e pela idade média de abate das aves que foi de 50 dias comparada à idade de 42 dias do estudo anterior. No entanto, para os sistemas e impactos estudados, a escala de produção não afetou o impacto ambiental, mas sim a intensidade de

produção, o sistema extensivo Label Rouge francês apresentou o maior impacto entre as categorias estudadas. Isto resultou principalmente da alta taxa de conversão alimentar do sistema extensivo (Da Silva et al., 2014). De acordo com outros estudos, o potencial de aquecimento global variou de 1,39 a 6,83 kg CO₂-eq por kg de peso vivo (Baumgartner et al., 2008; Pelletier, 2008; Bengtsson e Seddon, 2013; González-Garcia et al., 2014; Kalhor et al., 2016; Cesari et al., 2017; Pishgar-Komleh et al., 2017; Skunca et al., 2018).

A acidificação, eutrofização (2,60 E-02 kg PO₄-eq) e depleção da cama de ozônio (9,6 E-10 kg CFC-11-eq) apresentaram valores de impactos similares para as duas fases do ciclo de vida, e mesmo considerando o total de cada categoria de impacto, a contribuição foi menor que o relatado por Pelletier (2008). A partir da avaliação de desempenho ambiental da cadeia avícola americana Pelletier (2008) mostrou que a produção de ração representou 82% das emissões de gases de efeito estufa, 98% das emissões na categoria de depleção da camada de ozônio, 96% das emissões acidificantes e na categoria de eutrofização associadas à produção de frangos de corte foi de 97% (Pelletier, 2008). Skunca et al. (2018) também apresentaram resultado maior para acidificação (0,056 kg SO₂-eq) na fase de produção de frangos.

Para os potenciais de acidificação, eutrofização, ecotoxicidade terrestre e uso da terra encontrados por Da Silva et al. (2014) para os sistemas produtivos franceses, convencional (0,0287 kg SO₂-eq; 0,0138 kg PO₄³⁻-eq; 0,006 kg 1,4-DCB-eq e 2,68 m²a, respectivamente) e o extensivo Label Rouge (0,0472 kg SO₂-eq; 0,0193 kg PO₄³⁻-eq; 0,009 kg 1,4-DCB-eq e 3,9 m²a, respectivamente), e para os sistemas de produção brasileiros convencionais da região Centro-Oeste (0,0314 kg SO₂-eq; 0,014 kg PO₄³⁻-eq; 0,006 kg 1,4-DCB-eq e 2,51 m²a, respectivamente) e da região Sul (0,0345 kg SO₂-eq; 0,0144 kg PO₄³⁻-eq; 0,007 kg 1,4-DCB-eq e 2,47 m²a, respectivamente), os resultados foram similares quanto as categorias de acidificação e eutrofização, para o uso da terra foi maior e a ecotoxicidade terrestre foi relativamente menor em relação a este estudo que apresentou total de 0,80 kg 1,4-DCB-eq por kg de frango vivo produzido. A ecotoxicidade terrestre (0,80 kg 1,4-DCB-eq), a acidificação (0,040 kg SO₂-eq) e a eutrofização (0,026 kg PO₄-eq) deste estudo foram maiores do que os mostrados por Cesari et al. (2017), que relataram valores médios de 0,005 kg 1,4-DCB-eq, 0,016 kg SO₂-eq e de 0,011 kg PO₄-eq por kg de frango vivo, respectivamente. Segundo Leinonen et al. (2012), o gerenciamento de dejetos foi o principal componente do potencial de acidificação e com potencial de eutrofização que são similares aos resultados encontrados por este estudo.

A depleção de recursos abióticos - recursos minerais ($5,1 \text{ E-8 kg ant.-eq}$) e a depleção de recursos abióticos - recursos fósseis ($1,43 \text{ E-01 MJ}$) apresentaram valores maiores para a fase de produção de ração, por kg de frango vivo produzido. Esses resultados são devido ao uso de energia, combustíveis fósseis e elementos minerais no processamento da alimentação das aves. E pelo nível de tecnificação do sistema de criação, que consequentemente apresenta maior eficiência produtiva em função também dessa tecnificação gerando volumes de produção anual maior que de outros sistemas com menor nível de automação. No entanto, a ecotoxicidade aquática de água doce, a toxicidade humana, a oxidação fotoquímica e o uso da terra apresentaram valores similares para produção de ração e criação de frangos. De acordo com os resultados de Boggia et al. (2010), a categoria que mais sofreu impacto foi a do uso da terra, seguida pelos inorgânicos respiratórios e combustíveis fósseis, com maior grau de influência da fase de produção de ração do que a fase de criação das aves.

De acordo com os resultados obtidos por Boggia et al. (2010), ao comparar o impacto ambiental de três diferentes sistemas de produção avícola (convencionais, orgânicos e orgânico-plus) da Itália Central, em termos de valores, o sistema orgânico-plus apresentou os maiores valores de uso da terra ($8,96 \text{ E-3}$) e respiratório inorgânico ($1,38 \text{ E-3}$). Os sistemas convencional e orgânico-plus apresentaram valores similares para combustíveis fósseis ($2,01 \text{ E-3}$ e $2,07 \text{ E-3}$, respectivamente) e que foram maiores que nos sistemas orgânicos, e comparados a este estudo foi relativamente menor ($1,54 \text{ E-01 MJ}$ por kg de frango vivo produzido). Os valores mais altos para carcinógenos e mudanças climáticas foram mostrados no sistema convencional, e os valores mais baixos no sistema orgânico. No entanto, o sistema convencional apresentou os menores valores para compostos orgânicos respiratórios ($7,01 \text{ E-08}$), camada de ozônio ($5,80 \text{ E-09}$) e minerais ($4,71 \text{ E-06}$). No geral, os resultados mostraram que o sistema orgânico tem um melhor desempenho ambiental, pois apresentou valores mais baixos para as categorias de inorgânicos respiratórios e combustíveis fósseis, entre outros como acidificação e eutrofização. Neste estudo, a depleção da camada de ozônio ($9,6 \text{ E-10 kg CFC-11-eq}$ por kg de frango vivo produzido) foi relativamente menor que o encontrado por Boggia et al. (2010).

Considerando os sistemas orgânicos, que utilizam aves de crescimento lento, dependem de maior área de produção, tanto para a fase de produção de grãos (milho) quanto para a fase de criação animal, e maior disponibilidade de pasto. Esse sistema apresenta características de uma produção com maior nível de bem-estar animal e a qualidade de carne (Castellini et al., 2008; Martinez-Perez et al., 2017). No entanto, avaliando a baixa eficiência

produtiva (ciclos de produção longa, taxa de conversão alimentar alta, menor número de animais produzidos por área, mortalidade maior do que nos sistemas convencionais) pode refletir negativamente na viabilidade econômica e, conseqüentemente, no impacto ambiental (Martinez-Perez et al., 2017), pois consome mais recursos para produzir menos carne.

Segundo Kalhor et al. (2016), as aves criadas em granjas que usam sistema de ventilação túnel (instalações mais tecnificadas) tem melhor índice de conversão alimentar, isto significa que afeta o consumo de ração e conseqüentemente a quantidade de excreção de sólidos voláteis. Além disso, a diminuição no consumo de ração por kg de frango produzido está diretamente relacionada à redução dos encargos ambientais. Neste estudo, a taxa de conversão alimenta foi de 1,89, indicando que para 1 kg de frango produzido foi consumido 1,890 kg de ração. Diante disso, é importante obter melhores índices de conversão, visando reduzir o impacto ambiental por meio de eficiência alimentar que por conseqüência gerar menor volume de excretas ou resíduos de produção e menor tempo para o abate (MacLeod et al., 2013; Tallentire et al., 2017).

Os resultados encontrados por González-García et al. (2014), com objetivo de identificar os hotspots ambientais da produção até o abate da cadeia avícola portuguesa, mostraram que a fase de criação das aves e a produção de ração foram os principais hotspots ambientais. No mesmo estudo, a carne de frango foi comparada à carne de suína, bovina e sardinha (unidade funcional com base no teor de proteínas), os resultados mostraram que a produção de frangos de corte pode ser preferível em relação a outros tipos de carne, devido ao seu potencial de aquecimento global baixo. Segundo outros estudos (De Vries e De Boer, 2010; Nijdam et al., 2012), a carne de frango é a proteína com menor impacto ambiental, seguida da carne suína, e a bovina que apresenta maior impacto na produção de 1kg de proteína nas categorias de aquecimento global, uso de energia e uso da terra. Nijdam et al. (2012), concluíram que, em geral, nos ciclos de vida, a fase de criação (fazenda, granja) tem importância significativa; fontes vegetais, produtos avícolas e certos frutos do mar têm pegadas de baixo carbono; e que a carne de ruminantes e alguns tipos de frutos do mar possuem altas pegadas de carbono. Diante disto, a carne de frango é a proteína que melhor atende a demanda por produto de origem animal com baixo carbono, de ciclo curto, alta eficiência produtiva e economicamente viável, o que poderia garantir maior subsistência de proteína animal no mundo com população crescente. De acordo com Skunca et al. (2018), a produção de carne de frango está entre as cadeias alimentares predominantes, uma vez que as aves liderarão o consumo mundial de carne no futuro.

4. Conclusões

A emissão de N₂O indireta a partir do gerenciamento de dejetos é o principal contribuinte para o potencial de aquecimento global no processo produtivo de frangos de corte no sistema intensivo de produção. Consequentemente a criação de frangos foi a fase do ciclo de vida que mais contribuiu para o potencial de aquecimento global e ecotoxicidade aquática marinha.

Os valores de impactos mais baixos foram nas categorias acidificação, depleção de recursos abióticos - recursos minerais, depleção de recursos abióticos - recursos fósseis, depleção da camada de ozônio, eutrofização, oxidação fotoquímica e uso da terra, que contribuíram com menos intensidade.

A depleção de recursos abióticos - recursos minerais, e a depleção de recursos abióticos - recursos fósseis são mais afetados pela fase de produção de alimentação das aves. O potencial de aquecimento global, ecotoxicidade aquática de água doce, ecotoxicidade aquática marinha, ecotoxicidade terrestre e toxicidade humana são as categorias de impacto que mais contribuíram para o impacto total.

A categoria ecotoxicidade aquática marinha e o potencial de aquecimento global são as categorias mais impactantes, essas categorias são influenciadas principalmente pela fase de criação das aves durante o processo produtivo.

Referências

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal, 2018. Relatório Anual 2018: Produção Brasileira de Carne de Frango e Consumo per capita. Relatório Anual, 31-32. Acesso em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>. Acesso em: 28 de jan. de 2019.

Althaus, H., Doka, G., Dones, R., Heck, T., Hellweg, S., Hischier, R., Nemecek, T., Rebitzer, G., Spielmann, M., 2004. Ecoinvent Report N° 1: Overview and Methodology. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004.

Andersson, K., Ohlsson, T., Olsson, P., 1994. Life cycle assessment (LCA) of food products and production systems. Trends Food. Sci. Tech. 5, 134-138. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(94\)90118-X](https://doi.org/10.1016/0924-2244(94)90118-X)

Asman, W.A., Sutton, M.A., Schjørring, J. K. 1998. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. *The New Phytologist*, 139(1): 27-48. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1998.00180.x>.

Baumgartner, D.U., De Baan, L., Nemecek, T., 2008. European grain legumes–Environment-friendly animal feed. Life cycle assessment of pork, chicken meat, egg and milk production. Grain Legumes Integrated Project. Report, Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Zürich.

Baxevanou, C., Fidaros, D., Bartzanas, T., Kittas, C., 2017. Energy consumption and energy saving measures in poultry. *Energy Environ. Eng.* 5, 29-36. Doi: 10.13189/eee.2017.050201

Bengtsson, J., Seddon, J., 2013. Cradle to retailer or quick service restaurant gate life cycle assessment of chicken products in Australia. *J. Clean. Prod.* 41, 291-300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.034>

Billen, P., Costa, J., Van der Aa, L., Van Caneghem, J., Vandecasteele, C., 2015. Electricity from poultry manure: a cleaner alternative to direct land application. *J. Clean. Prod.* 96, 467-475. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.016>

Boggia, A.; Paolotti, L.; Castellini, C. Environmental impact evaluation of conventional, organic and organic-plus poultry production systems using life cycle assessment. *World's Poultry Science Journal*, 66(1), 95-114, 2010. 10.1017/S0043933910000103.

Brazil. MCTI. Emissões de Óxido Nitroso de Solos Agrícolas e de Manejo de Dejetos. Relatórios de Referência: Agricultura. 2º Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília, DF: MCTI, 2010a.

Brazil. MCTI. Emissões de Metano por Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos de Animais. Relatórios de Referência: Agricultura. 2º Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília, DF: MCTI, 2010b.

