

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

LUAN RIBEIRO BRAGA

**ANÁLISE AMBIENTAL E ECONÔMICA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO
DE FRANGOS DE CORTE**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

LUAN RIBEIRO BRAGA

**ANÁLISE AMBIENTAL E ECONÔMICA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO
DE FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Natália dos Santos Renato

Coorientadora: Nilsa Duarte da Silva Lima

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de
Viçosa - Campus Viçosa

T

B813a
2024 Braga, Luan Ribeiro, 1996-
Análise ambiental e econômica de sistemas de produção de
frangos de corte / Luan Ribeiro Braga. - Viçosa, MG, 2024.
1 dissertação eletrônica (68 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Natália dos Santos Renato.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2024.

Referências bibliográficas: f. 58-63.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.160>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Frangos de corte. 2. avaliação ambiental. 3. análise econômica.
4. ciclo de vida. 5. energia. I. Renato, Natália dos Santos, 1984-. II.
Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Agrícola. Mestrado em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 636.513

Bibliotecário(a) responsável: Kellen dos Santos Silva Barbosa CRB-6/ES 548


LUAN RIBEIRO BRAGA

**ANÁLISE AMBIENTAL E ECONÔMICA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO
DE FRANGOS DE CORTE**


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **LUAN RIBEIRO BRAGA**
Data: 17/06/2024 18:00:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Luan Ribeiro Braga
Autor

Documento assinado digitalmente
 **NATALIA DOS SANTOS RENATO**
Data: 18/06/2024 10:56:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Natália dos Santos Renato
Orientadora

Ao Mestre dos Mestres,
meu Senhor **Jesus Cristo**,
o Filho do Deus vivo.
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço ao meu Deus por tamanha Graça pela a vida na qual me confiou. Quantas circunstâncias pude viver nestes dois últimos anos: sonhos e realidades, gargalhadas e lágrimas, covardia e coragem, desamparo e amparo, enfermidade e saúde, perseguição e honra, abundância e escassez, estimado e rejeitado, sabedoria e ignorância, falhas e acertos, encontros e perdas, paz e conflitos, dúvida e fé. Todas essas antíteses não se comparam ao paradoxo de que *Milhares de Anjos* estiveram comigo em todas estas situações. A Ti, toda Honra, Glória e Louvor, meu Senhor Jesus. *El Roi*, é o Deus que me vê.

Aos meus pais, Luciano e Luzia, agradeço por todos os momentos que me apoiaram e buscaram fazer o que podiam para me ajudar nesta caminhada. Meu pai que muito me ama e que quer sempre meu bem. E minha mãe, não tenho palavras para dizer sobre o que sinto por ela. Minhas manhãs na roça eram mais felizes quando comia os bolinhos de sal com café, bem quentinhos, que fazia com tanto amor.

Também registro um carinho especial ao meu irmão Lucas, minhas irmãs Luana e Luciana, meu cunhado Ramon, aos meus avós João Ribeiro, Lúcia, João Braga, Carlota Rezende (*in memoriam*) e minha bisavó Elvira Pizani (*in memoriam*). Vocês são muito importantes para mim, amo vocês.

Agradeço ao meu irmão em Cristo, Cláudio Luciano da Silva, que apesar de não ter me encontrado com ele nenhuma vez nestes dois últimos anos, se fez presente todos os dias, pois estou vivendo tudo aquilo que um dia semeamos juntos com o nosso Deus entre os anos de 2018 a 2020 na Igreja Batista da Lagoinha, em Belo Horizonte. É *Só Um Relance* o que podemos contemplar por agora.

Agradeço aos meus primeiros incentivadores para desbravar os estudos, os professores Vanda de Melo Garcia Vargas e José Antônio Pinto. Quão preciosos foram os conselhos e atitudes de vocês. Quanto me encorajaram. Sempre levarei comigo.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À minha orientadora, Natália dos Santos Renato. Obrigado por ter me acolhido e dado a oportunidade de fazer parte do Grupo de Pesquisa de Energia na Agricultura.

À minha coorientadora, Nilsa Duarte da Silva Lima. Obrigado por confiar e acreditar no meu trabalho, pelos valiosos conselhos, disposição em ajudar e por sempre atuar de maneira tão humana. Eu não tenho palavras para dizer o quanto me abençoou. Simplesmente, mais uma vez, obrigado.

Agradeço pelo apoio imprescindível da Associação dos Avicultores da Zona da Mata (AVIZOM) juntamente com a Comissão para Acompanhamento, Desenvolvimento e Conciliação da Integração (CADEC) da empresa integradora da região, por meio dos senhores José Eugênio Paceli Lopes, João Dehom Lopes Machado, Luciano Rezende Braga e Igor Henrique Lino, em colaborar no contato com os avicultores e na obtenção dos dados para o estudo.

Agradeço ao Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais - Campus Muriaé, em especial ao professor Gustavo Azevedo Xavier, que me autorizou a utilizar um espaço de trabalho junto aos laboratórios da instituição para a execução desta pesquisa.

Agradeço à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), por meio do professor Clandio Favarini Ruviaro, pela parceria na obtenção de parte dos resultados alcançados neste trabalho.

Agradeço aos colegas de pós-graduação, do grupo de pesquisa da área de Energia na Agricultura e dos que fiz na realização das disciplinas, obrigado pela parceria e apoio nos estudos, *happy hour* e reflexões que tivemos juntos.

Durante o mestrado, tive a oportunidade de conviver com pessoas especiais, que me abençoaram de diversas maneiras e que tornaram esta jornada mais leve e feliz. Obrigado Rafael Rocha, Alexandre Mieli, Lígia Maria dos Reis, Caroline Piccoli, Elisa Berg (*in memoriam*), Josué Lima, Jussara Félix, Lucas Sampaio, Anderson Gibbert, Paola Correia, Nataly Demarque, Valéria Fernandes, Francisco Carlos, Marcus Vinícius Costa, Maria Delizette Loures, Geissiane Aguiar, Gilcilea Braga, Gabriel Rabelo e Daniel Receptuti (e toda a sua família).

Por fim, agradeço aos demais colegas, amigos e familiares que de modo, direta ou indiretamente, estiveram presentes e me apoiaram de alguma forma 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.

BIOGRAFIA

LUAN RIBEIRO BRAGA, filho de Luzia de Fátima Ribeiro Braga e Luciano Rezende Braga, nasceu em Mirai, Minas Gerais, Brasil, em 04 de Maio de 1996.

Em 22 de fevereiro de 2016, iniciou o curso de Engenharia Elétrica no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), graduando-se em fevereiro de 2022. Foi bolsista de iniciação científica e na assistência estudantil, monitor na disciplina de máquinas elétricas, além de voluntário em projetos de extensão na instituição. Atuou como estagiário na Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) de 2018 a 2020 e de 2022 a 2024 trabalhou como professor substituto no Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais - Campus Muriaé.

Em março de 2022, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em nível de Mestrado, na Área de Concentração em Energia na Agricultura, submetendo-se à defesa da dissertação, requisito indispensável para a obtenção do título de *Magister Scientiae*, em 27 de fevereiro de 2024.

“Ora, a fé é a certeza de coisas que se esperam, a convicção de fatos que não se veem.

Pois, pela fé, os antigos obtiveram bom testemunho.

Pela fé, entendemos que foi o universo formado pela palavra de Deus, de maneira que o visível veio a existir das coisas que não aparecem.

De fato, sem fé é impossível agradar a Deus, porquanto é necessário que aquele que se aproxima de Deus creia que Ele existe e que se torna galardoador dos que o buscam”.

(Hebreus 11: 1-3,6 ARA)

RESUMO

BRAGA, Luan Ribeiro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2024. **Análise ambiental e econômica de sistemas de produção de frangos de corte.** Orientadora: Natália dos Santos Renato. Coorientadora: Nilsa Duarte da Silva Lima.

O estudo sobre os aspectos ambientais, energéticos e econômicos em processos agrícolas são importantes para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis em sistemas de produção de alimentos. Neste trabalho foram avaliados os impactos ambientais a partir da avaliação de ciclo de vida (ACV), o uso de energia e os custos econômicos em sistemas de produção de frangos de corte na região sudeste do estado de Minas Gerais, Brasil. Foram analisados quatro cenários de sistemas intensivos de criação de frangos de corte, divididos em galpões com sistema de ventilação por pressão positiva e negativa, com e sem sistemas fotovoltaicos de geração distribuída de energia elétrica. Na ACV foi considerada a unidade funcional de 1 kg de frango vivo e a fronteira de estudo do tipo *cradle-to-gate studies*. Os resultados para a categoria de impacto ambiental de emissões de gases de efeito estufa variaram de 2,52 kg CO₂-eq a 2,92 kg CO₂-eq nos cenários analisados. O potencial de acidificação e de eutrofização também foram considerados na avaliação dos impactos ambientais. Os sistemas de produção de frangos de corte com sistemas fotovoltaicos podem reduzir entre 2,58 t CO₂-eq e 4,96 t CO₂-eq anualmente, além de apresentarem no estudo os melhores índices de eficiência energética. Em relação a análise econômica, todos os cenários avaliados mostraram-se viáveis economicamente no ponto de vista do produtor rural, entretanto os galpões com sistemas de ventilação por pressão positiva apresentaram os menores resultados no índice de relação custo-benefício. O subsistema de produção de ração foi a fase de ciclo de vida que mais contribuiu para o potencial de aquecimento global e em relação ao aspecto energético, representando cerca de 82% da demanda de entrada total de energia da produção de frangos de corte. Em todos os cenários avaliados os maiores custos de produção estão associados à casca de café (36,5%), matéria prima da cama de frango, e às manutenções das instalações (23,1%). Os resultados também mostraram que a adoção de sistemas fotovoltaicos nos sistemas de produção de frangos de corte pode reduzir os custos com energia elétrica de 19,4% a 26,5% ao ano. Em relação à confiabilidade dos dados do inventário de ciclo de vida, foram avaliadas as

incertezas a partir da análise de Monte Carlo junto ao SimaPro®. Verificou-se que a adoção de sistemas fotovoltaicos na produção de frangos de corte em galpões com sistema de ventilação por pressão negativa reduzem os impactos ambientais, são mais eficientes energeticamente e colaboram para uma maior rentabilidade e manutenção da avicultura de corte na região estudada.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida. Custos econômicos. Emissões de gases de efeito estufa. Energia. Geração distribuída.

ABSTRACT

BRAGA, Luan Ribeiro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2024. **Environmental and economic analysis of broiler production systems**. Adviser: Natália dos Santos Renato. Co-adviser: Nilsa Duarte da Silva Lima.

The study of environmental, energy and economic aspects in agricultural processes is important for the development of sustainable alternatives in food production systems. In this work, environmental impacts were evaluated based on life cycle assessment (LCA), energy use and economic costs in broiler production systems in the southeastern region of the state of Minas Gerais, Brazil. Four scenarios of intensive broiler breeding systems were analyzed, divided into sheds with positive and negative pressure ventilation systems, with and without photovoltaic systems for distributed electrical energy generation. In LCA, the functional unit of 1 kg of live chicken was considered and the study boundary was cradle-to-gate studies. The results for the environmental impact category of greenhouse gas emissions ranged from 2.52 kg CO₂-eq to 2.92 kg CO₂-eq in the analyzed scenarios. The potential for acidification and eutrophication were also considered in the assessment of environmental impacts. Broiler production systems with photovoltaic systems can reduce between 2.58 t CO₂-eq and 4.96 t CO₂-eq annually, in addition to presenting the best energy efficiency rates in the study. Regarding the economic analysis, all scenarios evaluated proved to be economically viable from the rural producer's point of view, however, warehouses with positive pressure ventilation systems presented the lowest results in the cost-benefit ratio index. The feed production subsystem was the life cycle phase that contributed most to global warming potential and in relation to the energy aspect, representing around 82% of the total energy input demand for broiler production. In all scenarios evaluated, the highest production costs are associated with coffee husks (36.5%), chicken litter raw material, and facility maintenance (23.1%). The results also showed that the adoption of photovoltaic systems in broiler production systems can reduce electricity costs by 19.4% to 26.5% per year. Regarding the reliability of life cycle inventory data, uncertainties were assessed based on Monte Carlo analysis using SimaPro®. It was found that the adoption of photovoltaic systems in the production of broiler chickens in sheds with a negative pressure ventilation system reduces environmental impacts, is more energy

efficient and contributes to greater profitability and maintenance of broiler poultry farming in the studied region.

