

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE LEITÕES NA
FASE PÓS-DESMAME

Carolina Obregão da Rosa

DOURADOS-MS
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE LEITÕES NA
FASE PÓS-DESMAME

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal da Grande Dourados – Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Economia, para fins de obtenção do Título de Doutora em Agronegócios.

Discente: Carolina Obregão da Rosa

Orientador: Prof. Dr. Clandio Favarini
Ruviaro

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Carolina
Amorim Orrico

DOURADOS-MS
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

R789a Rosa, Carolina Obregao Da
AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE LEITÕES NA FASE
PÓS-DESMAME [recurso eletrônico] / Carolina Obregao Da Rosa. -- 2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Clandio Favarini Ruviaro.
Coorientadora: Ana Carolina Amorim Orrico.
Tese (Doutorado em Agronegócios)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Bioeconomia. 2. Suinocultura. 3. Agronegócio. 4. Produção animal. 5. Digestão
anaeróbia. I. Ruviaro, Clandio Favarini. II. Orrico, Ana Carolina Amorim. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

CAROLINA OBREGÃO DA ROSA

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE LEITÕES NA
FASE PÓS-DESMAME**

Esta Tese foi julgada e aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Agronegócios com área de concentração em Agronegócios e Sustentabilidade no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal da Grande Dourados.

Dourados (MS), 06 de setembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
CLAUDIO FAVARINI RUVIARO
Data: 08/11/2023 20:42:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Claudio Favarini Ruviaro (Orientador)
Universidade Federal da Grande Dourados



Documento assinado digitalmente
RODRIGO GAROFALLO GARCIA
Data: 06/11/2023 19:59:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Garófallo Garcia
Universidade Federal da Grande Dourados



Documento assinado digitalmente
RAFAEL MARTINS NORILLER
Data: 07/11/2023 13:47:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rafael Martins Noriller
Universidade Federal da Grande Dourados



Documento assinado digitalmente
FABIANA RIBEIRO CALDARA
Data: 08/11/2023 06:45:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Fabiana Ribeiro Caldara
Universidade Federal da Grande Dourados



Documento assinado digitalmente
SILVANA DALMUTT KRUGER
Data: 06/11/2023 11:19:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Silvana Dalmutt Kruger
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

*“Conhece-te,
aceita-te,
supera-te.”*

Santo Agostinho

*Ao Mestre dos mestres, toda honra e glória.
Aos meus pais, Amélia e Edo, que sempre estiveram ao meu lado,
me apoiando e me incentivando.
Vocês são meus maiores exemplos,
e sou muito grata por tudo que vocês fizeram por mim.
Ao meu esposo Neimar, meu porto seguro
e companheiro ao longo desta jornada.
Com amor, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, a Deus, pelo dom da vida e por me permitir viver as suas promessas...

Ao meu esposo Neimar, pela dedicação, companheirismo, compreensão e, principalmente, pelo apoio ao longo desta jornada.

Aos meus filhos, Natan e Catarina, que suportaram muitos períodos de ausência e muitos “nãos” e, apesar de tudo, compreenderam.

Aos meus pais, Edo e Amélia, pelo apoio e motivação.

Ao meu orientador, Professor Dr. Clandio Favarini Ruviaro, pelo acolhimento, pelo incentivo, pelos conhecimentos compartilhados, disposição e paciência em orientar.

A Professora Dra. Ana Carolina Amorim Orrico, pela coorientação e pelo direcionamento concedido.

A todos os membros de banca que se dispuseram a colaborar com esta tese, desde a concepção do projeto na disciplina de Seminários de Tese, passando pela banca de qualificação, até chegar ao momento da defesa final.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação (PPG) em Agronegócios da UFGD, pelo conhecimento e experiências transmitidos.

Aos funcionários da propriedade fornecedora dos dados para esta Tese, Marcelo, Marcinho e Luciane, trabalhadores exemplares, cuja contribuição a este trabalho foi essencial.