Brazil. MCTI. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 2. ed. Brasília: Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento – SEPED, 2014.

Castellini, C., Boggia, A., Cortina, C., Dal Bosco, A., Paolotti, L., Novelli, E., Mugnai, C., 2012. A multicriteria approach for measuring the sustainability of different poultry production systems. *J. Clean. Prod.* 37, 192-201. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.006>.

Castellini, C., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Martino, G., 2008. Qualitative attributes and consumer perception of organic and free-range poultry meat. *World's Poultry Science Journal*, 64(4), 500-512. <https://doi.org/10.1017/S0043933908000172>

Cesari, V., Zucali, M., Sandrucci, A., Tamburini, A., Bava, L., Toschi, I., 2017. Environmental impact assessment of an Italian vertically integrated broiler system through a Life Cycle approach. *J. Clean. Prod.* 143, 904-911. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.030>

Ciroth, A., Muller, S., Weidema, B., Lesage, P., 2016. Empirically based uncertainty factors for the pedigree matrix in Ecoinvent. *Int. J. Life Cycle Assess.* 21, 1338-1348. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0670-5>

Ciroth A., Fleischer G., Steinbach J., 2004. Uncertainty calculation in life cycle assessments. *Int J Life Cycle Assess*, 9(4), 216-226. <https://doi.org/10.1007/BF02978597>

Da Silva, V.P., van der Werf, H.M., Soares, S.R., Corson, M.S., 2014. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach. *J. Environ. Manage*, 133, 222-231. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.011>

Dalólio, F.S., da Silva, J.N., de Oliveira, A.C.C., Tinôco, I.D.F.F., Barbosa, R.C., de Oliveira Resende, M., Coelho, S.T., 2017. Poultry litter as biomass energy: A review and future perspectives. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 76, 941-949. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.104>

Daniel, C.R., Cross, A.J., Koebnick, C., Sinha, R., 2011. Trends in meat consumption in the USA. *Public Health Nutrition*. 14, 575-583. <https://doi.org/10.1017/S1368980010002077>

De Vries, M., de Boer, I.J.M., 2010. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livest. Sci.* 128, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.11.007>.

Dong, H., Mangino, J., McAllister, T.A., Hatfield, J.L., Johnson, D.E., Lassey, K.R., Aparecida de Lima, M., Romanovskaya, A., Bartram, D., Gibb, D.J., Martin, J.H.J., 2006. Emissions from livestock and manure management. In: Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan.

Dunkley, C.S., Fairchild, B.D., Ritz, C.W., Kiepper, B.H., Lacy, M.P., 2015. Carbon footprint of poultry production farms in South Georgia: A case study. *J Appl Poultry Res.* 24, 73-79. <https://doi.org/10.3382/japr/pfu005>

Edwards, D.R., Daniel, T.C. 1992. Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal - A review. *Bioresource Technol.* 41, 9-33. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(92\)90094-E](https://doi.org/10.1016/0960-8524(92)90094-E)

Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R., Christiansen, K., Klüppel, H.J., 2006. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *Int. J. Life Cycle Assessment.* 11, 80-85. <https://doi.org/10.1065/lca2006.02.002>

Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., Suh, S., 2009. Recent developments in life cycle assessment. *J. Environ. Manage.* 91, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>

Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Heck T., Hellweg S., Hischier R., Nemecek T., Rebitzer G., Spielmann M., Wernet G., 2007. Overview and Methodology. Data v2.0, Ecoinvent report No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007.

Garcia, R.G., Almeida Paz, I.C.L., Caldara, F.R., Nääs, I.A., Pereira, D.F., Ferreira, V.M.O.S., 2012. Selecting the most adequate bedding material for broiler production in Brazil. *Braz. J. Poult. Sci.* 14, 121-127. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2010000300005>

Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G., 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

González-García, S., Gomez-Fernández, Z., Dias, A.C., Feijoo, G., Moreira, M.T., Arroja, L., 2014. Life Cycle Assessment of broiler chicken production: a Portuguese case study. *J. Clean. Prod.* 74, 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.067>

GreenDelta - OpenLCA software. Life Cycle Assessment studies. Version 1.6. Berlin, Germany: GreenDelta, 2017. Disponível em: <http://www.openlca.org/>. Acesso em: 30 set. 2017.

Guinée, J., 2001. Handbook on life cycle assessment - operational guide to the ISO standards. *Int. J. Life Cycle.* 6, 255-255.

Guinée, J.B., Gorrié, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H., Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M.A.J., 2002. Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006. (Intergovernmental Panel on Climate Change), IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC Secretariat, Geneva.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. Climate Change: The physical science basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds), Cambridge University Press, Cambridge and New York.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013. Climate Change: the Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014. Climate Change: impacts, adaptation, and vulnerability. part A: global and sectoral aspects. C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J., Mach, M.D., Mastrandrea, T.E., Bilir, M., Chatterjee, K.L., Ebi, Y.O., Estrada, R.C., Genova, B., Girma, E.S., Kissel, A.N., Levy, S., MacCracken, P.R., Mastrandrea, L.L. White (Eds.), Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (2014), p. 1132.

IPCC Inventory Software: IPCC Task Force on National Greenhouse Gas Inventories. Version 2.54. Hayama, Japan: IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2017. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html>. Acesso em: 30 set. 2017.

ISO (International Standards Organization). 2006a International Standard ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. Geneva.

ISO (International Standards Organization). 2006b International standard ISO 14044: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. Geneva.

Jaspers, F., van den Ende, J., 2006. The organizational form of vertical relationships: Dimensions of integration. *Ind. Market. Manag.* 35, 819-828. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2006.06.016>

Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., Rosenbaum, R., 2003. IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology. *Int. J. Life Cycle.* 8, 324. <https://doi.org/10.1007/BF02978505>

Kalhor, T., Rajabipour, A., Akram, A., Sharifi, M., 2016. Environmental impact assessment of chicken meat production using life cycle assessment. *Information Processing in Agriculture.* 3, 262-271. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.10.002>

Kelleher, B.P., Leahy, J.J., Henihan, A.M., O'dwyer, T.F., Sutton, D., Leahy, M.J., 2002. Advances in poultry litter disposal technology – a review. *Bioresource Technol.* 83, 27-36. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00133-X)

Kic, P., 2016. Microclimatic conditions in the poultry houses. *Agronomy Research.* 14, 82-90.

Leinonen, I., Williams, A.G., Wiseman, I.J., Guy, J., Kyriazakis, I., 2012. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: broiler production systems. *Poult. Sci.* 91, 8-25. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.2011-01634>

Leinonen, I., Kyriazakis, I., 2016. How can we improve the environmental sustainability of poultry production?. *P. Nutr. Soc.* 75, 265-273. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000094>

Lynch, D., Henihan, A.M., Bowen, B., Lynch, D., McDonnell, K., Kwapinski, W., Leahy, J.J., 2013. Utilisation of poultry litter as an energy feedstock. *Biomass. Bioenerg.* 49, 197-204. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.12.009>

MacLeod, M., Gerber, P., Mottet, A., Tempio, G., Falcucci, A., Opio, C., Vellinga, T., Henderson, B., Steinfeld, H., 2013. Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains – A global life cycle assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

Martinez-Perez, M., Sarmiento-Franco, L., Santos-Ricalde, R.H., Sandoval-Castro, C.A., 2017. Poultry meat production in free-range systems: perspectives for tropical areas. *World's Poultry Science Journal*, 73(2), 309-320. <https://doi.org/10.1017/S0043933917000034>.

Miele, M., 1999. Short circuits: new trends in the consumption of food and the changing status of meat. *Int. Plan. Stud.* 4, 373-387. <https://doi.org/10.1080/13563479908721748>

Muller, S., Lesage, P., Citroth, A., Mutel, C., Weidema, B. P., Samson, R., 2016. The application of the pedigree approach to the distributions foreseen in Ecoinvent v3. *Int. J. Life Cycle Assessment*. 21(9), 1327-1337. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0759-5>

Nääs, I., Mollo Neto, M., Canuto, S., Waker, R., Oliveira, D., Vendrametto, O., 2015. Brazilian chicken meat production chain: a 10-year overview. *Braz. J. Poult. Sci.* 17, 87-94. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-635x170187-94>

Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M.S., Bernabucci, U., 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.* 130, 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>

Nijdam, D., Rood, T., Westhoek, H., 2012. The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food policy*, 37(6), 760-770. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.08.002>

Nobre, C.A., 2010. Mudanças climáticas e o Brasil - Contextualização. Parcerias estratégicas. 13, 07-18.

Patricio, I.S., Mendes, A.A., Ramos, A.A., Pereira, D.F., 2012. Overview on the performance of Brazilian broilers (1990 to 2009). *Braz. J. Poult. Sci.* 14, 233-238. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2012000400001>

Pelletier, N., 2008. Environmental performance in the US broiler poultry sector: Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions. *Agr. Syst.* 98, 67-73. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2008.03.007>

Pishgar-Komleh, S.H., Akram, A., Keyhani, A., van Zelm, R., 2017. Life cycle energy use, costs, and greenhouse gas emission of broiler farms in different production systems in Iran - a case study of Alborz province. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 16041-16049. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9255-3>

Rojas-Downing, M.M., Nejadhashemi, A.P., Harrigan, T., Woznicki, S.A., 2017. Climate change and livestock: impacts, adaptation, and mitigation. *Clim. Risk. Manag.* 16, 145-163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>

Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Donzele, J.L., Gomes, P.C., De Oliveira, R.F., Lopes, D.C., Ferreira, A.S., Barreto, S.L.T., Euclides, R., 2011. Tabelas brasileiras para suínos e aves: composição de alimentos e exigências nutricionais (HS Rostagno, Ed.). 3 ed. UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Rotz, C.A., 2004. Management to reduce nitrogen losses in animal production. *J Anim. Sci.* 82, 119-137. 10.2527/2004.8213_supplE119x

Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., Shiina, T., 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *J. Food. Eng.* 90, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>

Siefert, R.L. and Scudlark, J.R., 2008. Determination of ammonia emission rates from a tunnel ventilated chicken house using passive samplers and a Gaussian dispersion model. *J. Atmos. Chem.* 59, 99-115. <https://doi.org/10.1007/s10874-007-9082-x>

Skunca, D., Tomasevic, I., Djekic, I., 2015. Environmental performance of the poultry meat chain – LCA approach. *Proc. Food. Sci.* 5, 258-261. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.074>

Skunca, D., Tomasevic, I., Nastasijevic, I., Tomovic, V., Djekic, I., 2018. Life cycle assessment of the chicken meat chain. *Journal of Cleaner Production*, 184, 440-450. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.274>

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 2006.

Tallentire, C.W., Mackenzie, S.G., Kyriazakis, I., 2017. Environmental impact trade-offs in diet formulation for broiler production systems in the UK and USA. *Agricultural Systems*, 154, 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.03.018>

Toghyani, M., Gheisari, A., Modaresi, M., Tabeidian S.A., Toghyani, M., 2010. Effect of different litter material on performance and behavior of broiler chickens. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 122, 48-52. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.11.008>

Tukker, A., Jansen, B. 2006. Environmental impacts of products: A detailed review of studies. *J. Ind. Ecol.* 10(3), 159-182. <https://doi.org/10.1162/jiec.2006.10.3.159>

Van der Werf, H.M.G., Kanyarushoki, C., Corson, M.S., 2009. An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. *J. Environ. Manage.* 90, 3643-3652. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.07.003>

Von Bobrutzki, K., Müller, H.J. Scherer, D., 2011. Factors affecting the ammonia content in the air surrounding a broiler farm. *Biosyst. Eng.* 108, 322-333. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.01.005>

Weidema, B.P, Bauer, C., Hischer, R, Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., Vadenbo, C.O., Wernet, G., 2013. Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1(v3). St. Gallen: The Ecoinvent Centre.

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(9), 1218-1230. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>

Westhoek, H., Lesschen, J.P., Rood, T., Wagner, S., De Marco, A., Murphy-Bokern, D., Leip, A., Grinsven, H., Sutton, M.A., Oenema, O., 2014. Food choices, health and environment: effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Global Environmental Change*. 26, 196-205. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.02.004>.