Keywords: Distributed generation. Economic costs. Energy. Greenhouse gas emissions. Life cycle assessment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização geográfica dos municípios com atuação da empresa integradora.....	30
Figura 2 - Limites e diagrama de fluxo do sistema do estudo.....	34
Figura 3 - Valores em percentual relativo dos impactos ambientais calculados com base na Avaliação do Ciclo de Vida.....	46
Figura 4 - Participação da energia de entrada média dos insumos na produção de frangos de corte.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média dos dados da temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa e precipitação da região de estudo no ano de 2020.....	31
Tabela 2 - Dados do Inventário de Ciclo de Vida para cada um dos cenários de estudo.....	35
Tabela 3 - Coeficientes técnicos dos sistemas de produção avaliados.....	37
Tabela 4 - Ganho de peso diário médio por sexo nos sistemas de produção de frangos de corte.....	37
Tabela 5 - Fluxos de inventário de ciclo de vida e seus respectivos processos obtidos do Ecoinvent.....	38
Tabela 6 - Resultados das categorias de impactos ambientais com base na Avaliação do Ciclo de Vida.....	45
Tabela 7 - Índices de energia dos sistemas de produção de frangos de corte avaliados.....	51
Tabela 8 - Índices e custos anuais dos sistemas de produção de produção de frangos de corte avaliados.....	54
Tabela 9 - Média e coeficientes de variação para as categorias de impacto avaliadas na análise de incerteza.....	56

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACR	Ambiente de contratação regulada
ACV	Avaliação do ciclo de vida
AICV	Avaliação de impacto do ciclo de vida
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AP	Potencial de acidificação
BRL	Real brasileiro
CFV	Com sistemas fotovoltaicos
CML	<i>Institute of Environmental Sciences of Leiden University</i>
CO ₂	Dióxido de carbono
COE	Custo operacional efetivo
COT	Custo operacional total
CT	Custo total
EL	Energia líquida
EP	Potencial de eutrofização
eq	equivalente
EE	Eficiência energética
GEE	Gases de efeito estufa
GPD	Ganho de peso diário
PAG	Potencial de aquecimento global
ICV	Inventário de ciclo de vida
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
kg	Quilograma
kWh	Quilowatt-hora
L	Litro
LaRC	<i>Langley Research Center</i>
m ²	Metros quadrados
MB	Margem bruta
MJ	Megajoule
ML	Margem líquida
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>

ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PE	Produtividade energética
PN	Pressão negativa
PO ₄	Fosfato
POWER	<i>Prediction of Worldwide Energy Resource</i>
PP	Pressão positiva
RB	Renda bruta
RCB	Relação de custo-benefício
SCEE	Sistema de compensação de energia elétrica
SENAR	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural
SFV	Sem sistemas fotovoltaicos
SO ₂	Dióxido de enxofre
t	Tonelada
t/km	Tonelada por quilômetros
UE	União Europeia
UFV	Central geradora fotovoltaica
USD	Dólar americano

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	26
2 OBJETIVOS.....	29
2.1 Objetivo Geral.....	29
2.2 Objetivos Específicos.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 Caracterização do objeto de estudo.....	30
3.2 Avaliação dos impactos ambientais a partir da abordagem de ACV.....	32
3.2.1 Definição de objetivo e escopo.....	33
3.2.2 Análise do inventário do ciclo de vida (ICV).....	34
3.2.3 Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV).....	38
3.2.4 Interpretação do ciclo de vida.....	40
3.2.5 Análise de incertezas.....	40
3.3 Avaliação dos custos econômicos e do uso de energia.....	41
3.3.1 Análise do uso de energia.....	41
3.3.2 Análise econômica.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1 Avaliação dos impactos ambientais.....	45
4.1.1 Neutralização das emissões de GEE.....	49
4.2 Avaliação do uso de energia.....	50
4.3 Avaliação econômica.....	52
4.4 Análise de incertezas.....	55
5 CONCLUSÕES.....	57
REFERÊNCIAS.....	58
APÊNDICE A - Questionário de coleta de informações por galpão.....	64
APÊNDICE B - Entradas e saída de energia para os cenários estudados.....	66
APÊNDICE C - Composição dos custos anuais dos sistemas avaliados.....	68

1 INTRODUÇÃO

Entre os caminhos que se fazem necessários para o desenvolvimento sustentável na agricultura, está a quantificação e comparação dos aspectos energéticos, econômicos e ambientais dos produtos e processos por ela realizados. No Brasil, tem-se a produção de frangos de corte, uma atividade de destaque na agricultura nacional e os estudos na área colaboram para o desenvolvimento do setor. Dados consolidados de 2022 apontam que no Brasil a avicultura de corte é responsável por produzir em torno de 14,524 milhões de toneladas de frango, sendo o país o 2º maior produtor e maior exportador mundial de carne de frango. Tradicionalmente, a região Sul do Brasil é a principal produtora, com valores correspondentes a cerca de 64,42% da produção nacional. Minas Gerais é o sexto maior produtor do país, com 7,24%. A mesorregião da Zona da Mata, em Minas Gerais, contribui com cerca de 8% da produção de frangos de corte do estado (ABPA, 2023; PAINEL AGROPECUÁRIO, 2023).

Os sistemas intensivos de produção de frangos de corte, comparados a outros sistemas de produção, são geralmente identificados como ambientalmente mais eficientes (NACIMENTO et al., 2022). Ainda assim, face ao crescimento do setor, tem sido impulsionada uma maior preocupação sobre a avicultura de corte e o seu impacto no ambiente e na saúde humana (MARTINELLI et al., 2020; MOTTET; TEMPIO, 2017).

Estudos têm buscado compreender as potenciais vulnerabilidades e impactos futuros das mudanças climáticas nos sistemas globais de produção agrícola, como também em sistemas de produção de frangos de corte. A quantificação dos parâmetros de encargos ambientais permite determinar o quanto as emissões de gases de efeito estufa afetam o ambiente (IZAR-TENORIO et al., 2020; ROCCHI et al., 2019).

A avaliação de ciclo de vida (ACV) é uma das metodologias mais abrangentes e sólidas utilizadas para a avaliação de impactos ambientais de produtos e serviços. A ACV indica os pontos críticos na cadeia produtiva, ao mesmo tempo em que oferece a oportunidade de reduzir o impacto ambiental e melhorar a eficiência dos sistemas avaliados (COSTANTINI et al., 2021; SKUNCA et al., 2018). Durante as últimas décadas, estudos que avaliam a intensidade energética e a análise de ACV

de vários produtos da indústria agroalimentar foram realizados (PELLETIER, 2008; BAMBER et al. 2020; KHANALI et al., 2020).

Quanto à adoção da ACV na avicultura de corte, cita-se o exemplo do trabalho realizado por Pishgar-Komleh et al. (2017), que quantificaram o total de emissões de gases de efeito estufa, a eficiência do uso de energia na produção e relação custo-benefício entre diferentes processos produtivos em galpões com capacidades distintas de alojamento de frangos de corte em uma região do Irã. Por sua vez, Lima et al. (2019) avaliaram o potencial de aquecimento global e o impacto ambiental de sistemas convencionais de frangos de corte na região sul do estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. Tais estudos em novas regiões, tanto para o Brasil quanto para outros países, é de extrema importância para o desenvolvimento de tecnologias, para identificar os perfis de ciclo de vida dos sistemas de produção nas regiões e também para identificar métodos que possam reduzir os impactos ambientais associados aos processos produtivos.

Martinelli et al. (2020) avaliaram o potencial de impactos ambientais e a ecoeficiência via ACV entre os sistemas de produção de frangos de corte dos tipos convencional, *Dark House* e orgânicos em granjas na região Sul do Brasil. Rocchi et al. (2019) compararam os sistemas de produção convencional, caipira e caipira combinado com um olival na Itália. O estudo entre diferentes sistemas de produção e em outras regiões traz ainda mais detalhes sobre o impacto ambiental da avicultura de corte quanto ao uso de recursos naturais, renováveis e não-renováveis, principalmente.

A energia é um dos insumos mais importantes para o crescimento econômico, para o desenvolvimento humano e é amplamente necessária na produção de sistemas agrícolas. A análise energética é um dos métodos mais úteis para avaliar o potencial de sustentabilidade de uma prática agrícola. Por meio dela, colabora-se na promoção da competitividade junto à redução de custos, que resulta na minimização da poluição ambiental relacionada à energia, por exemplo (PISHGAR-KOMLEH et al., 2017).

Li et al. (2022) apresentaram em seu estudo que a energia não-renovável em sistemas de produção avícola pode representar até 50% do uso de energia e implicar de 20% a 35% dos impactos do ciclo de vida. Os autores propuseram a adoção de sistemas fotovoltaicos em galpões de produção avícola intensiva, como alternativa para reduzir o uso de energia direto da rede elétrica, e

consequentemente à redução do uso de energia do sistema de produção (LI et al., 2022).

Embora as emissões de gases de efeito estufa sejam menores na avicultura, comparadas aos sistemas de produção de ruminantes, encontra-se uma contribuição para gases poluentes (SKUNKA et al., 2018). Em relação ao estudo sobre a contribuição para o potencial de aquecimento global dos dejetos produzidos nos sistemas de produção de frangos de corte, Martinelli et al. (2020) afirmam que os gases e resíduos liberados durante a criação de frangos de corte contribuem para o efeito estufa, como o metano e o óxido nitroso no manejo do esterco e a amônia da decomposição dos excrementos.

Na avaliação de sistemas de produção de frangos de corte, a rentabilidade econômica é relevante para que os produtores possam ter uma melhor compreensão do sistema de produção, tornando-o mais produtivo. Uma análise conjunta entre o uso de energia, quantificação de impactos ambientais e de custos econômicos permite uma comparação da eficiência energética de um sistema de produção (PISHGAR-KOMLEH et al., 2017).

Verifica-se uma carência de trabalhos sobre o mapeamento dos impactos ambientais, uso de energia e custos econômicos de sistemas de produção de frangos de corte no Brasil (EMBRAPA AGROPENSA, 2017). O Brasil é um país extenso com regiões de características distintas e o estudo em novas regiões contribuem para entender a participação, dimensão dos impactos ambientais e colaborar na proposição de medidas de redução de emissões de gases de efeito estufa, custos econômicos e quanto ao uso de energia, com a intenção de alcançar processos produtivos mais sustentáveis.

O objetivo deste estudo foi avaliar o uso de energia, o impacto ambiental usando a abordagem de ACV e os custos econômicos de sistemas intensivos de produção de frangos de corte com e sem sistemas fotovoltaicos na região da Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil. O estudo buscou através da avaliação ambiental, de energia e econômica identificar áreas-chave dos sistemas de produção que podem ser trabalhadas para uma produção de frangos de corte cada vez mais sustentável para o meio ambiente e o produtor rural.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o uso de energia, os custos econômicos e os impactos ambientais em sistemas intensivos de produção de frangos de corte dos tipos de pressão positiva e negativa, com e sem sistemas fotovoltaicos.

2.2 Objetivos Específicos

2.2.1 Avaliar os impactos ambientais entre os diferentes sistemas de produção de frangos de corte, usando a abordagem de avaliação de ciclo de vida (ACV);

2.2.2 Avaliar os custos econômicos e o uso de energia entre os diferentes sistemas de produção de frangos de corte.

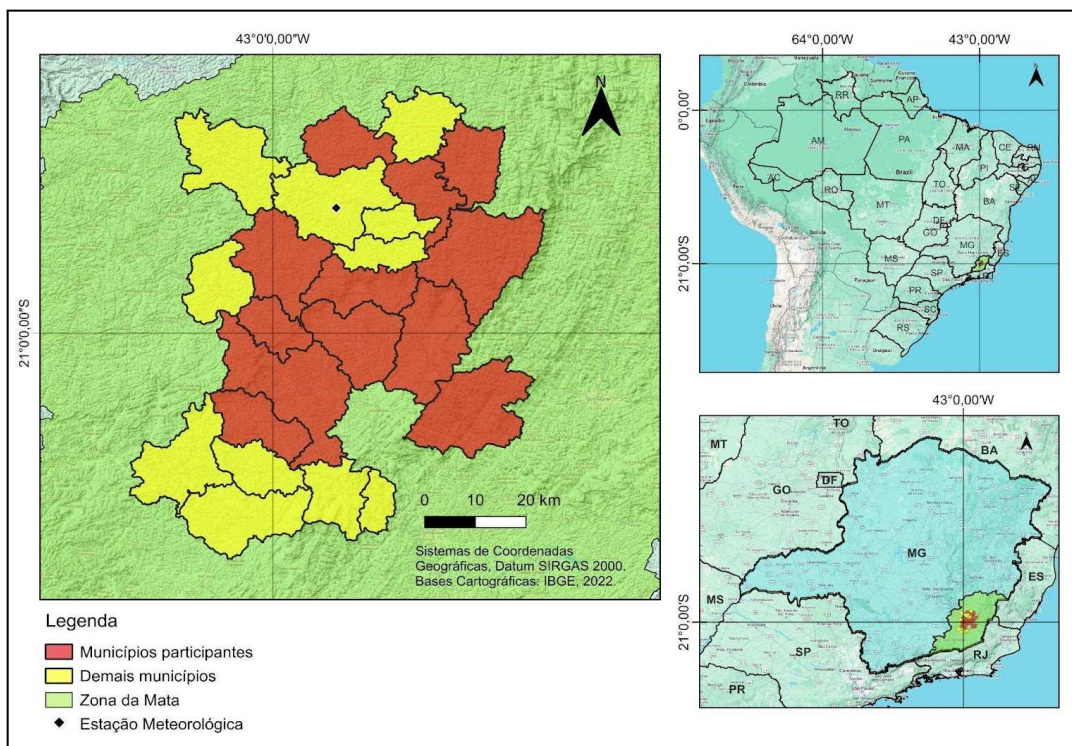
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do objeto de estudo

Na pesquisa foram analisados os sistemas intensivos de produção de frangos de corte presentes em municípios da mesorregião da Zona da Mata, localizada no sudeste do estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1). Foram coletados dados de galpões localizados em 12 dos 23 municípios onde a empresa integradora atuava. Os sistemas adotados na região são os dos tipos Convencional, *Blue House* e *Dark House*, que foram divididos em dois grupos: o de pressão positiva (PP), que inclui o sistema do tipo convencional, e o de pressão negativa (PN), que agrupou os demais.