CAPÍTULO II

CUSTO AMBIENTAL ASSOCIADO AO PROCESSO PRODUTIVO DE FRANGOS DE CORTE: ABORDAGEM EMERGÉTICA

Resumo

O objetivo do estudo foi avaliar o custo ambiental do processo produtivo de frangos de corte a partir da abordagem da contabilidade emergética. O estudo avaliou o processo produtivo de frangos de corte de uma granja padrão do sistema convencional contendo 10 aviários em uma área de 19 ha. Os dados do processo produtivo foram coletados na granja de produção e na empresa integradora, adquiridos durante visitas para entrevistas e aquisição de relatórios de produção anual para a elaboração de um inventário de entradas e saídas. A avaliação emergética foi realizada em três etapas: Um diagrama sistêmico foi elaborado para identificar todos os componentes e fluxos de energia; A partir do diagrama sistêmico foi construída a tabela avaliação emergética que contém os valores dos fluxos de materiais e energia; Os índices emergéticos foram calculados a partir dos resultados encontrados na avaliação dos fluxos de energia com o intuito de avaliar o desempenho termodinâmico do sistema. Os índices emergéticos avaliados foram: Transformidade solar (Tr), Renovabilidade (%R), Razão de Rendimento Emergético (EYR), Razão de Investimento Emergético (EIR), Razão de Carga Ambiental (ELR), Índice de Sustentabilidade Emergético (ESI) e Razão de Intercâmbio Emergético (EER). A energia total que suporta o sistema foi $7,00E+05$ sej/ha/ano, incluindo fluxo renovável de $1,53E+04$ sej/ha/ano. A contribuição mais importante no fluxo emergético do sistema provém dos materiais da economia com total de $6,60E+05$ sej/ha/ano, incluindo a ração com $4,60E+05$ sej/ha/ano, os pintos de um dia $1,48E+05$ sej/ha/ano e a energia elétrica $2,07E+04$ sej/ha/ano que apresentaram a maior contribuição em relação aos outros itens. Os serviços da economia apresentaram fluxo emergético total de $3,71E+04$ sej/ha/ano, deste total a mão de obra apresentou a maior contribuição correspondendo a $6,78E+03$ sej/ha/ano, incluindo o fluxo renovável de $3,65E+02$ sej/ha/ano. O fluxo de energia agregado do processo produtivo apresentou $69.693,84$ sej/ha/ano, maior contribuição do total de recursos da economia, seguido pelos materiais da economia que apresentou $65.976,84$ sej/ha/ano e dos serviços da economia não renovável $3675,04$ sej/ha/ano, totalizando $7,00E+04$ sej/ha/ano. A energia solar requerida para obter a energia produzida de um ano de frangos prontos para o abate (em torno de $36,5$ t/ha de frangos vivos produzidos) foi de $266.055,79$ sej/J.ha⁻¹.ano. O Índice de Renovabilidade mostrou baixa sustentabilidade do sistema, indicando uma baixa proporção do uso de energia de recursos da economia renováveis. A Razão de Rendimento Emergético indica que a quantidade de energia da natureza (renováveis e não renováveis) incorporada na produção de frangos é baixa quando comparada com a energia total usada, portanto a contribuição gratuita da natureza é baixa. A Razão de Investimento Emergético indicou um alto investimento para produzir frangos no sistema convencional. A Razão de Carga Ambiental indica alta degradação ambiental.

Palavras-chave: criação de frangos, desempenho ambiental, avaliação emergética, indicador baseado em energia, sistema convencional.

1. Introdução

O desenvolvimento sustentável das atividades agropecuárias convencionais depende do gerenciamento de toda cadeia produtiva considerando as unidades que a compõe incluindo a conservação dos recursos naturais e reduzindo o comprometimento do meio ambiente. Diante disso, as atividades agropecuárias de grande escala, como a produção de frangos de corte no sistema convencional tem motivado grandes discussões sobre o desenvolvimento sustentável nas cadeias de produção e distribuição de alimentos. A produção de frangos de corte enfrenta desafios de tornar seus processos de produção mais sustentável. A carne de frango será uma fonte importante para atender a demanda por proteína animal por apresentar menor impacto ambiental e curto ciclo produtivo quando comparado às outras fontes de proteína animal (Jaspers and van den Ende, 2006; Patricio et al., 2012; Nääs et al., 2015).

A contabilidade ambiental em energia solar (Odum, 1996) tem-se mostrado útil para avaliar sistemas de criação de animais para consumo humano em termos de desempenho, principalmente, quando considerado o emprego de recursos globais, como é o caso dos sistemas produtores de alimentos que operam na interface meio ambiente e economia. Há diversas pesquisas na literatura que abordam temas sobre a criação de animais para o consumo de carne: a) a aquicultura de diferentes espécies de peixes, em diversos países e em condições de criação diversas (Odum, 2001; Bastianoni, 2002; Zhang et al., 2011; Zhang et al., 2012), assim como de camarão (Odum e Arding, 1991; Lima et al., 2012), e empregam também Análise do Ciclo de Vida para complementar a avaliação (Wilfart et al., 2013); b) a suinocultura (Rugani et al., 2011; Wang et al., 2015; Wright e Østergård 2015), esta integrada a um sistema com grãos e peixes (Cavalett et al., 2006) e integrada com outras culturas (Buller et al., 2015); c) a pecuária (Rótolo et al., 2007; Zhang et al., 2007; Vigne et al., 2013), e d) a avicultura orgânica e convencional (Castellini et al., 2006; Zhang et al., 2013).

O custo ambiental pode ser calculado por meio da avaliação emergética. A energia é uma ferramenta baseada em termodinâmica capaz de estimar o custo ambiental de produtos e serviços em termos de energia solar (direta e indiretamente) necessária para sua produção e seu valor final depende da maneira como o produto é produzido (Patrizi et al., 2018). A contabilidade ambiental gera indicadores que podem melhorar a gestão ambiental dos sistemas agrícolas (Odum, 1996; Ortega, 2002; Ortega et al., 2002; Patrizi et al., 2018). Nesse contexto, o objetivo do estudo foi avaliar o custo ambiental do processo produtivo de frangos de corte a partir da abordagem da contabilidade emergética.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterizações do processo produtivo e delimitação do estudo

O estudo avaliou o processo produtivo de frangos de corte, no sistema convencional de produção, na cidade de Itaquiraí (23°29'41" Sul, 54°8'42" Oeste) de Mato Grosso do Sul, Brasil (Figura 1).

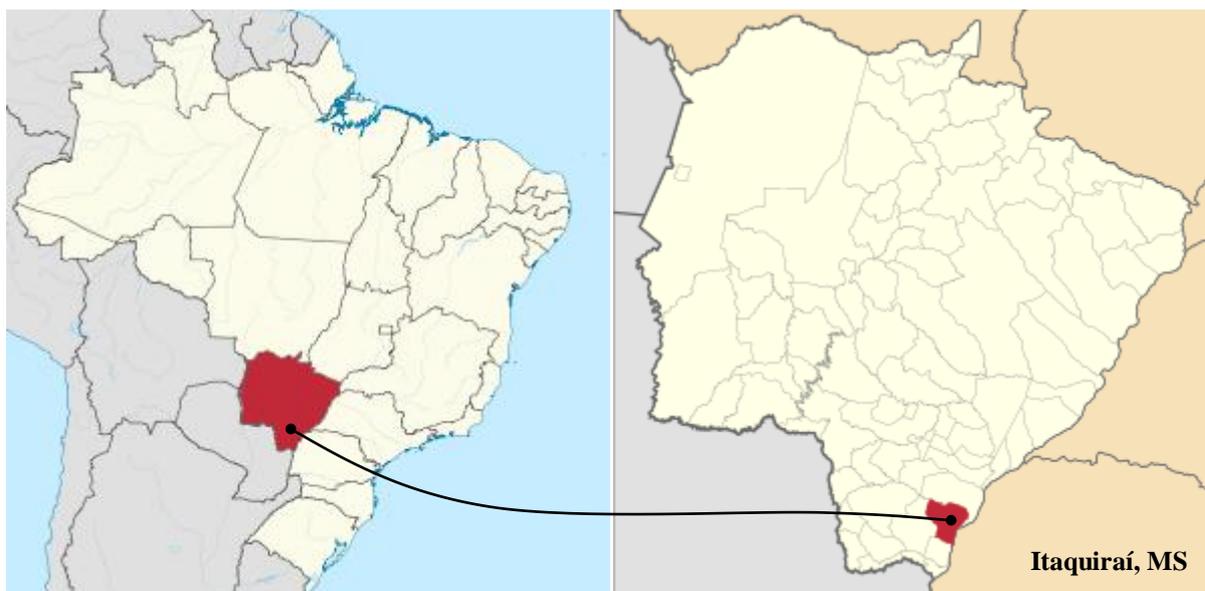


Figura 1. Localização da área de estudo: Itaquiraí, Mato Grosso do Sul (MS).

A granja de criação de frangos de corte selecionada para este estudo representa o modelo de produção da região e o tipo de sistema (convencional) mais utilizado pela cadeia produtiva, considerado em larga escala, as características de entradas e saídas do processo produtivo estão representadas na Figura 2. Nas produções de frangos de corte de larga escala, a fase de criação das aves corresponde à etapa anterior ao abate e processamento da cadeia avícola, que inicia na granja com o alojamento dos pintos de um dia nas instalações climatizadas, com período médio de 60 dias de ciclo produtivo (50 dias de criação + 10 dias de vazio sanitário), termina com a saída de frangos vivos com peso médio final de 2,763 kg. O estudo considerou uma granja com 10 aviários (instalações com sistemas automáticos de aquecimento, resfriamento e fornecimento de água e ração automáticos), que incluiu os seguintes os seguintes processos: pintos de um dia, alimentação (ração de todas as fases do processo produtivo), água, combustível (diesel), energia elétrica e o gerenciamento de resíduos. O limite temporal do estudo foi do alojamento até a terminação das aves, que corresponde ao frango vivo produzido, prontos para o abate.

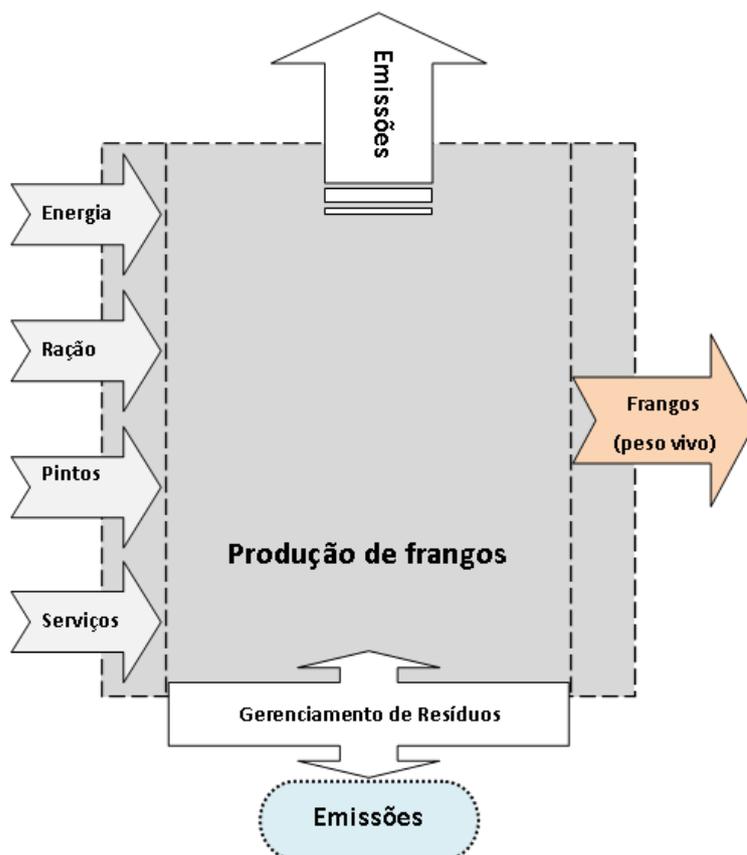


Figura 2. Diagrama do modelo de produção de frangos de corte

A granja tem aproximadamente 19 hectares de área total (Tabela 1), incluindo 2,4 hectares de área construída total dos aviários, área de reserva reflorestada de 11,24 hectares, 0,022 hectares de área total das casas dos avicultores (2 casas para atender duas famílias que trabalham em dois conjuntos de aviários, totalizando 10 aviários) e a soma de 7,98 ha da área das instalações mais a área circundante (espaçamentos entre os aviários destinados à logística do sistema produtivo, além de caixas d'água, silos de armazenamento de rações e composteira) que correspondem a área total produtiva (Figura 3). A avicultura de corte e a mão de obra familiar são características inerentes às unidades produtivas da região de Mato Grosso do Sul. A produção de frangos de corte desenvolve-se em sistema de integração com agroindústrias da região. A fase de criação das aves depende do fornecimento de ração, medicamentos e acompanhamento técnico agrícola, sanitário e de manutenção das instalações e equipamentos (granjas com alta tecnificação).

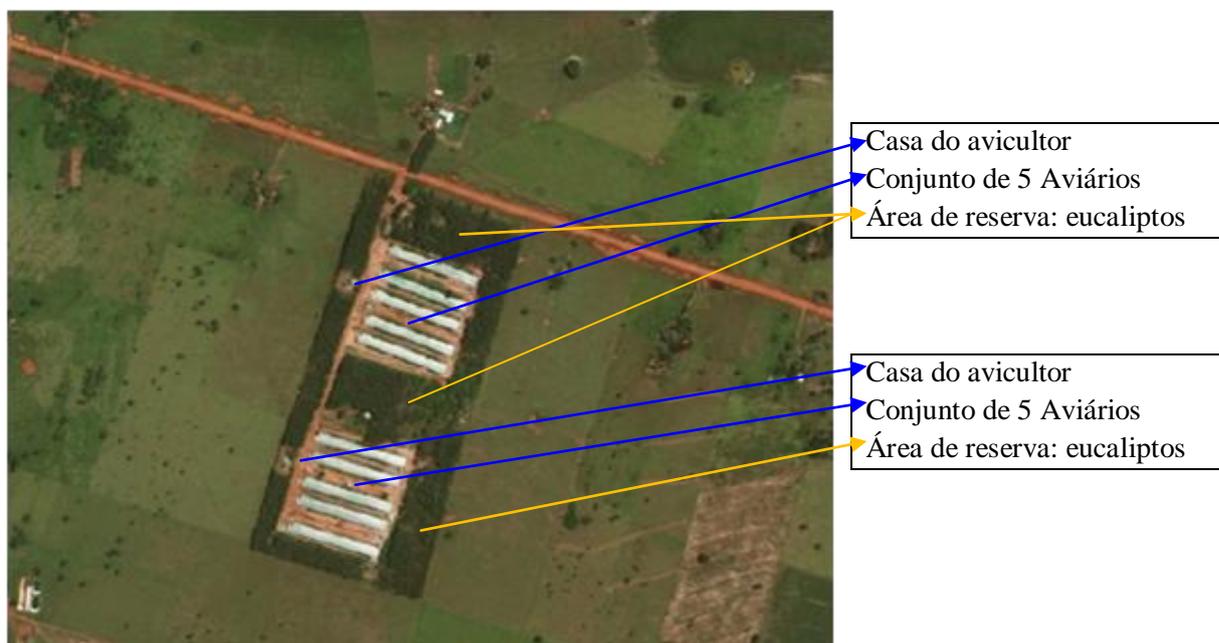


Figura 3. Imagem da granja composta por dois conjuntos de 5 aviários, 2 casas de avicultores e reserva florestal de eucaliptos.

Tabela 1. Principais características da produção de frangos de corte

| Instalações e uso do solo | Unidades | Quantidade |
|----------------------------------|----------------------------|------------|
| Área total da granja | ha | 19 |
| Aviários | número | 10 |
| Área coberta – aviário | m ² / aviário | 2.400 |
| Área total coberta – granja | m ² | 24.000 |
| Área total das instalações | ha | 2,4 |
| Área total produtiva | ha | 5,58 |
| Área total das casas – avicultor | ha | 0,022 |
| Reserva legal – eucaliptos | ha | 11,24 |
| Desempenho produtivo | | |
| Ciclos produtivos por ano | ciclo/ano | 6 |
| Aves alojadas – média | número/aviário/ciclo | 33.280 |
| Aves produzidas – média | número/aviário/ciclo | 31.898 |
| Aves produzidas – total ano | número/ano | 1.913.880 |
| Total de aves produzidas | kg/ciclo | 881.336,21 |
| Densidade – média | aves/m ² | 13,4 |
| Peso médio final | kg | 2,76 |
| Idade média ao abate | dias | 50 |
| Consumo de ração por ave | kg/ave | 5,24 |
| Conversão alimentar - média | kg/kg | 1,9 |
| Taxa de mortalidade | mortalidade média/lote (%) | 4,2 |
| Consumo de água por ave | L/ave | 9,43 |
| Excreção de dejetos – SV | kg/ave | 0,96 |

SV = sólidos voláteis.

A ração das aves foi fabricada pela empresa integradora, na qual o avicultor é o integrado, a alimentação comercial é fornecida em diferentes fases no processo produtivo. A alimentação produzida pela fábrica de rações para as aves foi processada considerando os seguintes ingredientes: milho, farelo de soja, farinha de glúten de milho, óleo de soja, calcário, farinha de carne e ossos, bicarbonato de sódio, L-lisina, D-L metionina, sal e premix (vitaminas e minerais). Além disso, as sobras de ração de cada fase de criação são devolvidas para a integradora e redistribuída a outro integrado com criação de mesma fase, subtraindo essa sobra do fornecimento inicial.

O gerenciamento de dejetos na granja é realizado de forma que os resíduos sejam aproveitados ao máximo, como a cama que é reutilizada por 1 ano após serem tratadas a cada fim de ciclo produtivo (a cada 50 dias, no vazio sanitário é realizado o tratamento dessa cama a fim de reduzir patógenos e emissão de amônia), as carcaças de aves mortas são acondicionadas nas composteiras com cama de frango (maravalha ou aparas de madeira) para o processo de compostagem e posterior troca por cama nova.

2.2. Avaliação Emergética

Na avaliação emergética, as entradas de um sistema classificam-se em três categorias, recursos renováveis, não renováveis e pagos. Os recursos renováveis (R) incluem o sol, vento e chuva; os não renováveis (N) são aqueles usados além da sua capacidade de renovação no período de tempo do estudo (solo, minérios, petróleo, água subterrânea). Os recursos pagos (F) são fluxos que vem da economia, incluem materiais e serviços. Na primeira etapa foi elaboração o diagrama de energia do sistema que visa identificar e classificar os insumos, os componentes e a dinâmica do sistema. Para isso, definiram-se os limites do sistema, determinaram-se as fontes externas de recursos, analisaram-se em detalhe as interações entre os elementos que compõem o sistema e os recursos empregados. Os símbolos básicos para representar os componentes dos sistemas nos diagramas de acordo com Odum (1996). Na segunda etapa foi elaborada a tabela de cálculo que contendo todos os fluxos de entrada inventariados. Esses fluxos podem ser de variada natureza, e nesse caso estão expressos em grandezas diferentes (ex: massa, energia, dinheiro). Para converter todas as entradas em fluxos em energia, os fluxos de entrada foram multiplicados pelos respectivos fatores de transformação (expressos em unidades correspondentes, “energia/unidade”). Os valores de transformidade foram selecionados da literatura, e a utilização requer uma criteriosa seleção já que o valor depende do processo que gerou o produto ou serviço (Odum, 1996; Ortega et al., 1998; Ortega et al., 2005; Ortega et al., 2002a,b).

A metodologia define indicadores em energia que permitem avaliar os processos considerando a quantidade e a distribuição dos recursos globais R, N e F utilizados no processo. Os três indicadores tradicionais da metodologia, desenvolvidos por Odum, (1996), são: Índice de Rendimento em Energia (EYR), Razão de Carga Ambiental (ELR), Razão de Investimento em Energia (EIR) e o Indicador de Sustentabilidade em Energia (ESI), desenvolvido por Ulgiati e Brown, (1998).

A avaliação energética do processo produtivo de frangos de corte foi realizada em três etapas, como descrita a seguir:

2.2.1. Diagrama sistêmico

O diagrama sistêmico foi elaborado para identificar todos os componentes e fluxos de energia. A Figura 4 mostra um diagrama de fluxos agregados que utiliza a linguagem simbólica apresentados na Tabela 2, de acordo com as classificações de fluxos energéticos (Tabela 3).

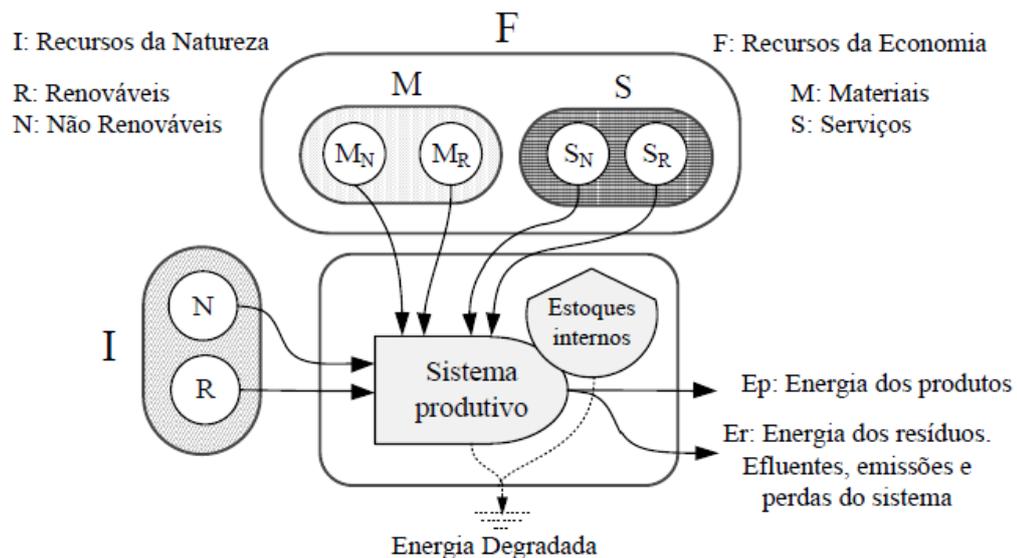
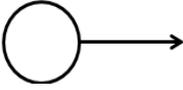
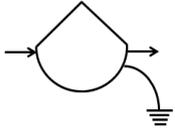
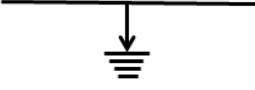
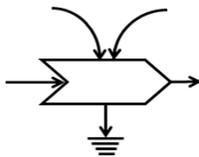
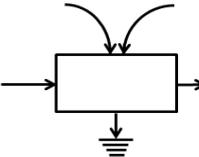
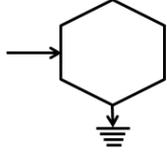
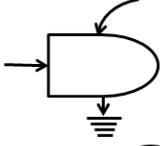
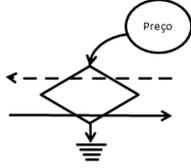


Figura 4. Diagrama de Fluxos Agregados de um sistema rural

Fonte: Ortega, (2002) e Ortega et al., (2002a).

O diagrama sistêmico abrange o funcionamento do sistema e seus principais fluxos de entradas e saídas de materiais ou energia. A energia disponível é transformada, em um processo iterativo, em uma energia de quantidade menor, porém de maior qualidade, a qual será aproveitada em uma próxima etapa do sistema.

Tabela 2. Símbolos da linguagem de fluxos de energia para representar sistemas

| Símbolos | Descrição |
|---|---|
|  | Caminho Energético: fluxo de energia ou materiais. |
|  | Fonte de Energia: recurso externo que fornece energia ao sistema, como o sol, o vento, as marés, as ondas nas praias, a chuva, serviços e materiais. |
|  | Depósito/Estoque: uma reserva de energia dentro dos limites do sistema determinada pelo balanço de entradas e saídas. |
|  | Sumidouro de Energia: o sistema usa a energia potencial para produzir trabalho. O custo dessa transformação é a degradação da energia, que é dispersa do sistema como energia de baixa qualidade. Estas dispersões estão associadas a depósitos, interações, produtores, consumidores, e símbolos de interrupção. |
|  | Interação: interseção de no mínimo dois fluxos de energia para produzir uma saída (trabalho) que varia de acordo com certa função de energia. |
|  | Caixa: símbolo de uso múltiplo que pode ser usado para representar uma unidade de consumo e produção dentro de um sistema maior. Representa um subsistema. A caixa pode ser preta, cinza ou branca, conforme o conhecimento que se tem sobre os fluxos de entrada e saída. |
|  | Consumidores: unidade que transforma a qualidade da energia, estoques, e retroalimentação autocatalítica para melhorar os fluxos de entrada. |
|  | Produtor: unidade que coleta e transforma baixa qualidade de energia sob um controle de interação em um fluxo de alta qualidade. |
|  | Transação: uma unidade que indica uma venda de bens ou serviços (linha sólida) por pagamentos em dinheiro (linha pontilhada). O preço representa uma fonte externa. Intercâmbio comercial de dinheiro para energia, materiais ou serviços prestados. |

Fonte: Odum, (1996).