Além dos dois sistemas de produção, foi considerada a maneira na qual a granja de criação de frangos utilizava a energia elétrica junto ao mercado cativo de energia no ACR. Foi verificado que existiam galpões sem (SFV) ou com sistemas fotovoltaicos (CFV), ou seja, com unidades consumidoras que possuíam ou não geração distribuída, de acordo com a Lei 14.300/22 (BRASIL, 2022).

Figura 1 - Localização geográfica dos municípios com atuação da empresa integradora



Fonte: Autor.

Inicialmente foi necessária a elaboração de um inventário que abrangesse as informações necessárias para obtenção dos dados relativos ao uso de água, de energia, matérias primas e dos custos econômicos associados a fim de compreender as entradas e as saídas dos sistemas de produção de frangos de corte.

Desse modo, os dados para elaboração do inventário das granjas foram obtidos a partir de dados e informações levantados junto aos avicultores por meio da aplicação de questionários (Apêndice A), entrevistas realizadas em campo e relatórios técnicos de produção. As informações obtidas correspondiam ao período entre julho de 2022 e junho de 2023, abrangendo seis ciclos produtivos do ano. O banco de dados obtido a partir dos relatórios técnicos de produção foi composto por índices produtivos de 150 lotes de criação de frangos de corte.

Assim foram formados quatro cenários possíveis entre os sistemas de produção de frangos de corte na mesorregião, na qual considerou o respectivo sistema de produção e o perfil da unidade consumidora de energia elétrica. Os cenários foram classificados em PP-SFV (pressão positiva sem sistemas fotovoltaicos), PP-CFV (pressão positiva com sistemas fotovoltaicos), PN-SFV (pressão negativa sem sistemas fotovoltaicos) e PN-CFV (pressão negativa com sistemas fotovoltaicos). Os quatro cenários foram avaliados a fim de verificar as diferenças e particularidades quanto aos impactos ambientais, uso de energia e custos econômicos no ponto de vista ao produtor rural.

Os dados sobre as condições climáticas que caracterizam a região do estudo foram obtidos junto ao Projeto *Langley Research Center (LaRC) Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)* da *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* para o ano de 2020.

Tabela 1 - Média dos dados da temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa e precipitação da região de estudo no ano de 2020

Mês	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Umidade Relativa (%)	Precipitação (mm)
Janeiro	32,3	17,4	85,4	260,3
Fevereiro	30,8	17,4	87,0	219,6
Março	29,9	14,7	86,5	140,7
Abril	29,8	13,8	85,6	48,3

Maio	28,0	8,4	83,4	47,3
Junho	29,5	11,3	79,0	6,7
Julho	30,8	12,3	75,0	14,5
Agosto	33,8	9,4	71,8	20,0
Setembro	37,9	14,5	63,3	38,3
Outubro	39,4	15,0	71,1	113,0
Novembro	33,1	12,7	79,5	139,7
Dezembro	33,7	17,9	81,0	163,4

Fonte: POWER (2024).

Em relação às condições climáticas da região (Tabela 1), verifica-se que as temperaturas máximas em quase todos os meses estão entre 28,0 °C a 39,4 °C, aproximadamente, exceto nos meses de maio e junho que registraram os menores valores de temperaturas máximas na faixa dos 28,0 °C aos 29,5 °C (período de inverno). As temperaturas mínimas apresentam maiores variações em relação às variações registradas nas temperaturas máximas para o período. Os meses com as menores temperaturas concentraram-se entre os meses de maio a agosto (8,4 °C aos 12,3 °C) e com precipitação média mensal de 22,13 mm, aproximadamente. Juntamente com os períodos com as menores temperaturas registradas verificou-se a menor incidência de chuvas e apenas nos meses de outubro a fevereiro as maiores concentrações de chuvas, chegando até 260,3 mm no mês de janeiro. Quanto à umidade relativa do ar, registrou-se valores médios entre 63,3% e 87,0% para todo período avaliado (POWER, 2024).

3.2 Avaliação dos impactos ambientais a partir da abordagem de ACV

A primeira abordagem deste estudo refere-se à avaliação dos impactos ambientais da produção de frangos de corte junto a aplicação da metodologia de ACV, que foi realizada conforme as normas ISO 14.040:2009 e 14.044:2009 (ISO, 2009a; ISO, 2009b). As análises foram registradas em função de uma unidade funcional, bem como as entradas e saídas registradas no inventário de ciclo de vida (ICV).

O processo produtivo da avicultura de corte abrange vários subsistemas, como o incubatório (produção de pintinhos de um dia), produção de ração, produção

de frangos de corte e o processamento dos frangos de corte (abatedouro). Neste trabalho foram discutidos apenas os subsistemas de produção de ração e o de produção de frangos de corte.

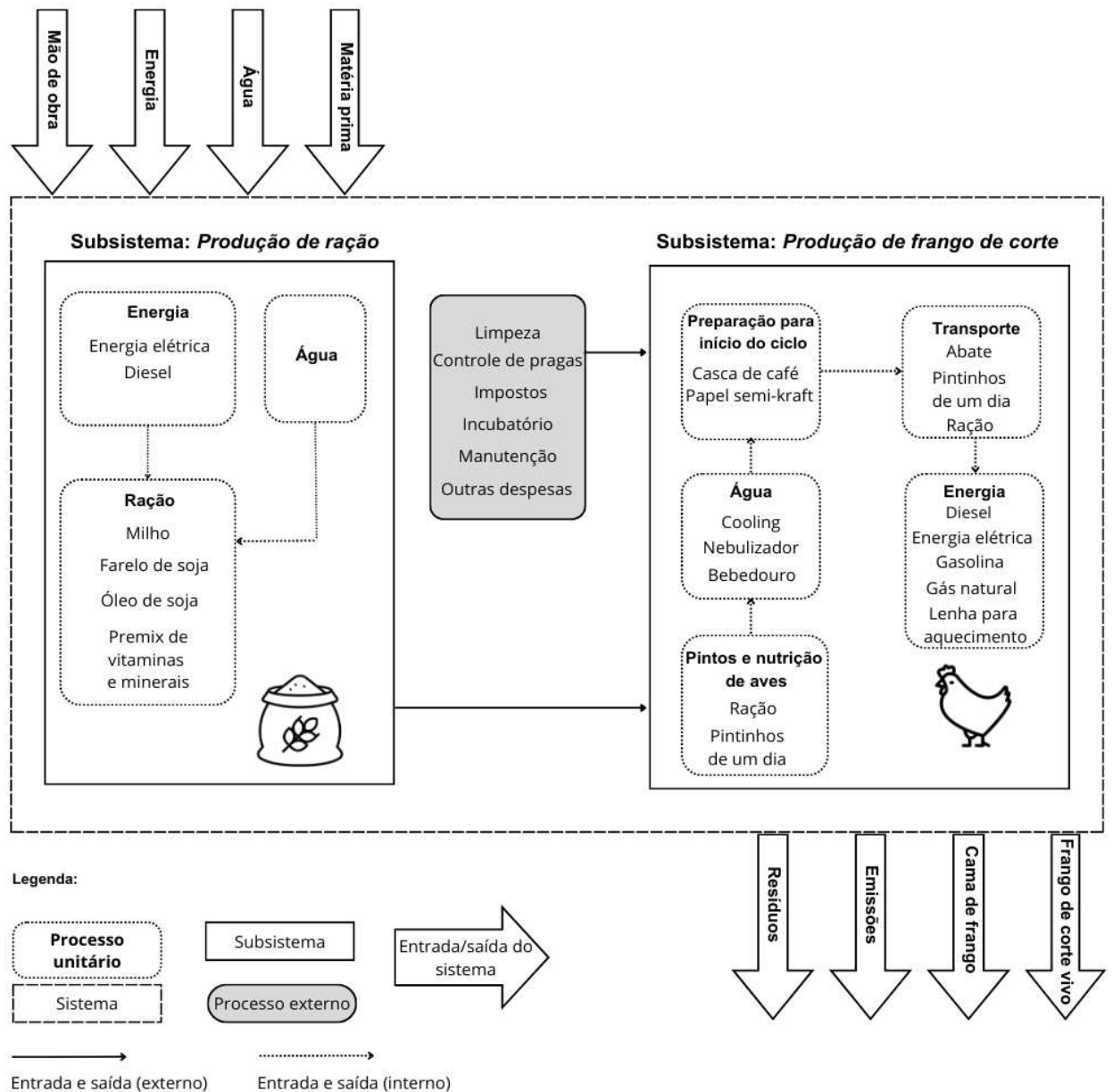
3.2.1 Definição de objetivo e escopo

A definição do escopo da ACV tem por intenção apresentar os elementos presentes no elo de produção de cadeia avícola. A ACV neste trabalho é considerada do tipo atribucional, pois é caracterizada pela alocação de coprodutos e com o uso de dados médios de ICV em vista de um sistema considerado estático. Na Figura 2 apresentam-se as respectivas entradas e saídas do sistema em estudo.

O limite temporal que foi avaliado junto ao inventário consistiu no período de criação dos frangos de corte, caracterizado com ciclo produtivo que vai desde o alojamento dos animais no galpão, com um dia de vida, até o pré-abate, com média de 46 dias de vida (*do berço ao portão da granja*). Nesse período foram avaliados os recursos da produção até a obtenção do produto final, o frango pronto para o abate, considerado um sistema do tipo *cradle-to-gate studies*. A unidade funcional considerada no ICV foi de “1 kg de frango vivo”.

Devido a impossibilidade de mencionar integralmente todos os insumos envolvidos no processo, e considerando o objetivo da pesquisa, ocorreu uma limitação de algumas variáveis e demais sistemas junto a definição de todas métricas de inventário, como por exemplo medicações, matrizes, incubação de pintos de um dia e a construção da infraestrutura de produção nas granjas.

Figura 2 - Limites e diagrama de fluxo do sistema do estudo



Fonte: Autor.

3.2.2 Análise do inventário do ciclo de vida (ICV)

O pré-processamento dos dados foi realizado a partir do fluxo unitário de entrada e saída dos sistemas, consonantes aos dados obtidos no processo de elaboração do inventário, que foram calculados em função dos valores médios para uma granja em cada um dos cenários considerando o período de um ano. Na Tabela 2 apresentam-se os dados unitários de cada entrada no ICV de cada um dos

cenários de estudo a fim de avaliar o impacto ambiental de 1 kg de frango vivo produzido.

Tabela 2 - Dados do Inventário de Ciclo de Vida para cada um dos cenários de estudo

<i>Inputs</i>	<i>Unidade</i>	Cenários de estudo			
		PP-SFV	PP-CFV	PN-SFV	PN-CFV
<i>Subsistema: Produção de ração</i>					
Uso de água e de energia					
Energia elétrica - distribuidora	kWh	0,05729		0,03595	
Diesel	kg	0,00027		0,00017	
Uso de água	L	0,25461		0,15976	
Ingredientes da ração (composição média básica entre as fases)					
Milho	kg	0,98397		0,91570	
Farelo de soja	kg	0,03135		0,02917	
Fosfato bicálcio	kg	0,60745		0,56530	
Óleo de soja	kg	0,07785		0,07245	
Calcário	kg	0,02107		0,01961	
Cloreto de Colina (70%)	kg	0,00853		0,00794	
L-lisina HCL	kg	0,00244		0,00227	
Premix vitaminas	kg	0,00348		0,00324	
DL-metionina	kg	0,00087		0,00081	
Cloreto de sódio	kg	0,00192		0,00178	
Premix minerais	kg	0,00139		0,00130	
Avilamicina	kg	0,00017		0,00016	
Monensina	kg	0,00104		0,00097	
<i>Subsistema: Produção de Frangos</i>					
Área, pintos e nutrição das aves					
Pintos de um dia	kg	0,01402		0,01351	
Área do galpão	m ²	0,00470		0,00381	
Ração de frangos	kg	1,74155		1,62070	
Energia (Eletricidade, Biomassa e Combustíveis)					
Energia elétrica - distribuidora ^(a)	kWh	0,05719	0,00176	0,07066	0,00110
Diesel	kg	0,00093		0,00174	
Gasolina	kg	0,00039		0,00024	
Gás Natural	kg	0,00023		0,00029	

Lenha para aquecimento (<i>Eucalyptus urograndis</i>)	kg	0,00035	0,00033
Água			
Água - Cooling	L	0,00000	1,09166
Água - Nebulizador	L	1,11782	1,09166
Água - Bebedouro	L	1,49043	3,63885
Transporte rodoviário por caminhões			
Transporte - Ração	t/km	5,82 E-07	3,79 E-07
Transporte - Pintos de um dia	t/km	2,80 E-09	2,70 E-09
Transporte - Frango para abate	t/km	4,53 E-07	3,09 E-07
Preparação do início do ciclo			
Casca de café - cama	kg	0,13948	0,11935
Papel semi kraft - pintos de um dia	kg	0,00053	0,00033

Legenda: (a) PP-SFV: Pressão positiva sem sistemas fotovoltaicos; (b) PP-CFV: Pressão positiva com sistemas fotovoltaicos; (c) PN-SFV: Pressão negativa sem sistemas fotovoltaicos; (d) PN-CFV: Pressão negativa com sistemas fotovoltaicos; (a) Única entrada com valores distintos entre todos os quatro cenários avaliados no estudo, devido ao tipo de perfil da unidade consumidora de energia elétrica.

Fonte: Autor.

As principais características e os respectivos coeficientes técnicos que representam os sistemas de produção em estudo, estão descritos na Tabela 3. Foi verificado que são adotados no processo de criação de frangos de corte, principalmente, as linhagens Cobb® e Ross® de ambos os sexos. As dietas nutricionais tidas como referência no estudo foram adotadas em relação às fases de criação das aves (Pré-inicial: 1 a 8 dias; Inicial: 9 a 16 dias; Crescimento: 17 a 24 dias; Engorda: 25 a 33 dias; Abate: a partir de 34 dias) e os ingredientes utilizados na composição da ração, conforme as recomendações de Rostagno et al. (2017).

Os valores dos custos financeiros obtidos na coleta de dados foram quantificados em função da moeda corrente no Brasil em junho de 2023 e convertidos em dólares americanos para todas as análises realizadas. Para o mês de referência foi considerado o fator de conversão no qual 1 real (BRL) equivalia a aproximadamente 0,21 dólares americanos (USD).

Tabela 3 - Coeficientes técnicos dos sistemas de produção avaliados

Item	Unidade	Sistema de produção	
		Pressão Positiva	Pressão Negativa
Área do galpão	m ²	1.605	2.074
Lotes por ano	Nº lotes/ano	6	6
Idade média de abate	dias	46	46
Intervalo médio entre lotes	dias	14	14
Frangos produzidos por lote	cabeças/lote	17.867	27.808
Frangos produzidos por ano	cabeças/ano	107.203	166.848
Densidade	cabeças/m ²	11,13	13,41
Peso final médio	kg/cabeça	3,187	3,108
Consumo de ração	kg/cabeça	5,550	5,289
Valor médio pago	USD/cabeça	0,2010	0,2241
Mortalidade	%/lote	5,97	4,76
Conversão alimentar	kg ração/ kg frango	1,76	1,69

Fonte: Autor.

Na Tabela 4 apresenta-se o ganho de peso diário médio por sexo nos sistemas de produção de frangos de corte, também calculados em função dos valores médios obtidos a partir dos relatórios técnicos de produção.

Tabela 4 - Ganho de peso diário médio por sexo nos sistemas de produção de frangos de corte

Unidade	Sistema de produção			
	Pressão Positiva		Pressão Negativa	
	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas
gramas/ cabeça	72,06	63,43	72,05	64,36

Fonte: Autor.

Em relação ao cálculo da unidade funcional da entrada de energia elétrica junto à distribuidora de energia elétrica, para os dois cenários PP-SFV e PN-SFV, sistemas de produção sem sistemas fotovoltaicos, considerou-se o valor médio do consumo total para a produção de frangos de corte de uma granja. Ou seja, são

consumidores totalmente dependentes da energia elétrica disponibilizada pela rede elétrica da distribuidora de energia elétrica local.

Quanto aos cenários PP-CFV e PN-CFV, sistemas de produção com sistemas fotovoltaicos, foi verificado juntos aos galpões visitados durante a coleta de dados que as unidades consumidoras que atendiam os galpões utilizavam do sistema de distribuição de energia elétrica local apenas uma demanda mínima de energia elétrica associado ao custo de disponibilidade para uma rede bifásica (50 kWh) de baixa tensão e de modalidade tarifária subgrupo B2 - Rural, por se tratarem de sistemas fotovoltaicos *on grid*.

3.2.3 Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)

A AICV consistiu no cálculo do impacto ambiental com base nos processos unitários do ICV. Por meio do programa SimaPro® versão PhD 9.2.0.2, do banco de dados disponível da Ecoinvent® versão 3.8 e do método CML-IA Versão 3.02/World 2000 (abrangência de aplicação global) foram quantificadas as categorias de impacto e realizadas a análise de incerteza dos dados.

Considerou-se nesta análise o nível de avaliação de impacto *midpoint*, que se refere a categorias de impacto ao longo dos sistemas de processos químicos, físicos e biológicos (mecanismo ambiental), antes do ponto final da categoria. A caracterização de *midpoint* não se refere aos danos que podem ser causados ao meio ambiente e à saúde humana (MENDES, 2013). Na Tabela 5 são apresentados os fluxos e os respectivos processos que melhor representaram a realidade dos sistemas de produção a partir do banco de dados Ecoinvent 3.8.

Tabela 5 - Fluxos de inventário de ciclo de vida e seus respectivos processos obtidos do Ecoinvent

Fluxo	Processo no banco de dados utilizado (Ecoinvent 3.8)
Entradas	
Uso de água (ração)	Water, unspecified natural origin, BR
Milho	Maize seed, at farm {GLO} production Alloc Def, U
Farelo de soja	Soybean, at farm/BR Mass
Fosfato bicálcio	Processo criado pelo autor

Óleo de soja	Soybean oil, crude {BR} soybean meal and crude oil production Alloc Def, U
Calcário	Processo criado pelo autor
Cloreto de Colina (70%)	Processo criado pelo autor
L-lisina HCL	Processo criado pelo autor
Premix vitaminas	Processo criado pelo autor
DL-metionina	Processo criado pelo autor
Cloreto de sódio	Processo criado pelo autor
Premix minerais	Processo criado pelo autor
Avilamicina	Processo criado pelo autor
Monensina	Processo criado pelo autor
Pintos de um dia	Processo criado pelo autor
Área do galpão	Occupation, arable land, unspecified use
Energia elétrica	Electricity mix, AC, consumption mix, at consumer, < 1 kV/BR mass
Diesel	Processo criado pelo autor
Gasolina	Gasoline (regular), from crude oil, consumption mix, at refinery, 100 ppm sulphur EU-15 S System - copied from ELCD
Gás Natural	Natural gas, from onshore and offshore prod. incl. pipeline and LNG transport, consumption mix, EU-27 S System - copied from ELCD
Lenha para aquecimento (<i>Eucalyptus urograndis</i>)	Roundwood, eucalyptus ssp. from sustainable forest management, under back {GLO} market for Alloc Def, U
Água - Cooling	Water, cooling, unspecified natural origin, BR
Água - Nebulizador	Water, cooling, unspecified natural origin, BR
Água - Bebedouro	Water, unspecified natural origin, BR
Transporte - Ração	Transport, truck 10-20t, EURO1, 50%LF, empty return/GLO Mass
Transporte - Pintos de um dia	Transport, truck 10-20t, EURO1, 50%LF, empty return/GLO Mass
Transporte - Frango para abate	Transport, truck 10-20t, EURO1, 50%LF, empty return/GLO Mass
Casca de café - cama	Processo criado pelo autor
Papel semi kraft - pintos de um dia	Kraft paper, unbleached {GLO} market for Alloc Def, U
Saída	
1 kg de frango vivo	Processo criado pelo autor

Fonte: Autor.

Com base nos trabalhos de Pelletier (2008), Leinonen et al. (2012), Martinelli et al. (2022) e Beal et al. (2023) e na metodologia CML-IA descrita por Sleeswijk et al. (2008) e Guiné et al. (2002) foram escolhidas as categorias de impacto ambiental de acidificação (kg SO₂-eq), eutrofização (kg PO₄-eq) e potencial de aquecimento global (kg CO₂-eq), que representam as emissões de poluentes mais analisadas nos estudos encontrados na literatura sobre a aplicação da ACV em sistemas de produção de frangos de corte.

Mostert et al. (2022) avaliaram a importância de se preocupar inicialmente com metas de redução de emissões de GEE na produção de frangos de corte. Embora outras categorias de impacto ambiental também sejam relevantes, estabelecer metas de redução para diversos indicadores simultaneamente pode se tornar muito desafiador, mas que deverá ser trabalhado futuramente em outros estudos.

Os trabalhos publicados por Usva et al. (2023), Alves et al. (2023), Cheng et al. (2023), Lima et al. (2019) e Martinelli et al. (2020) apresentam resultados e discussões relevantes sobre as categorias de impactos que também foram analisadas neste trabalho.

3.2.4 Interpretação do ciclo de vida

A interpretação do ciclo de vida foi baseada nos resultados obtidos junto a AICV, de forma que os potenciais impactos ambientais calculados foram convertidos em recomendações e conclusões sobre o desempenho dos cenários avaliados, conforme o escopo e objetivo do estudo da ACV (ISO, 2009a; ISO, 2009b).

3.2.5 Análise de incertezas

As variações presentes nos dados podem ser descritas por uma distribuição, expressa por um intervalo ou desvio padrão. Métodos estatísticos, como as técnicas de Monte Carlo podem ser úteis para calcular a incerteza dos dados em os resultados da ACV (PRé, 2016). As diversas entradas de dados podem conter algum grau de incerteza e, quando agregadas, têm o potencial de impactar os resultados

obtidos na ACV. Portanto, ao comparar os impactos gerados por diferentes processos ou produtos, é crucial verificar se as disparidades entre eles são estatisticamente significativas ou não (PRé, 2016; PEREIRA et al., 2023).

No presente estudo, conduziu-se uma análise de Monte Carlo pelo método CML-IA Versão 3.02/World 2000 assumindo uma distribuição uniforme a um intervalo de confiança de 95%, como também a avaliação dos parâmetros por meio de 5.000 simulações independentes. A simulação de Monte Carlo consiste em uma simulação específica realizada a partir das incertezas já existentes na base de dados da Ecoinvent, na qual são comparadas com outra base com as incertezas recontextualizadas ao longo das simulações (BAIOCHI; SILVA, 2021). Os valores experimentais, tanto os máximos quanto os mínimos para cada cenário, foram empregados para avaliar o desempenho ambiental dos cenários avaliados na produção de frangos de corte.

3.3 Avaliação dos custos econômicos e do uso de energia

Com base no trabalho realizado por Pishgar-Komleh et al. (2017), foi realizado a partir do *Planilhas Google* os cálculos associados para a análise do uso de energia e econômica.

3.3.1 Análise do uso de energia

Os valores de energia para cada uma das entradas foram quantificados pelo respectivo coeficiente de energia (MJ/unidade) multiplicado pela quantidade utilizada na produção de frangos de corte para o período de um ano em cada um dos cenários de estudo. O somatório dos cálculos dos valores de energia das entradas resultou na energia de entrada. De forma semelhante foi obtido o valor da energia de saída, na qual correspondeu a quantidade de quilogramas de frango vivo produzido para o período de um ano multiplicado pelo respectivo coeficiente de energia.

Os índices de energia utilizados para a análise do uso de energia foram os indicadores de eficiência energética (EE), produtividade energética (PE) e energia líquida (EL), conforme as equações de 1 a 3.

O índice de Eficiência Energética (Equação 1) pode ser interpretado, se o valor encontrado for igual a um, tem-se que a energia de saída é igual a energia de entrada. Assim também, verifica-se que se maior do que um, quanto maior o valor alcançado no índice, maior será a EE do sistema de produção, ou seja, obteve-se mais energia na saída em função dos insumos que foram necessários na entrada do sistema (PISHGAR-KOMLEH et al. 2017; HEIDARI; OMID; AKRAM, 2011; ELAHI et al., 2022).

$$EE = \frac{\text{Energia de saída (MJ)}}{\text{Energia de entrada (MJ)}} \quad (1)$$

A Produtividade energética (Equação 2) mensura a quantidade de produção de determinado produto em função da energia total de entrada que foi necessária no processo. Neste trabalho, a energia total de entrada disponível representa a quantidade de energia necessária para satisfazer a produção de frangos de corte (PISHGAR-KOMLEH et al. 2017; HEIDARI; OMID; AKRAM, 2011; ELAHI et al., 2022).

$$PE = \frac{\text{Produção de frango (kg)}}{\text{Energia de entrada (MJ)}} \quad (2)$$

Quanto à Energia Líquida (Equação 3), tem-se que se $EL > 0$, indica que ocorreu ganho de energia, ou seja, o sistema de produção foi capaz de produzir mais energia do que foi gasta com a produção. Caso contrário, se $EL < 0$, indica que a energia de saída foi inferior à demanda necessária junto ao sistema produtivo (PISHGAR-KOMLEH et al. 2017; HEIDARI; OMID; AKRAM, 2011; ELAHI et al., 2022).

$$EL = \text{Energia de saída (MJ)} - \text{Energia de entrada (MJ)} \quad (3)$$

3.3.2 Análise econômica

Foram considerados como referência para a análise econômica os trabalhos de Andrade et al. (2018), Ibrahim et al. (2021), Qaid et al. (2023) e as metodologias propostas pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR, 2024) na gestão de custos de produção na agricultura para a realização desta análise econômica. A avaliação dos custos econômicos consistiu em analisar a viabilidade de cada um dos sistemas de produção, quanto aos recursos financeiros que se fazem necessários no processo de custeio praticado pelo avicultor, para o período de um ano de produção.

Inicialmente, buscou-se compreender os custos variáveis associados, também conhecido como custo operacional efetivo (COE) que é o resultado da soma de todas as despesas diretas do processo produtivo. O COE compreende as despesas de manutenção, energia, mão de obra, benfeitorias, impostos, por exemplo.