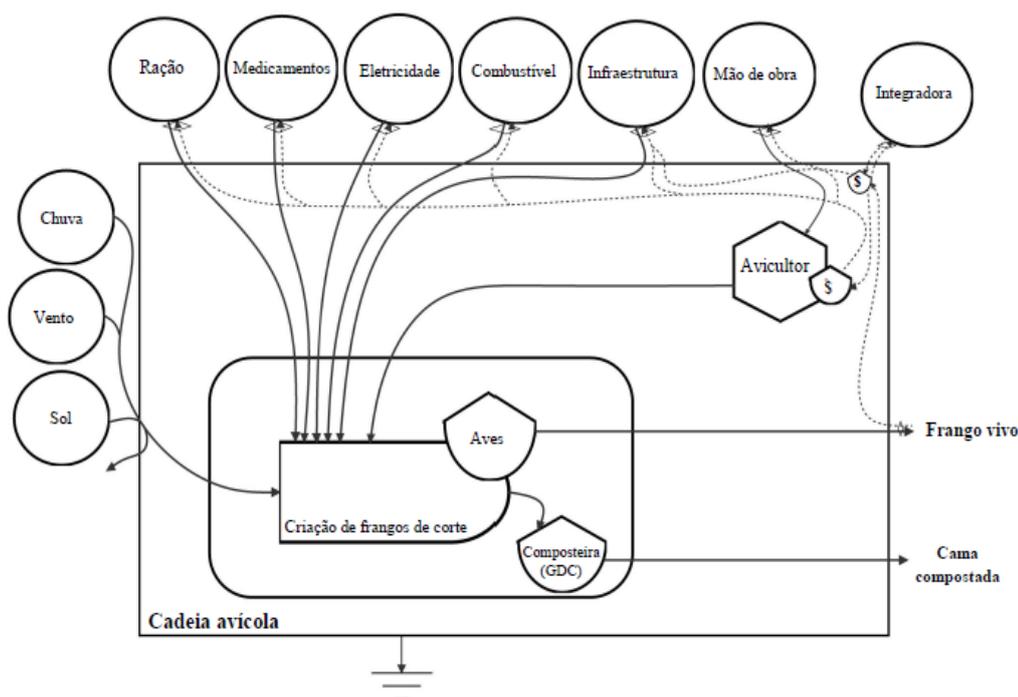
Os fluxos emergéticos representados por símbolos da linguagem de fluxos de energia, utilizados no diagrama sistêmico da contabilidade emergética, estão descritos na Tabela 3

Tabela 3. Classificação dos fluxos emergéticos

| Fluxos emergéticos | Descrição |
|-------------------------------------|---|
| I: Contribuição da natureza | $R + N$ |
| R: Recursos naturais renováveis | Chuva, materiais e serviços de áreas preservadas, nutrientes do solo. |
| N: Recursos naturais não renováveis | Solo. |
| F: Recursos da economia | $F = M + S$ |
| M: Materiais | $M = MR + MN$ |
| MR: Materiais renováveis | Materiais renováveis de origem natural. |
| MN: Materiais não renováveis | Minerais, derivados químicos, aço, combustível. |
| S: Serviços | $S = SR + SN$ |
| SR: Serviços renováveis | Mão de obra suportada por fontes renováveis. |
| SN: Serviços não renováveis | Outros (externos) serviços, taxas, seguros. |
| Y: Emergência total | $Y = I + F$ |

Fonte: Ortega, Anami e Diniz (2002), baseado em Odum, (1996).

Um diagrama sistêmico foi usado, baseado nos símbolos da linguagem de fluxos de energia de Odum (1996); Ortega et al. (2002a,b) e Ortega et al. (2017), para elaborar o material e os fluxos de energia do processo de produção de frangos de corte (Figura 5). O diagrama mostra os limites e fontes de energia do sistema produtivo em estudo que impulsionam o processo (Giannetti et al., 2011).

**Figura 5.** O fluxograma de energia do processo de produção de frangos de corte

*GDC = gerenciamento de dejetos e cama.

2.2.2. Tabela de avaliação emergética e análise dos fluxos energéticos

A partir do diagrama sistêmico foi construída a tabela avaliação emergética que contém os valores dos fluxos de materiais e energia de acordo com Ortega et al. (2002a,b), baseado em Odum (1996). Cada linha dos fluxos do diagrama corresponde a uma linha de cálculo inserida na tabela. Para a elaboração da tabela de avaliação emergética (Tabela 4), foram colocados os valores numéricos e suas unidades como simbolizados no diagrama sistêmico, todos os fluxos de energia, massa e monetário são convertidos em emjoules solares (seJ) através das transformidades.

Tabela 4. Tabela de avaliação emergética

| Nota | Fluxo energético | Fração renovável ¹ | Unidade | Transformidade* | Fluxo energético |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------|-----------------|------------------|
| R: | Recursos renováveis da natureza | | | | |
| N: | Recursos não renováveis da natureza | | | | |
| M: | Materiais | | | | |
| S: | Serviços | | | | |
| Y: Emergia total | | | | | |

¹Porcentagem do fluxo energético que é considerado renovável. Fonte: Ortega et al., (2002a,b), baseado em Odum (1996). *Fator de conversão para cada fluxo.

Os valores das transformidades utilizados foram adotados principalmente de Odum (1996), com exceção da alimentação das aves. Nesse caso, foi realizada uma avaliação para cada um dos ingredientes (provenientes das culturas: milho, soja e outros ingredientes) obtendo o valor de transformidade para ração específica do sistema de criação (Anexo 1).

2.2.3. Índices emergéticos

Os índices emergéticos foram calculados a partir dos resultados encontrados na avaliação dos fluxos de emergia com o intuito de avaliar o desempenho termodinâmico do sistema. Nesta fase da avaliação, foi realizado o cálculo dos índices emergéticos com o objetivo de avaliar o desempenho do processo de produção de frangos de corte (Tabela 5). Os índices tradicionais são: Transformidade solar (Tr), Renovabilidade (%R), Razão de Rendimento Emergético (EYR), Razão de Investimento Emergético (EIR), Razão de Carga Ambiental (ELR), Índice de Sustentabilidade Emergética (ESI) e Razão de Intercâmbio Emergético (EER) de acordo com Odum (1996); Brown e Ulgiati (2002); Brown e Ulgiati (2004). Os índices modificados são: Renovabilidade (%R) e Razão de Carga Ambiental

(ELR) de acordo com Ortega et al. (2002a,b). Os índices emergéticos que foram utilizados neste estudo estão descritos a seguir (Tabela 5).

Tabela 5. Índices emergéticos tradicionais e modificados¹

| Índices Tradicionais | Expressão | |
|---|-----------------------|--|
| Transformidade solar (Tr) | Y/E | Razão entre a energia total que dirige o sistema pela energia total produzida. |
| Renovabilidade (% R) | $100*(R/Y)$ | Razão entre os recursos renováveis da natureza pela energia total que dirige o sistema. |
| Razão de rendimento emergético (EYR) | Y/F | Razão da energia total que dirige o sistema pela energia da economia. |
| Razão de investimento emergético (EIR) | $F/(R+N)$ | Razão entre os recursos da economia pela energia da natureza. |
| Razão de carga ambiental (ELR) | $(F+N)/R$ | Razão da energia da economia e não renovável da natureza pela energia renovável da natureza. |
| Índice de sustentabilidade emergética (ESI) | EYR/ELR | Indica a relação custo/benefício do sistema. |
| Razão de intercâmbio emergético (EER) | $Y/[(\$)*(seJ/\$)]$ | Razão entre a energia total que dirige o sistema pela energia recebida na venda dos produtos. |
| Índices Modificados | Expressão | |
| Renovabilidade (% R) | $100*(R+MR+SR)/Y$ | Razão entre os recursos renováveis da natureza e economia pela energia total que dirige o sistema. |
| Razão de carga ambiental (ELR) | $(N+MN+SN)/(R+MR+SR)$ | Razão entre os recursos não renováveis pelos renováveis. |

¹Índices emergéticos modificados incluem o conceito de renovabilidade parcial de cada entrada no sistema. Fonte: Índices tradicionais de Odum, (1996); Brown; Ulgiati, (2004) e modificados de Ortega et al., (2002a,b).

2.3. Coleta dos dados

Os dados do processo produtivo foram coletados na granja de frangos de corte e na empresa integradora, adquiridos durante visitas para entrevistas e aquisição de relatórios de produção anual para a elaboração de um inventário dos insumos geralmente utilizados no sistema produtivo de frangos de corte. As entradas e saídas relacionadas ao processo produtivo de frangos de corte foram identificadas e quantificadas incluindo regras de corte, que são exclusões de processos que ocorrem fora da granja, tais como: processo de incubação, abate e processamento, e distribuição.

Os valores dos fluxos de entrada e saída de materiais e serviços foram obtidos a partir de pesquisa na literatura científica e de pesquisas de campo por meio de questionários aplicados aos produtores. Os valores dos recursos naturais foram estimados com base no banco de dados do Sistema de Informações Geográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (SIG-IBGE, 2018).

2.4. Análise dos Dados

Os dados foram processados e avaliados de acordo com os princípios e procedimentos da Contabilidade Emergética. Todas as etapas seguiram a metodologia propostas por Odum (1996); Ulgiati e Brown (1998); Ortega et al. (1998); Odum et al. (2000) Ortega et al. (2002a,b); Brown e Ulgiati (2004); e Ortega et al. (2005).

Na primeira etapa foi realizado um inventário da história do local de estudo. Este inventário consiste na delimitação do campo de análise e no conhecimento detalhado dos recursos de origem da natureza (renováveis e não renováveis) e da economia (bens e serviços) envolvidos no processo produtivo analisado. Na segunda etapa foi construído o diagrama sistêmico de cada processo envolvido no estudo. Este diagrama retrata por meio da simbologia da contabilidade emergética, o sistema em estudo e representa os recursos provenientes da natureza e da economia, bem como as externalidades resultantes do processo produtivo. O esquema gráfico foi criado com o Software Emery Simulator (Emery Simulator, 2018 - LEIA/Unicamp).

Posteriormente, na terceira etapa foi listado todos os recursos elencados na etapa 1 em uma tabela de avaliação emergética. Nas colunas constam, (i) nota: atribuição de um número a cada item; (ii) item: denominação de cada item e a sua classificação em recurso da natureza renovável, recurso da natureza não renovável, recurso da economia bem e recurso da economia serviço; (iii) fluxo: valor obtido por meio do memorial de cálculo, tem origem no valor do item que pode ser representado pelo custo ou pelo peso do item; (iv) unidade de medida: vinculada com o Fluxo (item valorado em moeda, kg, joule); e (v) *Unit Emery Values* (UEVs) apresentados em sua unidade⁻¹, também conhecidas como transformidade: Se dividido pelo joule, kg ou moeda, a atribuição desta divisão a cada item, foi encontrada na literatura e a Emergia: multiplica-se a coluna Fluxo pela coluna UEVs. Em seguida, realizou-se o cálculo dos índices emergéticos constituídos pela (i) transformidade solar; (ii) renovabilidade; (iii) razão do investimento emergético; (iv) razão de carga ambiental; (v) Razão de rendimento emergético; e (vi) razão de intercâmbio de energia. Também foi calculada a energia do produto oriundo do sistema. Todos os dados foram calculados com

auxílio da planilha de cálculos emergéticos EmTable v.8 (EmTable, 2018 - LEIA/Unicamp). Todos os cálculos seguiram os princípios da metodologia emergética baseados nos seguintes autores: Odum (1996); Ulgiati e Brown (1998); Odum et al. (2000); Ortega et al. (1998); Brown e Ulgiati (2004); Ortega et al. (2002a,b) e Ortega et al. (2005).

3. Resultados e Discussão

Os resultados da avaliação emergética do processo produtivo de frangos de corte no sistema convencional de produção são apresentadas nas Tabelas 6 a 10.

3.1. Avaliação emergética do processo produtivo de frangos de corte

O diagrama sistêmico padrão dos fluxos emergéticos para o processo produtivo de frangos de corte (Figura 5) demonstra as principais entradas e saídas do sistema e as suas principais interações, registrando apenas os fatores mais importantes presentes nos sistemas observados, que são quantificáveis na avaliação emergética. As contribuições dos recursos da natureza quantificadas na avaliação emergética do sistema: a energia solar, chuva, vento, nitrogênio e fósforo atmosférico e perda de solo, como recurso não renovável, são apresentados na Tabela 6.

A energia total que suporta o sistema foi $7,01E+05$ sej/ha/ano, incluindo fluxo renovável de $1,53E+04$ sej/ha/ano, e a energia produzida pelo produto do sistema (frango vivo produzido) foi de $263,28 E10$ J/ha/ano e venda de $211.292,35$ US\$/ano (Tabelas 6 e 7).