Por seguinte, tem-se o custo operacional total (COT) que consistiu na soma do COE, dos custos de mão de obra familiar e de depreciação dos equipamentos agrícolas (Equação 4) em função do tempo de vida útil, como silos, gerador de energia elétrica, motosserra, microtrator, UFV, chaminé, fornalhas, por exemplo.

$$COT (USD) = COE + Mão\ de\ obra\ familiar + Depreciação \quad (4)$$

Assim, a formação do custo total (CT) se deu pela soma do COT e do custo de oportunidade (Equação 5) que consistem em juros sobre o capital empatado na granja de frangos de corte, caso houvesse optado por investir este dinheiro em algum tipo de aplicação financeira ou investimento. Isto se faz importante de ser inserido na composição do custo, pois colabora nas tomadas de decisões financeiras do produtor, pois ele conseguirá verificar se os investimentos feitos em seu galpão estão sendo mais rentáveis do que uma aplicação financeira do mesmo recurso. Nesta análise, para fins de comparação, foi considerado uma rentabilidade de investimento na poupança a uma taxa de juros de 6% ao ano (SENAR, 2024).

$$CT (USD) = COT + Custo\ de\ oportunidade \quad (5)$$

O lucro (Equação 7) é a diferença entre a renda bruta (RB) e o CT, e espera-se para manutenção do empreendimento valores positivos, da mesma forma que nos índices de margem bruta (MB) e margem líquida (ML). A MB é um indicador que apresenta a diferença entre a RB e o COE (Equação 8), que se for positiva, considera-se que a viabilidade financeira do sistema de produção está viável.

Já a ML (Equação 9) é um outro indicador que é calculado a partir da diferença entre a renda bruta e o COT. Se $ML > 0$, considera-se que a médio prazo o sistema é viável economicamente, contudo deverá ser observado o lucro para as análises ao longo prazo (ANDRADE et al., 2018).

$$RB = [\text{Frangos produzidos por ano (cabeças/ano)} * \text{Valor médio pago (USD/cabeça)}] + [\text{Cama de frango produzida por ano (t/ano)} * \text{Valor médio pago (USD/t)}] \quad (6)$$

$$\text{Lucro (USD)} = RB - CT \quad (7)$$

$$MB \text{ (USD)} = RB - COE \quad (8)$$

$$ML \text{ (USD)} = RB - COT \quad (9)$$

O último índice é a relação custo-benefício (RCB), calculado pela razão entre a RB e o CT (Equação 10). Quanto mais alto o valor de RCB, maior é a rentabilidade do sistema de produção (ANDRADE et al., 2018; IBRAHIM et al., 2021; QAID et al., 2023).

$$RCB = \frac{RB}{CT} \quad (10)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação dos impactos ambientais

Os resultados para as categorias de impacto ambiental são mostrados na Tabela 6 e Figura 3, para cada um dos cenários avaliados. O sistema de produção com pressão positiva e sem sistemas fotovoltaicos foi o que apresentou os maiores resultados dentre as categorias de impactos. Contudo, dentro de cada sistema de produção, com ou sem sistemas fotovoltaicos, foi observada uma diferença nos resultados entre cada uma das categorias de impacto avaliadas.

Tabela 6 - Resultados das categorias de impactos ambientais com base na Avaliação do Ciclo de Vida

Categoria de impacto	Unidade	Cenários de estudo			
		PP-SFV	PP-CFV	PN-SFV	PN-CFV
Potencial de Acidificação (AP)	kg SO ₂ -eq	1,78 E-02	1,77 E-02	1,54 E-02	1,53 E-02
Potencial de Eutrofização (EP)	kg PO ₄ -eq	2,29 E-02	2,29 E-02	1,98 E-02	1,98 E-02
Potencial de Aquecimento Global (PAG)	kg CO ₂ -eq	2,921	2,913	2,530	2,520

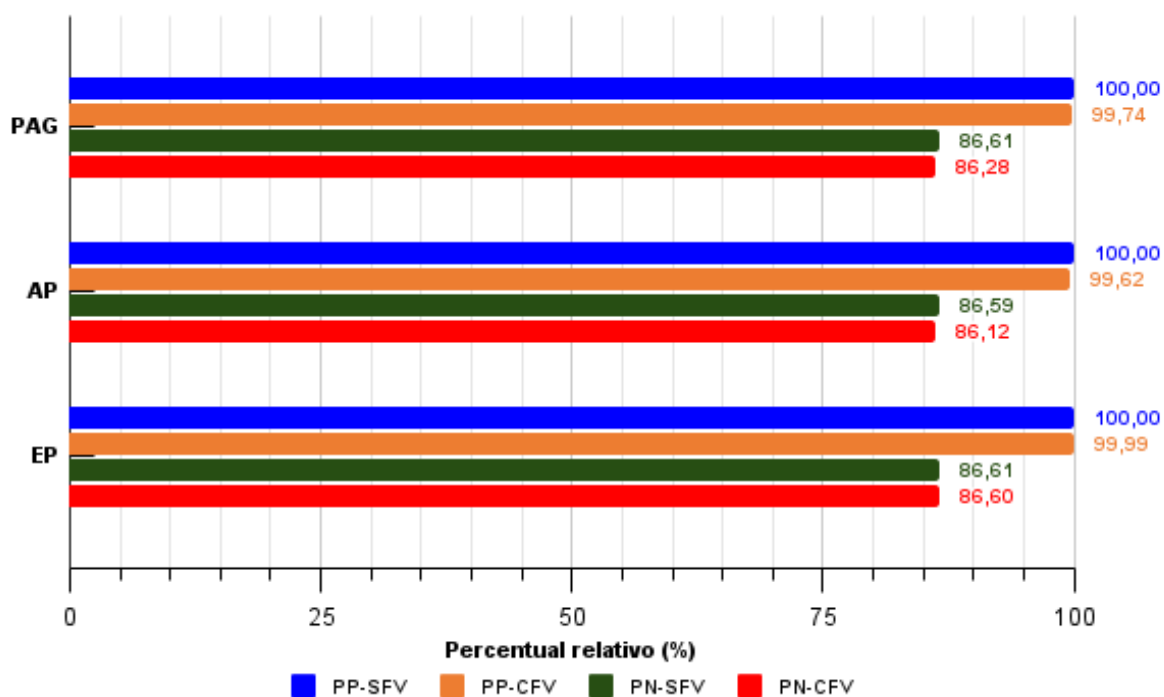
Legenda: PP-SFV: Pressão positiva sem sistemas fotovoltaicos; PP-CFV: Pressão positiva com sistemas fotovoltaicos; PN-SFV: Pressão negativa sem sistemas fotovoltaicos; PN-CFV: Pressão negativa com sistemas fotovoltaicos.

Fonte: Autor.

Neste trabalho, o PAG variou de 2,52 kg CO₂-eq a 2,92 kg CO₂-eq para os cenários avaliados. Estes valores são próximos aos encontrados por Cheng et al. (2023) de 2,98 kg CO₂-eq (China), Lima et al. (2019) de 2,70 kg CO₂-eq (Centro-Oeste, Brasil) e Usva et al. (2023) de 2,40 kg CO₂-eq (Finlândia). Alves et al. (2023), por sua vez, apontaram que o impacto das mudanças climáticas foi de 3,37 kg CO₂-eq (Norte, Brasil), maior do que o quantificado neste trabalho e nos demais trabalhos mencionados. Ressalta-se que estes autores consideraram, além dos

subsistemas de ração e criação de frangos, o processo de abate das aves. No presente trabalho, o subsistema de produção de ração foi o maior responsável, com cerca de 91%, pelas emissões de GEE, o que também foi registrado semelhantemente nos trabalhos anteriormente mencionados. Lima et al. (2019) verificaram que podem ocorrer maiores variações junto ao potencial de aquecimento global, de 1,39 a 6,83 kg CO₂-eq, que se justifica por variações em diversos fatores como uso de combustíveis fósseis, produção de ração, idade de abate, conversão alimentar e o nível de tecnificação do galpão no sistema de criação de frangos de corte.

Figura 3 - Valores em percentual relativo dos impactos ambientais calculados com base na Avaliação do Ciclo de Vida



Legenda: PP-SFV: Pressão positiva sem sistemas fotovoltaicos; PP-CFV: Pressão positiva com sistemas fotovoltaicos; PN-SFV: Pressão negativa sem sistemas fotovoltaicos; PN-CFV: Pressão negativa com sistemas fotovoltaicos; PAG: Potencial de aquecimento global; AP: Potencial de acidificação; EP: Potencial de eutrofização.

Fonte: Autor.

Em relação aos valores de PAG obtidos neste estudo, observou-se na Figura 3 que os maiores valores são registrados nos cenários de PP-SFV e PN-SFV. Para

os sistemas que possuíam sistemas fotovoltaicos na criação de frangos de corte foi observada uma redução aproximada de 8 gramas nas emissões de GEE para o sistema de PP e de 10 gramas no sistema de PN, quando comparados aos sistemas SFV. Ressalta-se que apesar de representar inicialmente um valor diminuto entre os cenários avaliados, este é um valor que está em referência à unidade funcional do trabalho, ou seja, 1 kg de frango vivo.

Um sistema de PP produz em média por ano 340.067 kg de frango vivo, enquanto que o de PN é um valor em torno de 516.458 kg. Na avaliação junto a cada cenário, o PP-SFV emite anualmente cerca de 993,23 t CO₂-eq e o PP-CFV, 990,65 t CO₂-eq, ou seja, uma redução estimada de 2,58 t CO₂-eq por ano para um galpão de frangos de corte com UFV. No período de julho de 2022 a junho de 2023 a empresa integradora possuía 239 galpões ativos de criação de frangos de corte do tipo de PP, que representavam cerca de 63% dos sistemas de produção. Caso fossem adotados em todos estes galpões sistemas fotovoltaicos junto ao SCEE, poderia ser alcançada uma redução aproximada de 616,6 t CO₂-eq por ano de emissões de GEE.

Já para o sistema PN, o PN-SFV emite anualmente cerca de 1306,4 t CO₂-eq e o PN-CFV, 1301,4 t CO₂-eq. Assim, pode-se estimar uma redução de 4,96 t CO₂-eq para um galpão de frangos de corte com sistemas fotovoltaicos. Para o mesmo período mencionado, a empresa integradora possuía 138 galpões ativos de criação de frangos de corte do tipo PN, o que alcançaria uma redução aproximada de 684,5 t CO₂-eq por ano se todos tivessem integrado ao sistema de produção às UFV. Assim, pode ser verificada uma justificativa para a buscar alternativas para a adesão de novos avicultores com sistemas fotovoltaicos em suas granjas.

Na Tabela 6 é possível verificar que o sistema de produção de frangos de corte com um maior nível de tecnificação (PN-CFV) é capaz de reduzir anualmente em torno de 0,40 kg CO₂-eq por 1 kg de frango vivo produzido nas emissões de GEE, comparado ao sistema de menor nível de tecnificação (PP-SFV).

Essa redução das emissões de GEE estimada nos sistemas intensivos de produção de frangos de corte com maior nível tecnológico pode colaborar na formação de políticas públicas para a descarbonização e a descentralização (EPE, 2020), junto ao contexto da transição energética, quanto a forma em que é gerada e consumida a energia elétrica nestes sistemas de produção.

Outro ponto a ser mencionado é que a redução do PAG está associada as nas metas definidas nos ODS 7 e ODS 13 (ONU, 2024), o que pode ser avaliado que a inclusão de práticas mais sustentáveis na cadeia de produção de frangos de corte, se faz essencial para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos e promover a integração eficaz junto aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

A EP variou de 1,98 E-02 a 2,29 E-02 kg PO₄-eq e a AP de 1,53 E-02 a 1,78 E-02 kg SO₂-eq nos quatro cenários (Tabela 6). Foi observado que os sistemas de PN produzem os menores valores, enquanto que os de PP apresentaram os maiores níveis de potencial de eutrofização e de acidificação. Foi verificada a diferença dos valores dentro do mesmo sistema de produção, que considerou apenas se possuía ou não os sistemas fotovoltaicos. Após o cálculo, pode ser verificado que as diferenças são inexpressivas quanto aos impactos, ou seja, apresentam um perfil semelhante para cada sistema de produção, independentemente se com ou sem sistemas fotovoltaicos.

Em relação ao AP, os resultados encontrados na literatura foram: Cheng et al. (2023) de 0,53 E-2 kg SO₂-eq, Lima et al. (2019) de 4,00 E-2 kg SO₂-eq, Martinelli et al. (2020) de 1,80 E-2 kg SO₂-eq (Sul do Brasil) e Alves et al. (2023) de 31,00 E-2 kg SO₂-eq. Apenas o resultado de Martinelli et al. (2020) foi próximo ao obtido neste trabalho, conforme pode ser verificado na Tabela 6. Acredita-se que uma razão para as diferenças dos valores registrados na literatura para o AP seja em função da forma em que foi alocado o impacto entre os subsistemas avaliados na ACV. A acidificação ocorre principalmente em função das ações do ser humano que interferem negativamente no ambiente, como por exemplo, a combustão de combustíveis fósseis. No caso de Alves et al. (2023) o valor do AP (31,00 E-02 kg SO₂-eq) foi muito maior, pois considerou-se o subsistema de abate das aves, que se destacou pelo um grande uso de gás natural e os resíduos biológicos produzidos.

Quanto à avaliação do EP, os valores encontrados foram: Cheng et al. (2023) registraram 0,091 E-2 kg PO₄-eq, Lima et al. (2019), 2,60 E-2 kg PO₄-eq, Martinelli et al. (2020) 3,50 E-2 kg PO₄-eq e Alves et al. (2023) relataram 0,10 E-2 kg PO₄-eq. Apenas os resultados de Lima et. al (2019) e Martinelli et al. (2020) são mais próximos ao obtido neste trabalho. Uma justificativa para essa diferença nos resultados é que os trabalhos de Cheng et al. (2023) e Alves et al. (2023) analisaram sistemas de menor produção de frangos de corte, quando comparados aos sistemas

estudados pelos demais autores. Os sistemas não intensivos de produção de frangos de corte, conseqüentemente, terão uma contribuição menor para a eutrofização dos recursos hídricos.

Em relação a todas as categorias de impacto avaliadas, os resultados alcançados neste trabalho são compatíveis dentro dos valores obtidos por demais estudos disponibilizados na literatura. Apesar de serem indicados na literatura uma faixa de valores de PAG estimados, por exemplo, os valores se alteram devido ao modelo de tecnificação do sistema de produção, condições climáticas, uso de energia por fontes não renováveis e os ingredientes na formulação das rações, principalmente.

Ficou destacada na avaliação dos impactos ambientais a importância da sustentabilidade na produção avícola, ressaltando que a inserção de sistemas fotovoltaicos na agricultura por meio da geração distribuída, não reduz apenas os impactos ambientais, mas colabora para o fortalecimento da transição energética, pois abrangem a descarbonização e descentralização do setor elétrico, garantindo maior independência na geração e produção de energia elétrica em relação à forma como essa energia é gerada.

4.1.1 Neutralização das emissões de GEE

Uma das maneiras de compensar as emissões de GEE é a neutralização de carbono a partir do plantio de árvores. Júnior et al. (2021) indicaram que uma árvore da Mata Atlântica é capaz de absorver cerca de 82,0 kg de CO₂-eq ao longo dos seus primeiros 20 anos. Verificou-se que, para neutralizar anualmente a mesma quantidade de dióxido de carbono estimada nos cenários de PP-CFV e PN-CFV, seriam necessárias 32 árvores para neutralizar 2,58 t CO₂-eq e 61 árvores para neutralizar 4,96 t CO₂ respectivamente.

A adoção de sistemas fotovoltaicos na produção de frangos de corte é mais eficaz do que a neutralização por meio do plantio de árvores, uma vez que é possível verificar um tempo menor para a compensação das emissões de GEE, valores menores de investimentos a curto e longo prazo para o produtor rural, um menor uso da terra associado à atividade rural e um retorno financeiro associado à

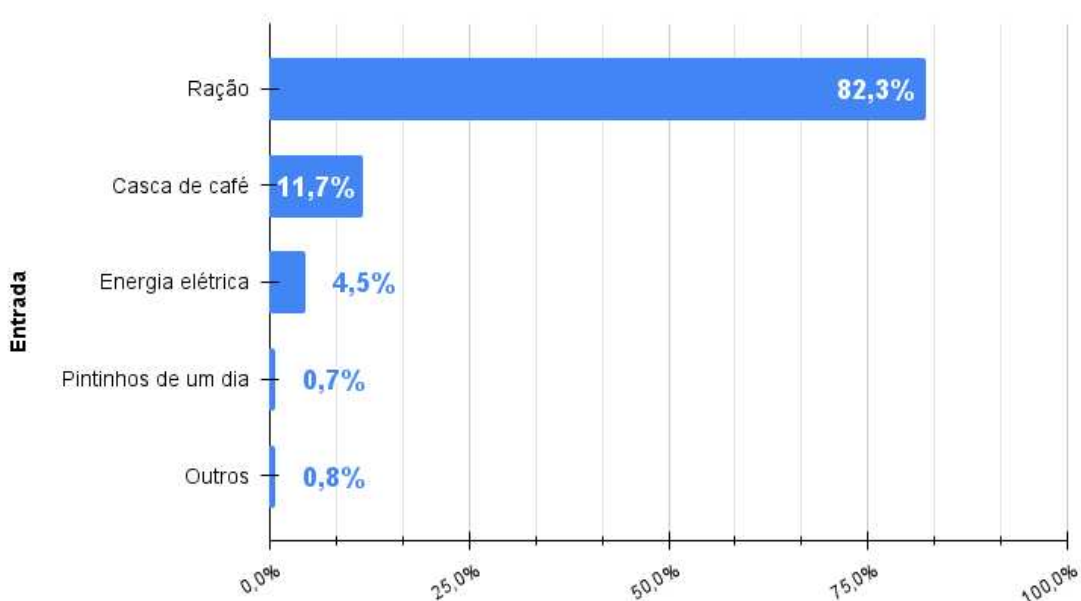
geração de créditos de energia elétrica com o SCEE, de acordo com a Lei 14.300/22 (BRASIL, 2022).

4.2 Avaliação do uso de energia

No Apêndice B são apresentados os valores médios de energia calculados em função da entrada e saída para cada um dos sistemas de produção de frangos na região do estudo. As médias de energia de entrada para um sistema de produção para o período de um ano nos cenários PP-SFV, PP-CFV, PN-SFV e PN-CFV, foram de 7,03 GJ, 6,82 GJ, 10,34 GJ e 9,91 GJ, respectivamente. Já em relação a energia de saída (frango vivo e cama de frango) os valores foram de 6,65 GJ para os sistemas de PP e de 9,67 GJ para os sistemas de PN.

Na Figura 4 são indicados os valores médios dos componentes de entrada de energia junto aos quatro cenários avaliados. A ração foi o que contribuiu para o consumo total de energia na entrada, correspondendo a 82,3%, seguido pela casca de café (11,7%), energia elétrica (4,5%), pintinhos de um dia (0,7%) e outros (insumos de combustíveis, lenha para aquecimento, papel semi kraft e mão de obra humana, com 0,8%).

Figura 4 - Participação da energia de entrada média dos insumos na produção de frangos de corte



Fonte: Autor.

Os resultados de Heidari et al. (2011), de 8,6%, e de Pishgar-Komleh et al. (2017), de 3,0% foram similares ao aqui obtido (4,5%), em relação ao uso de energia elétrica. No entanto, os insumos de combustíveis (59,2% a 71%) e a ração (25% a 31,8%) apresentaram a maior composição nos estudos mencionados no parágrafo anterior, ao contrário do que aqui foi observado (Figura 4). O consumo do conjunto de combustíveis (óleo diesel, gasolina e gás natural) foi incluído no item "outros", pois representou apenas 0,52% entre as entradas de energia. Enquanto nos trabalhos mencionados os combustíveis são responsáveis pelos maiores valores de energia, a ração neste estudo é o item que contribui em torno de 82% da demanda total de energia na produção de frangos de corte. Assim como na avaliação dos impactos ambientais que verificou que a ração é o principal contribuinte nas emissões de GEE, a ração também foi o componente com maior participação no uso de energia.

Os índices de energia EE, PE e EL para a produção de frangos de corte na Zona da Mata de Minas Gerais são apresentados na Tabela 7. O índice de eficiência energética apontou que os sistemas PP possuem uma menor eficiência do uso de energia quando comparados aos sistemas PN e que se o sistema de produção é um consumidor-gerador junto ao SCEE (BRASIL, 2022), observa-se um aumento na eficiência do uso dos recursos energéticos que pode atingir em torno de 4,5%.

Tabela 7 - Índices de energia dos sistemas de produção de frangos de corte avaliados

Índice	Unidade	Cenários de estudo			
		PP-SFV	PP-CFV	PN-SFV	PN-CFV
Eficiência Energética (EE)	-	0,930	0,966	0,944	0,988
Produtividade Energética (PE)	kg.(MJ) ⁻¹	4,84 E-05	4,99 E-05	5,00 E-05	5,21 E-05
Energia Líquida (EL)	MJ	-4,89 E+08	-2,77 E+08	-6,65 E+08	-2,41 E+08

Legenda: PP-SFV: Pressão positiva sem sistemas fotovoltaicos; PP-CFV: Pressão positiva com sistemas fotovoltaicos; PN-SFV: Pressão negativa sem sistemas fotovoltaicos; PN-CFV: Pressão negativa com sistemas fotovoltaicos.

Fonte: Autor.

Quanto ao índice de produtividade energética, os resultados apresentados na Tabela 7, indicaram que o sistema com melhor tecnificação, o cenário avaliado em PN-CFV, possui uma produtividade 7,2% maior que o sistema com a menor tecnificação, PP-SFV.

Em relação à avaliação do índice de energia líquida, pode ser verificado na Tabela 7, que em todos os cenários a energia de saída foi menor que a energia de entrada. O cenário PN-SFV apresentou o maior valor de perdas de energia entre os sistemas de produção, enquanto que o cenário PN-CFV configura-se em um sistema com menores perdas, apesar de registrar ainda uma produção de energia inferior à energia necessária para a produção de frangos de corte. As diferenças nos valores de energia líquida se deram, principalmente, a partir da quantidade de energia associada ao uso de energia elétrica nos quatro cenários avaliados.

Entre os sistemas com sistemas fotovoltaicos foi observado na Tabela 7 que o PP-CFV possui uma perda de energia 13% maior que o PN-CFV. Já para os sistemas sem sistemas fotovoltaicos integrados na produção, ocorreu que o sistema de PN-SFV possui uma perda de energia 26,5% maior que o PP-SFV.

Como as maiores entradas de energia são registradas em função da ração e da casca de café, torna-se necessário avaliar alternativas de utilizar ingredientes para a ração e insumos para a cama de frango com menores coeficientes energéticos, pois somente com a adoção dos sistemas fotovoltaicos não garantiram sistemas com energia de saída maior que à de entrada.

Avalia-se que se faz necessário a adoção de rações formuladas com insumos agrícolas produzidos de forma mais sustentável, além de buscar outros tipos de matérias-primas para a cama de frango que possam reduzir a demanda de energia de entrada e que possam aumentar a EE e a PE dos sistemas de produção (CONSTANTINI et al., 2021; ALVES et al., 2023).

4.3 Avaliação econômica

No Apêndice C apresenta-se toda a alocação dos custos de produção associados para cada um dos cenários avaliados. A partir desta alocação de custos foi possível avaliar quais as entradas que levam aos maiores gastos nos sistemas de produção de frangos de corte.

Após a obtenção dos resultados iniciais para a análise econômica, na avaliação dos custos foi desconsiderado no cálculo o pagamento de mão de obra paga, visto que a grande maioria dos avicultores atuam na região do estudo com a mão de obra familiar. Se fossem considerados na análise deste estudo, o custo ficaria responsável por cerca de 31,5% a 45,6% dos custos anuais de produção entre os cenários avaliados.

No estudo, verificou-se que a adoção de mão de obra familiar na atividade avícola reduz os custos totais, como também foi observado por Beal et al. (2023), que constataram que a mão de obra paga é um dos maiores custos nos sistemas de produção de frangos de corte. Outro fator relevante sobre a mão de obra familiar é a capacidade de manter as famílias no meio rural (BRASIL, 2006), o que contribui para a sustentabilidade da cadeia produtiva de frangos de corte sob os aspectos sociais e ambientais, e que está diretamente relacionada à parte das metas estabelecidas no ODS 2 (ONU, 2024).

Os resultados no cenário PP-SFV indicaram que 32,9% dos custos estão relacionados à aquisição da casca de café, à manutenção de equipamentos, máquinas e instalações (24,1%), à energia elétrica (20,2%), à lenha para aquecimento (10,6%), à alimentação em serviço de apanha (2,4%), ao óleo diesel (2,2%), ao papel semi kraft (2,0%) e a outros (5,5%) representados pelos impostos, gasolina, gás natural, controle de pragas e produtos de limpeza e ao telefone.

No cenário de produção de frangos de corte com pressão positiva com sistemas fotovoltaicos, PP-CFV, os custos com a compra de casca de café foram de 41% dos custos totais, seguido de manutenção de equipamentos, máquinas e instalações (30,0%), lenha para aquecimento (13,2%), alimentação em serviço de apanha (3,0%), óleo diesel (2,8%), papel semi kraft (2,4%), energia elétrica (0,8%) e outros (6,9%). Os resultados mostraram uma redução significativa no consumo de energia elétrica junto à distribuidora de energia elétrica, uma redução de 19,4% ao ano.

Para os sistemas de produção de pressão negativa, o cenário PN-SFV apresentou que 30,5% dos custos são com a compra de casca de café, energia elétrica (20,2%), manutenção de equipamentos, máquinas e instalações (16,2%), lenha para aquecimento (10,8%), diesel (4,3%), alimentação em serviço de apanha (3,3%), telefone e internet (2,4%), papel semi kraft (1,3%) e outros (4%)

representados pelos impostos, gasolina, gás natural, controle de pragas e produtos de limpeza.

Para o último cenário avaliado, PN-CFV, os gastos com a compra de casca de café representaram 41,6% dos custos de produção, seguidos pela manutenção de equipamentos, máquinas e instalações (22,1%), lenha para aquecimento (14,8%), óleo diesel (5,9%), alimentação em serviço de apanha (4,4%), telefone e internet (3,3%), papel semi kraft (1,8%), energia elétrica (0,6%) e outros (5,4%). Os resultados também apontam uma diferença expressiva no consumo de energia elétrica junto a distribuidora de energia elétrica, uma redução de 26,5% anualmente. Na Tabela 8 apresenta-se um resumo dos custos de produção e os índices econômicos avaliados no estudo.

Tabela 8 - Índices e custos anuais dos sistemas de produção de produção de frangos de corte avaliados

	Unidade	Cenários de estudo			
		PP-SFV	PP-CFV	PN-SFV	PN-CFV
Renda Bruta		38.935,82	38.935,82	62.237,69	62.237,69
Custos variáveis					
	COE	30.733,51	27.069,82	34.397,01	27.069,82
Custos fixos					
	COT USD.	33.543,41	31.349,34	37.206,91	31.349,34
Custo de Oportunidade	Ano ⁻¹	2.190,16	2.190,16	2.190,16	2.190,16
Custo total		35.733,57	33.539,50	39.397,07	33.539,50
Lucro		3.202,25	5.396,32	22.840,62	28.698,19
Margem Bruta		8.202,31	11.866,00	27.840,68	35.167,87
Margem Líquida		5.392,41	7.586,48	25.030,78	30.888,35
Relação Custo-Benefício	-	1,09	1,16	1,58	1,86

Legenda: PP-SFV: Pressão positiva sem sistemas fotovoltaicos; PP-CFV: Pressão positiva com sistemas fotovoltaicos; PN-SFV: Pressão negativa sem sistemas fotovoltaicos; PN-CFV: Pressão negativa com sistemas fotovoltaicos; COE: Custo Operacional efetivo; COT: Custo operacional total.