A contribuição mais importante no fluxo emergético do sistema provém dos materiais da economia com total de $6,60E+05$ sej/ha/ano, incluindo a ração com $4,60E+05$ sej/ha/ano, os pintos de um dia $1,48E+05$ sej/ha/ano e a energia elétrica $2,07E+04$ sej/ha/ano que apresentaram a maior contribuição em relação aos outros itens. Os serviços da economia apresentaram fluxo emergético total de $3,71E+04$ sej/ha/ano, deste total a mão de obra apresentou a maior contribuição correspondendo a $6,78E+03$ sej/ha/ano, incluindo o fluxo renovável de $3,67E+02$ sej/ha/ano (Tabela 6). Em relação aos recursos renováveis a maior contribuição foi dos materiais da economia com fluxo emergético total de $1,30E+04$ sej/ha/ano, deste total a maior contribuição foi da maravalha (raspas de madeira, utilizado como substrato para cama de frango) com $7,39E+03$ sej/ha/ano seguida da ração das aves com $4,60E+03$ sej/ha/ano (Tabela 6).

Tabela 6. Avaliação emergética do processo produtivo de frangos de corte.

| Código | Item | Fração | | Unidade | Transformidade ^b (sej/unid) | Fluxo renovável E12 sej/ha/ano | Fluxo não renovável E12 sej/ha/ano | Fluxo total E12 sej/ha/ano |
|--|-----------------------------|------------------------|------------|-------------------------------------|---|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| | | Renovável ^a | Quantidade | | | | | |
| Recursos Renováveis da Natureza | | | | | 3,35E+04 | 1,90E+03 | 0,00E+00 | 1,90E+03 |
| R1 | Sol | 1 | 4,97E+01 | kWh/m ² /ano | 1,00E+00 | 1,79E+00 | 0,00E+00 | 1,79E+00 |
| R2 | Vento | 1 | 3,10E+00 | m/s | 2,45E+03 | 5,89E+01 | 0,00E+00 | 5,89E+01 |
| R3 | Chuva | 1 | 1,19E+00 | m ³ /m ² /ano | 3,10E+04 | 1,84E+03 | 0,00E+00 | 1,84E+03 |
| Recursos Não Renováveis da Natureza | | | | | 1,24E+05 | 0,00E+00 | 1,64E+03 | 1,64E+03 |
| N1 | Perda de solo | 0 | 1,46E+04 | kg/ha/ano | 1,24E+05 | 0,00E+00 | 1,64E+03 | 1,64E+03 |
| Materiais da Economia | | | | | 2,99E+13 | 1,30E+04 | 6,47E+05 | 6,60E+05 |
| M1 | Aves – pintos de um dia | | 29426,53 | US\$/ha/ano | 5,02E+12 | 0,00E+00 | 1,48E+05 | 1,48E+05 |
| M2 | Ração | 0,01 | 5,28E+05 | kg/ha/ano | 8,71E+11 | 4,60E+03 | 4,55E+05 | 4,60E+05 |
| M3 | Medicamentos | | 7,96E+02 | US\$/ha/ano | 1,48E+13 | 0,00E+00 | 1,18E+04 | 1,18E+04 |
| M4 | Energia elétrica | 0,05 | 2,14E+04 | kWh/ha/ano | 2,69E+05 | 1,04E+03 | 1,97E+04 | 2,07E+04 |
| M5 | Diesel | | 3,20E+02 | L/ha/ano | 3,94E+12 | 0,00E+00 | 1,26E+03 | 1,26E+03 |
| M6 | Maravalha | 0,4 | 6,69E+04 | kg/ha/ano | 2,76E+11 | 7,39E+03 | 1,11E+04 | 1,85E+04 |
| M7 | Maquinários | | 1257,00 | US\$/ha/ano | 5,02E+12 | 0,00E+00 | 1,66E+01 | 1,66E+01 |
| Serviços da Economia | | | | | 2,84E+13 | 3,67E+02 | 3,68E+04 | 3,72E+04 |
| S1 | Mão de obra familiar | 0,05 | 6,11E+10 | J/ha/ano | 1,11E+05 | 3,39E+02 | 6,44E+03 | 6,78E+03 |
| S2 | Mão de Obra temporária | 0,05 | 101,79 | US\$/ha/ano | 5,02E+12 | 2,56E+01 | 4,85E+02 | 5,11E+02 |
| S3 | Administração/Fomento | | 4302,00 | US\$/ha/ano | 5,02E+12 | 0,00E+00 | 2,16E+04 | 2,16E+04 |
| S4 | Impostos | | 1466,68 | US\$/ha/ano | 5,02E+12 | 0,00E+00 | 7,36E+03 | 7,36E+03 |
| S5 | Outros: Internet e telefone | | 171,62 | US\$/ha/ano | 5,02E+12 | 0,00E+00 | 8,62E+02 | 8,62E+02 |
| S6 | Depreciação das casas | 0,05 | 46,08 | US\$/ha/ano | 5,02E+12 | 2,00E-02 | 3,90E-01 | 4,10E-01 |
| S7 | Depreciação das Instalações | 0,05 | 2181,00 | US\$/ha/ano | 3,30E+12 | 1,89E+00 | 3,60E+01 | 3,79E+01 |
| Emergia Total | | | | | 5,83E+13 | 1,53E+04 | 6,85E+05 | 7,01E+05 |

a. Agostinho et al. (2008). b. Odum et al. (2000); Brandt-Williams (2002); Brown e Ulgiati, (2004); Bastianoni et al. (2005). Anexo I.

Tabela 7. Energia total produzida na granja e valor real do produto

| Dados do Produto | Valor | Unidade |
|-----------------------|------------|-----------------|
| Área total | 19 | ha |
| Energia do produto | 263,28 | E+10 J/ha/ano |
| Vendas dos produtos | 211.292,35 | US\$/ano |
| Energia das vendas | 5,58E+03 | E+13 sej/ha/ano |
| Real valor do produto | 139.536,93 | em-US\$/ha/ano |

O fluxo de energia agregado do processo produtivo apresentou maior contribuição do total dos recursos da economia que foi de 69.693,84 sej/ha/ano, seguido pelos materiais da economia que apresentou 65.976,84 sej/ha/ano e dos serviços da economia não renovável 3.675,04 sej/ha/ano, totalizando 7,01E+05 sej/ha/ano (Tabela 8).

Tabela 8. Fluxos de energia agregados do processo produtivo

| Classificação dos inputs | Equações | Fluxos Agregados x E13 sej/ha/ano |
|--|--|--------------------------------------|
| Recursos Renováveis da Natureza | $R=R1+R2+\dots+Ri$ | 189,90 |
| Recursos Não Renováveis da Natureza | $N=N1+N2+\dots+Ni$ | 163,79 |
| Total Recursos da Natureza | $I = R + N$ | 353,69 |
| Materiais da Economia | $M=M1+M2+\dots+Mi$ | 65.976,84 |
| Materiais da Economia (renovável) | $Mr=Mr1+Mr2+\dots+Mri$ | 1.302,56 |
| Materiais da Economia (não renovável) | $Mn=Mn1+Mn2+\dots+Mni$ | 64.674,28 |
| Serviços da Economia | $S=S1+S2+\dots+Si$ | 3.711,51 |
| Serviços da Economia (renovável) | $Sr=Sr1+Sr2+\dots+Sri$ | 36,47 |
| Serviços da Economia (não renovável) | $Sn=Sn1+Sn2+\dots+Sni$ | 3.675,04 |
| Infraestrutura | $IF=IF1+IF2+\dots+IFn$ | 5,49 |
| Total Recursos da Economia | $F = M + S + IF + EMP$ | 69.693,84 |
| Total Recursos da Economia Renovável | $Fr = Mr + Sr$ | 1.339,03 |
| Total Recursos da Economia Não Renovável | $Fn = Mn + Sn + IF + EMP$ | 68.354,81 |
| Energia Utilizada | $Y = I + F$ | 70.047,54 |

A energia total (Y) requerida por hectare por ano para produzir frangos prontos para o abate (em torno de 278,02 t/ha/ano de frangos vivos produzidos) foi de 70.047,54 sej/ha/ano. Considerando a energia total, Castellini et al. (2006), avaliaram dois sistemas de produção de frangos, convencional e orgânico, apresentaram resultados de 724,12E+14

sej/ciclo para o sistema convencional e $92,16E+14$ sej/ciclo para o sistema orgânico de produção de frangos, estes resultados são maiores do que o encontrado neste estudo ($1,17E+05$ sej/ha/ciclo).

3.2 Indicadores emergéticos

Os indicadores emergéticos obtidos para o processo produtivo de frangos de corte são apresentados na Tabela 9.

A transformidade do processo de produção foi de $2,66E+05$ sej/J, comparado ao resultado obtido por Castellini et al. (2006) para o sistema convencional ($6,11E+5$ sej/J) e orgânico ($5,79E+5$ sej/J) foi menor, indicando que este sistema é mais eficiente usando menos energia para produzir uma dada quantidade de produto.

Tabela 9. Indicadores emergéticos do processo produtivo de frangos de corte

| Índices emergéticos | Equações | Valor | Índice original |
|---------------------------------------|--------------------------------------|------------|-----------------|
| Transformidade (sej/J) | $Tr=Y/E=Emergia/Energia$ | 266.055,79 | --- |
| % Renovabilidade | $Ren=(100)*((R+Mr+Sr)/Y)$ | 2,18 | 0,27 |
| Razão de Rendimento Emergético | $EYR=Y/(Mn + Sn +IF + EMP)$ | 1,02 | --- |
| Razão de Investimento Emergético | $EIR=(Mn+Sn+IF+EMP)/(R + Mr +Sr +N)$ | 40,38 | --- |
| Razão de Intercâmbio Emergético | $EER=Y/EmS$ | 139.536,93 | --- |
| | $ELR=(N+Mn+Sn+IF+EMP)/(R+Mr+Sr)$ | 44,81 | 367,87 |
| Razão de Carga Ambiental | R/F | 0,00 | --- |
| | N/F | 0,002 | --- |
| Índice Emergético de Sustentabilidade | $ESI = EYR/ELR$ | 2,29 | --- |

R: renovável; N: não renovável; F: recursos da economia.

O Índice de Renovabilidade (%R = 2,18%) mostra baixa sustentabilidade do sistema, no índice original que não leva em consideração a fração renovável é ainda menor (%R_{IO} = 0,27%), considerando a baixa proporção do uso de energia de recursos da economia renováveis. A Razão de Rendimento Emergético (EYR = 1,02) indica que a quantidade de energia da natureza (renováveis e não renováveis) incorporada na produção de frangos é baixa quando comparada com a energia total usada ($70.047,54$ sej/ha/ano), portanto a contribuição gratuita da natureza é baixa. A Razão de Investimento Emergético (EIR = 40,38) indica um alto investimento para produzir frangos no sistema convencional, pois demanda de alto investimento tecnológico para produzir neste sistema. A Razão de Carga Ambiental (ELR

= 44,81) indica alta degradação ambiental que pode ser explicado pela alta taxa de investimento e alta Razão de Intercâmbio Emergético (EER = 139.536,93), principalmente por causa dos investimentos econômicos em relação às estruturas de produção (instalações de alto custo tecnológico) e uso energia não renovável.

Castellini et al. (2006) realizaram um estudo comparado dois sistemas de produção de frangos, convencional e orgânico (aves criadas ao ar livre sem antibióticos), apresentaram os seguintes resultados: a EYR 1,19 para o sistema convencional e 1,51 para o sistema orgânico, que foram maiores do que o encontrado neste estudo (EYR = 1,02); a ELR foi de 5,21 para o sistema convencional e 2,04 para o sistema orgânico, que comparados a este estudo foram menores (ELR = 44,81), mas que pode ser justificado pela quantidade de aves produzidas por ciclo (31.898 aves/aviário) contra 15.600 aves no convencional e 1.000 aves no orgânico. Castellini et al. (2006), concluíram que os sistemas orgânicos são mais sustentáveis em relação ao convencional a partir da metodologia emergética. No entanto, os dados do sistema orgânico apresentava o dobro da mortalidade dos sistemas convencionais (10% contra 5%), Os autores do estudo atribuíram as maiores mortalidades ao fato de que nenhum antibiótico foi usado. Mas se a produção orgânica melhorasse as taxas de mortalidade, sua relativa ineficiência ainda apresentaria limitações à sustentabilidade e suprimento da demanda por carne de frango.

Hu et al. (2012) analisaram dois sistemas de criação de frangos na China, sistema de criação orgânico e sistema de criação de campo com pomares, com objetivo de verificar a eficiência produtiva, impacto ambiental e sustentabilidade. Os resultados mostraram que a EYR foi de 1,10 para o sistema de criação orgânica e 1,11 e para o sistema de campo, comparados a este estudo foram similares (EYR = 1,02) e foram muito próximos de 1, indicando que cada processo dos sistemas converte apenas recursos externos no produto sem muito acréscimo dos recursos locais. No entanto, a ELR do sistema de criação em campo foi de 3,44, um pouco superior ao sistema orgânico 3,10 e, o ESI foi menor do que o sistema de criação orgânico, ESI = 0,36 para o sistema orgânico e 0,32 para o sistema de campo. Considerando os resultados da ELR (44,81) e do ESI (2,29) deste estudo, foram superiores aos encontrados por Hu et al. (2012), pois o sistema convencional depende de maior quantidade recursos externos do que locais, possui alta eficiência alimentar e consequentemente maior pressão ambiental e com alto estresse ambiental.

As proporções dos recursos que contribuíram no índice de sustentabilidade emergético do processo produtivo de frangos de corte são apresentadas na Tabela 10. Os recursos não renováveis da economia foram o que apresentaram maior contribuição (97,58%)

e a menor contribuição foi dos recursos não renováveis da natureza (0,24%) gerando um Índice Emergético de Sustentabilidade (ESI) de 2,29.

Tabela 10. Índice de sustentabilidade emergético do processo produtivo de frangos de corte

| Sustentabilidade | Proporção de recursos (%) |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Recursos Renováveis | 2,18 |
| Recursos Não Renováveis da Natureza | 0,24 |
| Recursos Não Renováveis da Economia | 97,58 |
| ESI = EYR/ELR | 2,29 |

ESI = Índice Emergético de Sustentabilidade.

O Índice de Sustentabilidade (ESI = 2,29) indica uma alta contribuição potencial do sistema (EYR = 1,02) por unidade de carga ambiental (ELR = 44,81) atribuído à área produtiva. Segundo Odum (1996) a EYR é uma medida da contribuição líquida do sistema para a economia além da própria operação, incluindo a energia adquirida no mercado, tais como combustíveis, bens e serviços. O índice ELR é alto para sistemas com alto nível tecnológico, como ocorre com o sistema de produção verticalizado ou intensivo, que não é necessariamente local, mas localiza-se na fonte de energia ou de materiais (Odum, 1996).

No entanto, melhorias podem ser aplicadas ao sistema convencional de produção, tais como: uso de energia solar, combustível mais limpo (biocombustível), diversificação ou implantação de hortas/alimentos para a subsistência das famílias produtoras/trabalhadoras empregadas neste sistema, captação e tratamento de água da chuva, e o uso de ingredientes alternativos (farinha de insetos como fonte de proteína) na fabricação de ração das aves. Insetos e soja foram comparados em termos de emergência como fonte de proteína para rações para aves, e todos os índices emergéticos são melhorados com o uso da farinha de insetos segundo Allegretti et al. (2018).

4. Conclusões

O processo produtivo de frangos de corte, do posto de vista da sustentabilidade mostrou que há maior consumo de materiais da economia com maior fração não renovável, mas os serviços da economia são similares entre o fluxo renovável e o não renovável, por empregar muita mão de obra familiar, que é considerado também atributo principal do sistema de produção de frangos. Portanto para melhorar os indicadores de sustentabilidade há necessidades de mudanças no processo produtivo, como o uso de fontes renováveis de energia nas granjas e o uso de combustíveis menos poluentes.

Referências

Agostinho, F., Diniz, G., Siche, R., Ortega, E. 2008. The use of emergy assessment and the Geographical Information System in the diagnosis of small family farms in Brazil. *Ecological Modelling*, 210(1-2): 37-57. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.07.007>

Allegretti, G., Talamini, E., Schmidt, V., Bogorni, P.C., Ortega, E., 2018. Insect as feed: An emergy assessment of insect meal as a sustainable protein source for the Brazilian poultry industry. *Journal of Cleaner Production*, 171, 403-412. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.244>

Bastianoni, S. 2002. Use of thermodynamic orientors to assess the efficiency of ecosystems: a case study in the Lagoon of Venice. *Scientific World Journal*, 2: 255-260. <http://dx.doi.org/10.1100/tsw.2002.88>.

Bastianoni, S., Campbell, D., Susani, L., Tiezzi, E., 2005. The solar transformity of oil and petroleum natural gas. *Ecol. Model.* 186, 212–220.

Brandt-Williams, S.L., 2002. Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Folio No. 4- Emergy of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, p. 40. Available at: <http://www.ees.ufl.edu/cep/> accessed on: 22 mar. 2016.

Brown, M.T., Ulgiati, S., 2002. Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems. *Journal of cleaner production*, 10(4): 321-334. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00043-9](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00043-9).

Brown, M.T., Ulgiati, S., 2004. Energy quality, emergy, and transformity: HT Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, 178(1-2), 201-213. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.03.002>.

Castellini, C., Bastianoni, S., Granai, C., Dal Bosco, A., Brunetti, M., 2006. Sustainability of poultry production using the emergy approach: Comparison of conventional and organic rearing systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(2-4): 343-350. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.014>

Cavalett, O., De Queiroz, J.F., Ortega, E., 2006. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*, 193(3-4), 205-224. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.023>

Em Table. Ortega, E., Teixeira, M., Vallim, C. Planilha para avaliação emergética de sistemas agrícolas e agroflorestais, Acesso em: jun. de 2018. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/em-folios/software/EmTable-v8.xls>

Emergy Simulator - Software de Modelagem e Simulação em Emergia, 2018. Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada. Acesso em: jun. de 2018. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/>.

Giannetti, B.F., Ogura, Y., Bonilla, S.H., Almeida, C.M.V.B., 2011. Accounting emergy flows to determine the best production model of a coffee plantation. *Energy Policy* 39, 7399-7407. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.005>.

Hu, Q.H., Zhang, L.X., Wang, C.B., 2012. Emergy-based analysis of two chicken farming systems: a perception of organic production model in China. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 445-454. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.038>

Jaspers, F., van den Ende, J., 2006. The organizational form of vertical relationships: Dimensions of integration. *Ind. Market. Manag.* 35, 819-828. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2006.06.016>.

IPCC 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 5 Volumes (Volume 1: General Guidance and Reporting; Volume 2: Energy; Volume 3: Industrial Processes and Product Use; Volume 4: Agriculture, Forestry, and Other Land Use.; Volume 5: Waste) (Paris: OECD Press) (available online at www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html, accessed: 13.10.15).

IPCC AR5-2014. Climate change 2014. Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Synthesis Report.

Nääs, I., Mollo Neto, M., Canuto, S., Waker, R., Oliveira, D., Vendrametto, O., 2015. Brazilian chicken meat production chain: a 10-year overview. *Braz. J. Poult. Sci.* 17, 87-94. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-635x170187-94>

Iwaczuk-Czernik, K.; Witkowska, D.; Sowinska, J.; Wójcik, A.; Mituniewicz, T., 2007. The effect of a microbiological and a disinfecting preparation on the physical and chemical properties of litter and the results of broiler chicken breeding. *Polish Journal of Natural Science*, 22(3): 395-406.

LEIA/UNICAMP - Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada. Tabela de Transformidades. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm>. Acesso em: 15 set. 2017.

Lima, J.S.G., Rivera, E.C., Focken, U., 2012. Emergy evaluation of organic and conventional marine shrimp farms in Guaraira Lagoon, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 35: 194-202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.009>.

NEPA - Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO. 4ª edição revisada e ampliada. Campinas – SP, 2011. Disponível em: http://www.nepa.unicamp.br/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf?arquivo=taco_4_versao_ampliada_e_revisada.pdf. Acesso em: 02 de out. 2018.

Odum, H.T. *Environmental accounting: emergy and environmental decision making*. Nova York: John Wiley & Sons Ltd; 370 pp., 1996.

Odum, H.T., Arding, J.E. *Emergy Analysis of Shrimp Mariculture in Equador*. Department of Environmental Engineering Sciences and Center for Wetlands Working Paper, Gainesville, USA, 1991.

Odum, H.T.; Odum, E.P., 2000. The energetic basis for valuation of ecosystem services. *Ecosystems*, New York, 3(1): 21-23.

Odum, H.T. *Emergy Evaluation of Salmon Pen Culture*. University of Florida Press, 2001.

Odum, H.T., Brown, M.T., Brandt-Williams, S.L. *Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios*. Folio no 1 -

Introduction and Global Budget. 2000. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, 17 pp. Disponível em <http://www.ees.ufl.edu/cep/>. Acesso em 22 abr. 2018.

Ortega, E. Contabilidade Ambiental e Econômica de Projetos Agroindustriais. In: Conference at XVI Brazilian Food Science and Technology Congress. 1998. Rio de Janeiro, July 16. Disponível em <http://www.unicamp.br/fea/ortega/sbcta98/sld001.htm>. Acesso em 14 maio 2016.

Ortega, E. 2002a. Contabilidade e diagnóstico dos sistemas usando os valores dos recursos expressos em energia. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/resumo.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2016.

Ortega, E., Miller, M., Anami, M.H., Copa, E., Beskow, P.R., Margarido, L.A., Guimaraes, A.K., 2002b. Manual de cálculo de energia. Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada – LEIA. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/manual.htm>. Acessado em: 20 de fev. de 2018.

Ortega, E. Estudos sobre fluxos de energia nos sistemas rurais. Campinas, 2005. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/extensao.htm>. Acesso em: 01 jun. 2017.

Padgett, J.P., Steinemann, A.C., Clarke, J.H., and Vandenberg, M.P. 2008. A comparison of carbon calculators. *Environmental Impact Assessment Review*, 28(2): 106-115.

Patricio, I.S., Mendes, A.A., Ramos, A.A., Pereira, D.F., 2012. Overview on the performance of Brazilian broilers (1990 to 2009). *Braz. J. Poultry Sci.* 14, 233-238. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2012000400001>

Patrizi, N., Niccolucci, V., Castellini, C., Pulselli, F.M., Bastianoni, S., 2018. Sustainability of agro-livestock integration: Implications and results of Emergy evaluation. *Science of The Total Environment*, 622: 1543-1552. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.029>.

Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Hine, R.E., Mason, C.F., Morison, J.I.L., Raven, H., Rayment, M.D. and van der Bijl, G., 2000. An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural Systems*, 65: 113-136.

Rótolo, G.C., Rydberg, T., Lieblein, G., Francis, C., 2007. Emergy evaluation of grazing cattle in Argentina's Pampas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119: 383-395.

Rugani, B., Pulselli, F.M., Niccolucci, V., 2011. Emergy assessment of cinta senese breeding and comparison with conventional pig production. *Emergy Synthesis*, 6: 347-358.

Siefert, R.L. E Scudlark, J.R., 2008. Determination of ammonia emission rates from a tunnel ventilated chicken house using passive samplers and a Gaussian dispersion model. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 59(2): 99-115.

Snyder, C.S.; Bruulsema, T.W.; Jensen, T.L., 2008. Melhores práticas de manejo para minimizar emissões de gases de efeito estufa associadas ao uso de fertilizantes. Piracicaba, SP. *Informações Agronômicas*, 121: 13-14.

Ulgiati, S; Brown, M.T., 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling*, 106: 23-36.

Vigne, M., Peyraud, J-L., Lecomte, P., Corson, M.S., 2013. Wilfart, A. Emergy evaluation of contrasting dairy systems at multiple levels. *Journal of Environmental Management*, 129: 44-53.

Von Bobrutzki, K., Müller, H.J. Scherer, D., 2011. Factors affecting the ammonia content in the air surrounding a broiler farm. *Biosystems Engineering*, 108(4):322-333.

Wang, X., Dadouma, A., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., Jia, L., 2015. Sustainability evaluation of the large-scale pig farming system in North China: an emergy analysis based on life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 102, 144-164. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.071>

Wilfart, A., Prudhomme, J., Blancheton, J.P., Aubin J., 2013. LCA and emergy accounting of aquaculture systems: Towards ecological Intensification. *Journal of Environmental Management*, 121: 96-109.

Wright, C., Østergård, H., 2015. Scales of renewability exemplified by a case study of three Danish pig production systems. *Ecological Modelling*, 315: 28-36.

Zhang, L.X., Yang, Z.F., Chen, G.Q., 2007. Emergy analysis of cropping-grazing system in Inner Mongolia Autonomous Region, China. *Energy Policy*, 35: 3843-3855.

Zhang, L.X., Ulgiati, S., Yang, Z.F., Chen, B. 2011. Emergy evaluation and economic analysis of three wetland fish farming systems in Nansi Lake area, China. *Journal of Environmental Management*, 92: 683-694.

Zhang, L.X., Song, B., Chen, B. 2012. Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *Journal of Cleaner Production*, 28: 33-44.

Zhang, L.X., Hu, Q.H., Wang, C.B. 2013. Emergy evaluation of environmental sustainability of poultry farming that produces products with organic claims on the outskirts of mega-cities in China. *Ecological Engineering*, 54: 128-135.