Fonte: Autor.

Para todos os cenários avaliados, conforme verificado na Tabela 8, os sistemas de produção possuem viabilidade econômica pois possuem lucro positivo. Entretanto, o sistema com melhor tecnificação apresentou um lucro 88,8% maior que o sistema de PP-SFV. Quanto ao perfil de custos totais, os sistemas de produção

PP-CFV e PN-CFV possuem os mesmos valores associados, mas os com sistemas fotovoltaicos garantem ao produtor um lucro de 81,2% maior comparado ao outro sistema.

Em relação aos índices MB e ML foi verificado que os valores calculados e registrados na Tabela 8 são positivos e assim conclui-se que os sistemas de produção de frangos de corte são economicamente estáveis e que se remuneram (ANDRADE et al., 2018). Ressalta-se que os lucros aumentam quando os sistemas de produção de frangos de corte possuem sistemas fotovoltaicos que injetam créditos de energia elétrica na unidade consumidora do sistema de produção, enquanto a RCB diminui de acordo com a redução do nível de tecnificação. Além disso, os sistemas de produção de PP apresentam os menores valores de RCB. De acordo com o SENAR (2024), é crucial avaliar a relação entre a renda bruta e os custos totais, uma vez que sistemas de produção com valores iguais ou inferiores a um podem causar prejuízos ao produtor rural, além de inviabilizar o processo produtivo.

4.4 Análise de incertezas

Os resultados da Análise de incertezas obtidos a partir da simulação com a ferramenta Monte Carlo, junto ao SimaPro®, são apresentados na Tabela 9.

O trabalho de Pereira et al. (2023) foi usado como referência para a análise de incertezas dos sistemas de produção estudados. Os resultados para a categoria de impacto de PAG apresentaram uma menor variação nos resultados apresentados, com menos incertezas associadas.

Em relação às categorias AP e EP, observou-se na Tabela 9 valores considerados moderados a altos de coeficientes de variação (CV). Podendo-se justificar pelos dados primários atribuídos nas entradas do subsistema de produção de ração que possuem uma maior variação associada devido aos fluxos que envolvem o milho e soja, principalmente, entradas com maior participação nos ingredientes da ração, como também observado no estudo de Leinonem et al. (2012) na análise de incertezas.

Tabela 9 - Média e coeficientes de variação para as categorias de impacto avaliadas na análise de incerteza

Cenário de estudo	Categoria de impacto	Potencial de Acidificação (AP)	Potencial de Eutrofização (EP)	Potencial de Aquecimento Global (PAG)
	Unidade	kg SO ₂ -eq	kg PO ₄ -eq	kg CO ₂ -eq
PP-SFV	Média	1,84 E-02	2,30 E-02	2,921
	CV(%)	164,11	39,34	11,76
PP-CFV	Média	1,79 E-02	2,30 E-02	2,913
	CV (%)	172,04	39,67	11,99
PN-SFV	Média	1,58 E-02	1,99 E-02	2,530
	CV (%)	166,93	39,07	11,70
PN-CFV	Média	1,61 E-02	1,99 E-02	2,520
	CV (%)	162,45	39,19	11,81

Legenda: PP-SFV: Pressão positiva sem sistemas fotovoltaicos; PP-CFV: Pressão positiva com sistemas fotovoltaicos; PN-SFV: Pressão negativa sem sistemas fotovoltaicos; PN-CFV: Pressão negativa com sistemas fotovoltaicos; CV: Coeficiente de variação.

Fonte: Autor.

5 CONCLUSÕES

Neste estudo, foram avaliados os sistemas de produção de frangos de corte a partir da abordagem de avaliação de ciclo de vida e de outras ferramentas da literatura, para analisar os impactos ambientais, uso de energia e os custos econômicos para o produtor rural. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que:

- Os sistemas de produção de frangos de corte com sistemas fotovoltaicos têm a capacidade de reduzir anualmente entre 2,58 t CO₂-eq, para os de pressão positiva, e 4,96 t CO₂-eq, para os de pressão negativa, além de apresentarem os melhores índices de eficiência energética.
- Os sistemas de produção dos tipos de pressão positiva e pressão negativa, com ou sem sistemas fotovoltaicos, apresentaram diferenças pouco significativas entre si nas categorias de impacto ambiental avaliadas, uma vez que a matriz elétrica brasileira é predominantemente composta por fontes renováveis de energia.
- Na análise econômica, todos os cenários de criação de frangos de corte foram viáveis financeiramente, mas os sistemas do tipo de pressão negativa possuem os maiores valores de relação de custo-benefício.
- O subsistema de produção de ração contribuiu expressivamente para o potencial de aquecimento global, representando cerca de 82% da demanda de energia total.
- Os maiores custos estão associados à casca de café utilizada na cama de frango (36,5%), às manutenções das instalações (23,1%) e ao uso de lenha para aquecimento dos pintinhos (12,4%).
- A inserção de sistemas fotovoltaicos pode reduzir os custos financeiros com energia elétrica para o produtor rural de 19,4% a 26,5% ao ano.
- O sistema de produção de frangos de corte mais sustentável para o meio ambiente e para o produtor rural foi o de maior tecnificação, o de pressão negativa com sistemas fotovoltaicos, enquanto que o menos sustentável foi o de pressão positiva sem sistemas fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual 2023**, 2023. Disponível em: <<https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>> . Acesso em: 26 dez. 2023.

ALVES, E. C., DOS SANTOS ALVES, I. H., SOARES, B. B., BORGES, A. F., JALAL, A., JANI, A. D., ABREU-JUNIOR, C. H., CAPRA, G. F., & RODRIGUES NOGUEIRA, T. A. (2023). Resource recovery of biological residues from the Brazilian poultry industry in mitigating environmental impacts: A life cycle assessment (LCA) approach. **Journal of Cleaner Production**, 416. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137895>

ANDRADE, I. R. A. et al. Metodologias para avaliação econômica de sistemas de produção agropecuários. **Archivos de Zootecnia**, p. 610-620, 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/185636/1/CNPC-2018-Metodologias.pdf>> . Acesso em: 10 Janeiro. 2024.

BAIOCHI, A. G. ., & SILVA, V. G. da . (2021). Análise de incerteza de parâmetros com base em processos críticos em avaliação do ciclo de vida de edificações. **PARC Pesquisa Em Arquitetura E Construção**, 12(00), e021027. <https://doi.org/10.20396/parc.v12i00.8661478>

BAMBER, N., JONES, M., NELSON, L., HANNAM, K., NICHOL, C., & PELLETIER, N. (2020). Life cycle assessment of mulch use on Okanagan apple orchards: Part 1 - Attributional. **Journal of Cleaner Production**, 267, 121960. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.121960>

BEAL, C. M., ROBINSON, D. M., SMITH, J., GERBER VAN DOREN, L., TABLER, G. T., ROCHELL, S. J., KIDD, M. T., BOTTJE, W. G., & LEI, X. (2023). Economic and environmental assessment of U.S. broiler production: opportunities to improve sustainability. **Poultry Science**, 102(10). <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102887>

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Brasília: **Presidência da República**, 2006. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm>. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 14.300, de 06 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Brasília: **Presidência da República**, 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

CHENG, Z., JIA, Y., BAI, Y., ZHANG, T., REN, K., ZHOU, X., ZHAI, Y., SHEN, X., & HONG, J. (2023). Intensifying the environmental performance of chicken meat production in China: From perspective of life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, 384. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135603>

COSTANTINI, M., FERRANTE, V., GUARINO, M., & BACENETTI, J. (2021). Environmental sustainability assessment of poultry productions through life cycle approaches: A critical review. **Trends in Food Science & Technology**, 110, 201–212. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.01.086>

ELAHI, E., ZHANG, Z., KHALID, Z., & XU, H. (2022). Application of an artificial neural network to optimise energy inputs: An energy- and cost-saving strategy for commercial poultry farms. **Energy**, 244. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123169>

EMBRAPA AGROPENSA. In: Oportunidades e desafios em PD&I na cadeia produtiva de frangos de corte. **AGROPENSA**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/CIAS+-+Agropensa+-+Oportunidades+e+desafios+em+PD%26I+na+cadeia+produtiva+de+frangos+de+corte.pdf>>. Acesso em: 17 Outubro 2022.

EPE. Plano Nacional de Energia 2050. **Ministério de Minas e Energia**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>>. Acesso em: 20. fev. 2024.

FREITAS, Caroline Piccoli Miranda de. O potencial do resíduo do café como fonte de geração de energia. 2022. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - **Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa. 2022.

GUINÉE, J.B.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJN, R.; KONING, A. de; OERS, L. van; WEGENER SLEESWIJK, A.; SUH, S.; UDO DE HAES, H.A.; BRUIJN, H. de; DUIN, R. van; HUIJBREGTS, M.A.J. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. **Kluwer Academic Publishers**, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp.

HEIDARI, M. D., OMID, M., & AKRAM, A. (2011). Energy efficiency and econometric analysis of broiler production farms. **Energy**, 36(11), 6536–6541. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.09.011>

IBRAHIM, D., MOUSTAFA, A., SHAHIN, S. E., SHERIEF, W. R. I. A., ABDALLAH, K., FARAG, M. F. M., NASSAN, M. A., & IBRAHIM, S. M. (2021). Impact of Fermented or Enzymatically Fermented Dried Olive Pomace on Growth, Expression of Digestive Enzyme and Glucose Transporter Genes, Oxidative Stability of Frozen Meat, and Economic Efficiency of Broiler Chickens. **Frontiers in veterinary science**, 8, 644325. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.644325>

ISO (International Standards Organization), 2009. International Standard ISO 14040: Environmental Management e Life Cycle Assessment e Principles and Framework. Geneva.

ISO (International Standards Organization), 2009. International Standard ISO 14044: Environmental Management e Life Cycle Assessment e Requirements and Guidelines. Geneva.

IZAR-TENORIO, J., JARAMILLO, P., GRIFFIN, W. M., & SMALL, M. (2020). Impacts of projected climate change scenarios on heating and cooling demand for industrial broiler chicken farming in the Eastern U.S. **Journal of Cleaner Production**, 255, 120306. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120306>

ABRANCHES, R. F. C. J., SCHWERTNER, A. H., BARBOSA, L. de O., & COUTINHO, R. de A. P. S. (2021). A Geração Distribuída E A Redução De Carbono Na Matriz Elétrica Brasileira. **Revista Internacional De Ciências**, 11(1), 42–60. <https://doi.org/10.12957/ric.2021.51563>

KHANALI, M., KOKEI, D., AGHBASHLO, M., NASAB, F. K., HOSSEINZADEH-BANDBAFHA, H., & TABATABAEI, M. (2020). Energy flow modeling and life cycle assessment of apple juice production: Recommendations for renewable energies implementation and climate change mitigation. **Journal of Cleaner Production**, 246, 118997. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118997>

LEINONEN, I., WILLIAMS, A. G., WISEMAN, 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. **Poultry Science**, 91(1), 8–25. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01634>

LI, Y., ARULNATHAN, V., HEIDARI, M. D., & PELLETIER, N. (2022). Design considerations for net zero energy buildings for intensive, confined poultry production: A review of current insights, knowledge gaps, and future directions. In **Renewable and Sustainable Energy Reviews** (Vol. 154). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111874>

LIMA, N. D. da S., NÄÄS, I. de A., GARCIA, R. G., & MOURA, D. J. de (2019). Environmental impact of Brazilian broiler production process: Evaluation using life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, 237, 117752. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.117752>

MARTINELLI, G., VOGEL, E., DECIAN, M., FARINHA, M. J. U. S., BERNARDO, L. V. M., BORGES, J. A. R., GIMENES, R. M. T., GARCIA, R. G., & RUVIARO, C. F. (2020). Assessing the eco-efficiency of different poultry production systems: an approach using life cycle assessment and economic value added. **Sustainable Production and Consumption**, 24, 181–193. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2020.07.007>

MENDES, N. C. (2013). Métodos e modelos de caracterização para avaliação de impacto do ciclo de vida: análise e subsídios para a aplicação no Brasil. Dissertação

de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, **Universidade de São Paulo**, São Carlos. <https://doi.org/10.11606/D.18.2013.tde-15102013-085143>

MOSTERT, P. F., BOS, A. P., van HARN, J., & de JONG, I. C. (2022). The impact of changing towards higher welfare broiler production systems on greenhouse gas emissions: a Dutch case study using life cycle assessment. **Poultry Science**, 102151. <https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2022.102151>

MOTTET, A.; TEMPIO, G. (2017) Global poultry production: current state and future outlook and challenges, **World's Poultry Science Journal**, 73:2, 245-256, <https://doi.org/10.1017/S0043933917000071>

NACIMENTO, R. A., ROJAS MORENO, D. A., LUIZ, V. T., AVELAR DE ALMEIDA, T. F., REZENDE, V. T., BAZERLA ANDRETA, J. M., IFUKI MENDES, C. M., GIANNETTI, B. F., & GAMEIRO, A. H. (2022). Sustainability assessment of commercial Brazilian organic and conventional broiler production systems under an Energy analysis perspective. **Journal of Cleaner Production**, 359, 132050. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.132050>

ONU. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. **Organização das Nações Unidas**, 2024. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 20 fev. 2024.