Ziereis, H. e Arnold, F. 1986. Gaseous ammonia and ammonium ions in the free troposphere. *Nature*, 321: 503-505.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A urbanização crescente, as pressões demográficas e mudanças climáticas estão transformando os sistemas agrícolas e alimentares, que incluem desde a produção até o processamento dos alimentos, e que evoluem para atender essas pressões. Neste contexto, adotar práticas agrícolas climaticamente inteligentes é uma das formas de reduzir as emissões e melhorar a sua ecoeficiência para garantir o equilíbrio entre produtividade e sustentabilidade (FAO, 2018).

Nos cenários atuais, considerando a demanda por proteína animal com menor impacto ambiental, a carne de frango é a que menos impacta no ambiente em relação às outras fontes como a carne bovina e a carne suína, e por consequência existe potencial de aumento na produtividade de frangos de corte. Diante disso, para estudar alternativas de atenuar os impactos causados pelo sistema produtivo é imprescindível avaliar a perspectiva do aumento das emissões dos gases com potencial de efeito estufa.

Estudos de impactos ambientais e análise emergética para avaliação da eficiência ambiental e econômica no processo produtivo de frangos de corte dá suporte à formulação de indicadores ambientais e permite avaliar a sustentabilidade do processo de produção da carne de frango contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável da cadeia avícola.

REFERÊNCIAS

Asman, W.A., Sutton, M.A., Schjørring, J.K. 1998. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. *The New Phytologist*, 139(1): 27-48. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1998.00180.x>.

Brown, M.T., Ulgiati, S., 2002. Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems. *Journal of cleaner production*, 10(4): 321-334. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00043-9](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00043-9).

Brown, M.T., Ulgiati, S., 2004. Energy quality, emergy, and transformity: HT Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, 178(1-2), 201-213. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.03.002>.

Carvalho, T.M.R.; Moura, D.J.; Souza, Z.M.; Souza, G.S.; Bueno, L.G.F. Qualidade da cama e do ar em diferentes condições de alojamento de frangos de corte. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(4): 351-361, 2011.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Suite of Food Security Indicators. FAOSTAT. Acesso em: 24 abril de 2018.

IPCC 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 5 Volumes: Volume 1: General Guidance and Reporting; Volume 2: Energy; Volume 3: Industrial Processes and Product Use; Volume 4: Agriculture, Forestry, and Other Land Use.; Volume 5: Waste. Paris: OECD Press.

IPCC AR5-2014. Climate change 2014. Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Synthesis Report.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, W. Irving, and T. Krug, 2006.

Lima, N.D.S., Garcia, R.G., Nääs, I.A., Caldara, F.R., Ponso, R. 2015. Model-predicted ammonia emission from two broiler houses with different rearing systems. *Scientia Agricola*, 72(5): 393-399.

Lima, K.A.O.; Moura, D.J.; Carvalho, T.M.R.; Bueno, L.G.F.; Vercellino, R.A. 2011. Ammonia emissions in tunnel-ventilated broiler houses. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 13(4): 265-270.

Menegali, I., Tinôco, I.F.F., Baêta, F.C., Cecon, P.R., Guimarães, M.C.C., Cordeiro, M.B. 2009. Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13: 984-990. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000700022>.

Miles, D.M., Rowe, D.E., Owens, P.R. 2008. Winter broiler litter gases and nitrogen compounds: temporal and spatial trends. *Atmospheric Environment*, Amsterdam, 42: 3351-3363. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.11.056>.

Odum, H.T., Arding, J.E. *Emergy Analysis of Shrimp Mariculture in Ecuador*. Department of Environmental Engineering Sciences and Center for Wetlands Working Paper, Gainesville, USA, 1991.

Odum, H.T. 1996. *Environmental accounting: emergy and environmental decision making*. Nova York: John Wiley & Sons Ltd; 370 pp,

Oliveira, C.O.M.; Almeida, C.V.; Andrade, D.O.; Rodrigues, S.M. 2003. Teor de matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32(4): 951-954. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982003000400022>.

Ortega, E. 2002. *Contabilidade e Diagnóstico dos Sistemas Usando os Valores dos Recursos Expressos em Emergia*. LEIA/UNICAMP. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/resumo.pdf>. Acesso em: 14 maio 2016.

Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Hine, R.E., Mason, C.F., Morison, J.I.L., Raven, H., Rayment, M.D., van der Bijl, G. 2000. An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural Systems*, 65(2): 113-136. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00031-7](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00031-7).

Pretty, J.N., Ball, A.S., Lang, J.I.L., Morison, J.I.L. 2005. Farm costs and food miles: an assessment of the full cost of the UK weekly food basket. *Food Policy*, 30: 1-19.

Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L. 2008. Melhores práticas de manejo para minimizar emissões de gases de efeito estufa associadas ao uso de fertilizantes. Piracicaba, SP. *Informações Agronômicas*, 121: 13-14.

Rogeri, D.A., Ernani, P.R., Mantovani, A., Lourenço, K.S. 2016. Composition of poultry litter in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc2014069>.

Toghyani, M., Gheisari, A., Modaresi, M., Tabeidian S.A., 2010. Toghyani, M. Effect of different litter material on performance and behavior of broiler chickens. *Applied Animal Behaviour Science*, 122(1): 48-52. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.11.008>.

Ulgiati, S. e Brown, M.T. 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling*, 106: 23-36. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(98\)00016-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(98)00016-7).

Ziereis, H. e Arnold, F. 1986. Gaseous ammonia and ammonium ions in the free troposphere. *Nature*, 321: 503-505.

ANEXOS

CAPITULO II - Custo ambiental do processo produtivo de frangos de corte: usando a abordagem da contabilidade emergética.

Anexo 1 - Transformidade da ração das aves

Tabela 1. Cálculo da Transformidade da composição da ração das aves

| Ingredientes | % | Tr (seJ/kg)* | Tr relativa(seJ/kg) |
|-----------------------------|------|--------------|---------------------|
| Milho | 67,3 | 8,30E+04 | 5,59E+04 |
| Farelo de soja | 24,5 | 2,98E+12 | 7,30E+11 |
| Farinha de glúten de milho | 4,5 | 1,00E+12 | 4,50E+10 |
| Óleo de soja | 1,0 | 1,66E+05 | 1,66E+03 |
| Calcário calcítico | 0,7 | 1,00E+09 | 7,00E+06 |
| Farinha de carne e ossos | 0,6 | - | 0,00E+00 |
| Bicarbonato de sódio | 0,5 | - | 0,00E+00 |
| L-Lisina HCl | 0,3 | 1,48E+10 | 4,44E+07 |
| Premix vitaminas-minerais | 0,3 | 1,48E+10 | 4,44E+07 |
| DL-Metionina | 0,2 | 1,48E+10 | 2,96E+07 |
| Sal | 0,1 | 2,00E+12 | 2,00E+09 |
| Depreciação de equipamentos | 5,0 | - | 4,83E+10 |
| Serviços | 5,0 | - | 4,57E+10 |
| Total (seJ/kg) | | 6,03E+12 | 8,71E+11 |

*Odum, (1996); Cavalett, (2006); Brown e Ugliati, (2004); Ortega et al., (2002).

Tabela 2. Notas de cálculos da tabela de avaliação emergética

| Nota | Descrição | | | | |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------|--|---|-----|
| 1 | Sol, J | Insolação = | 58,46 | kWh/m ² /dia | [a] |
| | | Albedo = | 15 | (%) | |
| | | Conversão 1 = | 365 | dias/ano | |
| | | Conversão 2 = | 3600000 | J/kWh | |
| | | Conversão 3 = | 10000 | m ² /ha | |
| | | Energia (J) = | (insolação)*((100-albedo)/100)*(conversão 1)*(conversão 2)*(conversão 3) | | |
| | | Energia (J) = | 3,44E+13 | J/ha/ano | |
| 2 | Vento, J | Velocidade do vento = | 3,0 | m/s | [b] |
| | | Vento geotrópico | 1,80 | m/s | |
| | | Densidade do ar = | 1,30 | kg/m ³ | |
| | | Coef. de arraste = | 0,001 | adimensional | |
| | | Conversão 1 = | 10000 | m ² /ha | |
| | | Conversão 2 = | 31536000 | s/ano | |
| | | Energia (J) = | (densidade)*(velocidade) ³ *(coef. arraste)*(conversão 1)*(conversão 2) | | |
| Energia (J) = | 6,47E+07 | J/ha/ano | | | |
| 3 | Chuva, J | Chuva = | 1186 | mm/m ² /ano ou L/m ² /ano | [c] |
| | | Conversão 1 = | 10000 | m ² /ha | |
| | | Conversão 2 = | 1 | kg/L | |
| | | Energia da chuva = | 5000 | J/kg | |
| | | Energia (J) = | (precipitação)*(conversão 1)*(conversão 2)*(energia da chuva)/19 | | |
| Energia (J) = | 3,12E+09 | J/ha/ano | | | |
| 4 | Perda do Solo, J | Solo perdido = | 14612 | kg/ha/ano | [d] |
| | | Média de Matéria Orgânica = | 4 | (%) | |
| | | Conversão 1 = | 5400 | kcal/kg | |
| | | Conversão 2 = | 4186 | J/kcal | |
| | | Energia (J) = | (solo perdido)*(%MO/100)*(conversão 1)*(conversão 2) | | |
| | | Energia (J) = | 6,95E+08 | J/ha/ano | |
| 5 | Ração, kg | Tamanho da propriedade = | 19 | ha | [e] |
| | | Nº de aves = | 1913880 | cabeças | |
| | | Consumo por animal = | 31,44 | kg/ano | |
| | | Quantidade Total = | (nº aves)*(consumo por animal)/ha | | |
| | | Consumo = | 3,17E+06 | kg/ha/ano | |
| 6 | Medicamentos, US\$ | Nº de animais = | 105094,74 | aves/ha/ano | [f] |
| | | Consumo anual = | 5 | dose/ animal/ano | |

| | | | | |
|-----------|--|---|--------------------|-----|
| | Preço = | 0,0076 | R\$ | |
| | Cotação US\$ = | 3,35 | R\$ | |
| | Quantidade = | (n° animais)*(consumo diário)*(dias) | | |
| | Quantidade = | 525473,7 | US\$/ano | |
| | Quantidade = | 27.656,51 | US\$/ha/ano | |
| 7 | Eletricidade, J | | | [g] |
| | Tamanho da propriedade = | 19 | ha | |
| | Consumo em reais = | 12882 | R\$/mês | |
| | Valor da tarifa = | 0,38 | R\$/kWh | |
| | Consumo por ano = | 406800 | kWh/ano | |
| | Conteúdo de energia = | 3,60E+06 | J/kWh | |
| | Energia (J) = | (consumo de energia)*(conteúdo de energia)/(área) | | |
| | Energia (J) = | 7,71E+10 | J/ha/ano | |
| 8 | Mão de obra, J | | | [h] |
| | Tamanho da propriedade = | 19 | ha | |
| | Número de pessoas = | 6 | pessoas | |
| | Tempo = | 8 | h/dia | |
| | Energia gasta no dia = | 225 | kcal/h | |
| | Conversão 1 = | 365 | dias/ano | |
| | Conversão 2 = | 4186 | J/kcal | |
| | Energia(J) = | (horas/dia)*(energia gasta)*(conversão 1)*(conversão 2) | | |
| | Energia(J) = | 8,68E+08 | J/ha/ano | |
| 9 | Depreciação das instalações, US\$ | | | [i] |
| | US\$ = | 0,06 | R\$/ave | |
| | Vida útil = | 12 | anos | |
| | Custo anual = | (US\$)/(vida útil) | | |
| | Total = | 26,51 | US\$/ha/ano | |
| 10 | Depreciação das casas, US\$ | | | [i] |
| | US\$ = | 3,35 | R\$ | |
| | Vida útil = | 30 | anos | |
| | Custo anual = | (m ² /19ha)*(400R\$/m ²)*(US\$/3,35R\$)/30anos | | |
| | Total = | 34,56 | US\$/ha/ano | |

[a] NASA - Base de dados climáticos. Climatology Resource for SSE - Renewable Energy. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/>. Acesso em: 20/01/2018.

[b] SEMAGRO - Base de dados climáticos. Disponível em: <https://www.semagro.ms.gov.br>. Acesso em: 20/01/2018.

[c] INMET - Base de dados climáticos. Disponível em: <https://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 20/01/2018.

[d] Brandt-Williams (2002).

[e] Obtido a partir de dados fornecidos pelo produtor.

[f] Obtido a partir de dados fornecidos pelo produtor.

[g] Obtido a partir de dados fornecidos pelo produtor.

[h] Obtido a partir de dados fornecidos pelo produtor.

[i] Projeção do mercado financeiro para a taxa média de câmbio para 2016-2017 para o dólar.