PAINEL AGROPECUÁRIO. Painel de Dados da Produção Agropecuária. In: **Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais**. Disponível em: <<https://www.mg.gov.br/agricultura>>. Acesso em: 26 dez. 2023.

PASOLINI, V. H., COSTA, A. B. S., PERAZZINI, M. T. B., CIPRIANO, D. F., FREITAS, J. C. C., PERAZZINI, H., & SOUSA, R. C. (2024). Valorization of pure poultry manure for biomass applications: Drying and energy potential characteristics. **Renewable Energy**, 220, 119609. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119609>

PELLETIER, N. (2008). Environmental performance in the US broiler poultry sector: Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions. **Agricultural Systems**, 98(2), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2008.03.007>

PEREIRA, A. S. A. de P., MAGALHÃES, I. B., FERREIRA, J., CASTRO, J. de S., & CALIJURI, M. L. (2023). Microalgae organomineral fertilizer production: A life cycle approach. **Algal Research**, 71. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103035>

PISHGAR-KOMLEH, S.H., AKRAM, A., KEYHANI, A. et al. 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 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9255-3>

PRé, 2016. Introduction to LCA with SimaPro. Disponível em: <<https://pre-sustainability.com/files/2014/05/SimaPro8IntroductionToLCA.pdf>>. Acesso em: 16 Janeiro 2024.

QAID, M. M., AL-MUFARREJ, S. I., AL-GARADI, M. A., & AL-HAIDARY, A. A. (2023). Effects of Rumex nervosus leaf powder supplementation on carcasses compositions, small intestine dimensions, breasts color quality, economic feasibility in broiler chickens. **Poultry Science**, 102(10). <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102943>

ROCCHI, L., PAOLOTTI, L., ROSATI, A., BOGGIA, A., & CASTELLINI, C. (2019). Assessing the sustainability of different poultry production systems: A multicriteria approach. **Journal of Cleaner Production**, 211, 103–114. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.11.013>

ROSTAGNO, H. S., ALBINO, L., DONZELE, J. L., GOMES, P. C., DE OLIVEIRA, R. F., LOPES, D. C., ... & EUCLIDES, R. (2017). Tabelas brasileiras para suínos e aves: composição de alimentos e exigências nutricionais (HS Rostagno). In 4rd ed. **Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

SENAR, (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL). Gestão da Atividade Agropecuária: Custos de Produção, 2024. Disponível em: <<https://ead.senar.org.br/curso-whatsapp/gestao-da-atividade-agropecuaria-custos-d-e-producao>>. Acesso em: 10 jan. 2024.

SILVA, Felipe Thalles Moreira. Valorização da madeira Eucalyptus sp. via pirólise: caracterização e rendimentos dos produtos. 2019. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - **Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.323>

SLEESWIJK, A. W., van OERS, L. F., GUINÉE, J. B., STRUIJS, J., & HUIJBREGTS, M. A. (2008). Normalisation in product life cycle assessment: an LCA of the global and European economic systems in the year 2000. **The Science of the total environment**, 390(1), 227–240. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.09.040>

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>

SORDI, C. TAVERNARI, F. de C., SUREK, D., RIBEIRO JÚNIOR, V. (2016). Características físicas de rações para frangos de corte contendo glicerina bruta. In: **Jornada De Iniciação Científica (JINC)**, 10., Concórdia. Anais. Brasília: Embrapa, 2016. p. 127-128.

TEODORO, M. I. T. M. (2017). Energia embutida na construção de edificações no Brasil: contribuições para o desenvolvimento de políticas públicas a partir de um estudo de caso em Mato Grosso do Sul. Tese de Doutorado, Instituto de Energia e Ambiente, **Universidade de São Paulo**, São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.106.2018.tde-01022018-151533>

USVA, K., HIETALA, S., NOUSIAINEN, J., VORNE, V., VIERAANKIVI, M. L., JALLINOJA, M., & LEINONEN, I. (2023). Environmental life cycle assessment of Finnish broiler chicken production – Focus on climate change and water scarcity impacts. **Journal of Cleaner Production**, 410. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137097>

ZHENG, Z., LEI, T., WANG, J., WEI, Y., LIU, X., YU, F., & JI, J.. (2019). Catalytic Cracking of Soybean Oil for Biofuel over γ -Al₂O₃/CaO Composite Catalyst. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 30(2), 359–370. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20180185>

APÊNDICE A - Questionário de coleta de informações por galpão

Indicar a respectiva unidade: R\$/cabeça, R\$/lote, R\$/mês e/ou R\$/ano.

1. Nome do Avicultor(a) e cidade.
2. Sistema de produção *Dark house*, *Blue house* ou Convencional?
3. Possui energia solar fotovoltaica?
4. Uso de diesel. No último ano. Quantos litros? Quantos reais? Quando usa? Para gerador? Caminhão? Trator? Tobata? Outro?
5. Uso de gasolina ou álcool. No último ano. Quantos litros? Quantos reais? Por ano ou mês? Quando usa? Para gerador? Caminhão? Trator? Tobata? Outro?
6. Uso de água. No último ano. Paga ou é gratuita? Ou é o licenciamento? Duração do licenciamento em R\$/ano?
7. Uso de madeira. Uso de madeira para aquecimento. Quanto pagou? Quantos m³ utilizou? Retirou na propriedade? Quantos caminhões?
8. Uso de remédio para controle de pragas e limpeza/higiene, agrotóxicos, plantas, formigas, etc.
9. Qual é a cama de frango? Qual o tipo de cama de frango usado?
10. Qual é o custo/quantidade (tonelada) pago pela cama de frango em R\$?* Quanto custou comprar palha de café, maravalha, pó de serra e/ou serragem, etc no último ano. Qual o tamanho do caminhão? valor pago?
11. Quantas pessoas trabalham sempre na granja na mão de obra familiar ou paga?*
12. Duas, três, quatro pessoas?
12. Quais os custos da mão de obra em R\$? Paga quantos reais por mês a sua eventual mão de obra? Paga custos trabalhistas? Se for *familiar*, quanto seria pago a partir do número de horas trabalhadas?
13. Qual é o custo médio de telefone/internet em R\$. Custo de telefone e internet para manter o galpão/sistema de energia solar se tiver
14. Qual é o custo médio de botijão de gás para a granja em R\$.

15. Qual é o custo médio de pagamento de impostos em relação a granja em R\$? Impostos sobre água, licenciamento ambiental, madeira, motosserra, obras...

16. Qual é o valor médio pago na manutenção dos equipamentos no último ano em R\$? Compra de comedouros, lonas, silos, motores, sensores, fios elétricos, exaustores, bebedouros, caixa d' água, bombas, etc.

17. Qual é o valor médio pago para a manutenção do galpão no último ano em R\$ Cimento, obras, pedreiro, estrutura, telhado, portões, pintura, máquinas, etc.

18. Qual é o investimento feito no galpão em R\$. Compra de novos itens para melhorias no galpão, trator, silos, canos, máquinas, motores, energia solar, financiamentos.

19. Itens de receita: aqui deverão ser inseridas as receitas com a comercialização dos animais e de dejetos, composto ou cama de aviário. Para facilitar, é possível escolher a unidade mais adequada para cada produtor ou situação (R\$/matriz/ano, R\$/cabeça, R\$/lote, R\$/mês, R\$/ano).

APÊNDICE B - Entradas e saída de energia para os cenários estudados

Valores de energia por cenário (MJ.Ano ⁻¹)						
	Unidade	Coefficiente energético (MJ/Unidade)	PP-SFV	PP-CFV	PN-SFV	PN-CFV
A. Entradas						
Subsistema: Produção de ração						
Uso de energia						
Eletricidade	kWh	11,21 ^a	2,190E+08	2,190E+08	2,190E+08	2,190E+08
Diesel	L	47,80 ^a	4,370E+06	4,370E+06	4,370E+06	4,370E+06
Ingredientes de ração (composição básica)						
Milho	kg	7,24 ^a	2,430E+09	2,430E+09	3,610E+09	3,610E+09
Farelo de soja	kg	10,94 ^a	1,170E+08	1,170E+08	1,740E+08	1,740E+08
Fosfato bicálcio	kg	10,00 ^a	2,080E+09	2,080E+09	3,080E+09	3,080E+09
Óleo de soja	kg	38,60 ^b	1,030E+09	1,030E+09	1,520E+09	1,520E+09
Calcário	m ³	1,59 ^a	1,580E+04	1,580E+04	2,350E+04	2,350E+04
Cloreto de Colina (70%)	m ³	1,59 ^a	6,410E+03	6,410E+03	9,510E+03	9,510E+03
L-lisina HCL	m ³	1,59 ^a	1,830E+03	1,830E+03	2,720E+03	2,720E+03
Premix vitaminas	m ³	1,59 ^a	2,620E+03	2,620E+03	3,880E+03	3,880E+03
DL-metionina	m ³	1,59 ^a	6,550E+02	6,550E+02	9,710E+02	9,710E+02
Cloreto de sódio	m ³	1,59 ^a	1,440E+03	1,440E+03	2,140E+03	2,140E+03
Premix minerais	m ³	1,59 ^a	1,050E+03	1,050E+03	1,550E+03	1,550E+03
Avilaminica	m ³	1,59 ^a	1,310E+02	1,310E+02	1,940E+02	1,940E+02
Mononsina	m ³	1,59 ^a	7,850E+02	7,850E+02	1,160E+03	1,160E+03
Subsistema: Produção de Frangos						
Pintos e nutrição das aves						
Pintos de um dia	kg	10,33 ^a	4,950E+07	4,950E+07	7,600E+07	7,600E+07
Energia (Eletricidade, Biomassa e Combustíveis)						
Energia elétrica - distribuidora	kWh	11,21 ^a	2,190E+08	6,730E+06	4,310E+08	6,730E+06
Diesel	L	47,80 ^a	1,520E+07	1,520E+07	4,530E+07	4,530E+07

Gasolina	L	28,99 ^c	3,850E+06	3,850E+06	3,850E+06	3,850E+06
Gás Natural	m ³	49,50 ^a	4,950E+06	4,950E+06	9,900E+06	9,900E+06
Lenha para aquecimento (<i>Eucalyptus urograndis</i>)	kg	20,25 ^d	2,430E+06	2,430E+06	3,650E+06	3,650E+06
Preparação do início do ciclo						
Casca de café - cama	kg	17,55 ^e	8,360E+08	8,360E+08	1,140E+09	1,140E+09
Papel Semi Kraft - Pintos de Um Dia	kg	37,70 ^f	6,790E+06	6,790E+06	6,790E+06	6,790E+06
Dados econômicos e sociais						
Mão de obra	h	1,96 ^a	1,130E+07	1,130E+07	1,130E+07	1,130E+07
<i>Entrada total de energia (MJ.Ano⁻¹)</i>			<i>7,029E+09</i>	<i>6,817E+09</i>	<i>1,034E+10</i>	<i>9,911E+09</i>

B. Outputs						
Frango vivo	kg	10,96 ^a	<i>3,730E+09</i>		<i>5,660E+09</i>	
Cama de frango	kg	13,37 ^g	<i>2,810E+09</i>		<i>4,010E+09</i>	
<i>Saída total de energia (MJ.Ano⁻¹)</i>			<i>6,540E+09</i>		<i>9,670E+09</i>	

Referências

- ^a Pishgar-Komleh et al. (2017).
^b Zheng et al. (2019).
^c Sordi et al. (2016).
^d Silva (2019).
^e Freitas (2022).
^f Teodoro (2017).
^g Pasolini et al. (2024).

APÊNDICE C - Composição dos custos anuais dos sistemas avaliados

	Cenários de estudo			
	PP-SFV	PP-CFV	PN-SFV	PN-CFV
A. Custo do produtor (USD.Ano⁻¹)				
Energia (Eletricidade, Biomassa e Combustíveis)				
Energia elétrica - distribuidora	3.779,76	116,07	7.443,26	116,07
Diesel	415,06		1.189,83	
Gasolina	198,21		198,21	
Gás Natural	124,19		248,39	
Lenha para aquecimento (<i>Eucalyptus urograndis</i>)	1.987,10		2.980,66	
Preparação do início do ciclo				
Casca de café - cama	6.147,60		8.383,10	
Papel Semi Kraft - Pintos de Um Dia	365,13		365,13	
Dados econômicos e sociais				
Mão de obra	12.605,69		12.605,69	
Impostos				
Cobrança Pelo Uso dos Recursos Hídricos	199,79		199,79	
Licenciamento Ambiental	201,45		201,45	
Colheita e comercialização de lenha	36,49		36,49	
Registro de motosserra	25,02		25,02	
Outras despesas				
Alimentação - Serviço de apanha	447,10		894,20	
Telefone e Internet	99,36		670,65	
Manutenção de equipamentos, máquinas e instalações	4.502,03		4.452,35	
Extintores	16,56		16,56	
Controle de pragas e produtos de limpeza	129,42		167,43	
Custo total do produtor (USD.Ano⁻¹)	31.279,97	27.616,28	40.078,20	32.751,01
B. Receitas				
Frango vivo	21.548,66		37.398,89	
Cama de frango	17.387,16		24.838,80	
Receita total (USD.Ano⁻¹)	38.935,82		62.237,69	