A todos os meus colegas de pós-graduação, pela troca de experiências e conhecimentos. Em especial, a duas amigas que a PPG em Zootecnia me deu. A primeira, Nilsa Duarte Lima, amiga desde a época do mestrado, a qual sempre esteve disposta a compartilhar conhecimentos e muito me incentivou a ingressar no doutorado. A segunda, Rita Therezinha Rolim Pietramale, pela parceria em diversos trabalhos e sugestões de melhorias a esta tese, pelas longas horas de estudo e disposição em ajudar e, pelos conhecimentos compartilhados da área de suinocultura. Minha eterna gratidão!

Aos meus colegas de trabalho, pelo apoio e pela disposição em realizarem os meus trabalhos no período do meu afastamento para as pesquisas desta tese.

Enfim, a todos que fazem parte da minha vida, familiares, amigos e colegas, vocês fazem parte desta conquista!

À Universidade Federal da Grande Dourados pelo apoio institucional fundamental na conclusão deste curso em nível de Doutorado.

A todos, meu muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	12
ABSTRACT	13
LISTAS DE ABREVIATURAS	14
LISTA DE TABELAS	15
LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE QUADROS	19

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS	19
1. INTRODUÇÃO	20
1.1 Problema e Questões de Estudo	23
2. OBJETIVOS	23
2.1 Objetivo Geral	23
2.2 Objetivos Específicos	23
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1 Panorama da cadeia suinícola global, nacional e regional	24
3.2 Sistemas de produção intensiva de suínos	26
3.3 Caracterização, tratamento e utilização de resíduos suínos	28
3.4 Políticas públicas de incentivo à suinocultura de baixo carbono	30
3.5 Impactos da produção suinícola	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1. QUANTO O PROCESSO PRODUTIVO DE SUÍNOS NA FASE PÓS-DESMAME CONTRIBUI PARA O POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL?	38
RESUMO	38
1. Introdução	39

2. Material e métodos	42
2.1 Caracterização do local de estudo	42
2.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	43
2.2.1 Objetivo e escopo	43
2.2.2 Sistema de produto e limites do sistema	44
2.2.3 Alocação	45
2.2.4 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)	46
2.2.5 Estimativas das emissões de GEE dos dejetos	59
2.2.6 Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida	67
3. Resultados e Discussão	68
3.1 Processamento das rações	68
3.2 Produção de leitões na granja	69
3.3 Sistema de tratamento de dejetos	71
4. Conclusões	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXO 1	83

CAPÍTULO 3 – ARTIGO 2. AVALIAÇÃO DA ECOEFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO DE SUÍNOS PÓS-DESMAMADOS

RESUMO	86
--------	----

1. Introdução	87
---------------	----

2 Referencial teórico	89
-----------------------	----

2.1 Indicadores de desempenho econômico-financeiro aplicados à agropecuária	89
---	----

2.2 Avaliação de Ecoeficiência do sistema de produção	92
---	----

3. Material e métodos	94
-----------------------	----

3.1 Caracterização do local de estudo	94
---------------------------------------	----

3.2 Ecoeficiência	95
-------------------	----

3.2.1 Objetivo e escopo	95
3.2.2 Avaliação Ambiental - Avaliação de Ciclo de Vida	96
3.3 Valor do sistema de produto	104
3.3.1 Custos e receita do produto	104
3.3.2 Valor Econômico Agregado	105
4. Resultados	107
5. Conclusões	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
 CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	 120
1. Conclusões Gerais	120
2. Limitações e sugestões de pesquisas futuras	121
REFERÊNCIAS GERAIS	122

AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÔMICA PRODUÇÃO DE LEITÕES NA FASE PÓS-DESMAME

RESUMO

Inovações tecnológicas têm contribuído para a eficiência produtiva e ambiental da suinocultura, possibilitando melhores rendimentos e fomentando seu desenvolvimento nas últimas décadas. No entanto, é eminente a necessidade em identificar qual o custo ambiental da produção de carne suína em relação ao valor econômico agregado da atividade. Além disso, há uma lacuna nos estudos nacionais que avaliam os potenciais impactos ambientais específicos da produção de leitões na fase pós-desmame utilizando a abordagem do ciclo de vida e, ainda são escassas pesquisas que aliam indicadores ambientais e financeiros na suinocultura brasileira. Diante desta problemática, este estudo buscou avaliar a Ecoeficiência de um sistema industrial de produção de suínos na fase pós-desmame, por meio da Avaliação de Ciclo de Vida e do Valor Econômico Agregado. O potencial de aquecimento global foi estimado em 10,43593 kg de CO₂ eq. por kg de ganho de peso na fase pós-desmame. Os resultados possibilitaram a identificação de pontos críticos do sistema de produção, tais como: o período de adaptação dos leitões foi o mais sensível e com maior impacto nas emissões de gases de efeito estufa, tendo como causa provável o baixo desempenho dos animais nesta fase; o esterco in natura representou a maior fonte de emissão de gases de efeito estufa no sistema de produção; entre outros. O sistema de tratamento dos dejetos por biodigestor mostrou eficiência de 70% na redução do potencial de emissão. O sistema de produção de suínos na fase de creche apresentou Ecoeficiência positiva em apenas um lote, revelando que o maior desafio para uma suinocultura sustentável é aliar um desempenho ambiental eficiente aos resultados financeiros. De forma geral, a pesquisa agrega contribuições à Avaliação de Ciclo de Vida e de Ecoeficiência da cadeia suinícola do Mato Grosso do Sul e do Brasil, gerando informações relevantes e necessárias na busca pela sustentabilidade do setor suinícola.

Palavras-chave: bioeconomia, suinocultura, agronegócio, produção animal, digestão anaeróbia, biogás.

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF POST-WEANING PIGLET PRODUCTION

ABSTRACT

Technological innovations have contributed to the productive and environmental efficiency of pig farming, enabling better yields and fostering its development in recent decades. However, there is a pressing need to identify the environmental cost of pork production in relation to the added economic value of the activity. In addition, there is a gap in national studies evaluating the specific potential environmental impacts of piglet production in the post-weaning phase using the life cycle approach, and there is still little research combining environmental and financial indicators in Brazilian pig farming. Faced with this problem, this study sought to evaluate the eco-efficiency of an industrial pig production system in the post-weaning phase, using Life Cycle Assessment and Economic Value Added. The global warming potential was estimated at 10.43593 kg of CO₂ eq. per kg of weight gain in the post-weaning phase. The results made it possible to identify critical points in the production system, such as: the piglets' adaptation period was the most sensitive and had the greatest impact on greenhouse gas emissions, the probable cause being the animals' poor performance during this phase; manure in natura represented the greatest source of greenhouse gas emissions in the production system; among others. The biodigester manure treatment system was 70% efficient in reducing potential emissions. The pig production system in the nursery phase showed positive eco-efficiency in only one batch, revealing that the biggest challenge for sustainable pig farming is to combine efficient environmental performance with financial results. Overall, the research adds contributions to the Life Cycle Assessment and Eco-efficiency of the pig chain in Mato Grosso do Sul and Brazil, generating relevant and necessary information in the search for sustainability in the pig sector.

Keywords: Bioeconomic, swine farming, agribusiness, animal production, anaerobic digestion, biogas.

LISTAS DE ABREVIATURAS

ABC	Agricultura de Baixo Carbono
ABCS	Associação Brasileira de Criadores de Suínos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
AICV	Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
CAPM	<i>Capital Asset Price Model</i> (Precificação de Ativos Financeiros)
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CI	Capital Investido
EBITDA	<i>Earnings before interest, taxes, depreciation and amortization</i> (Lucros antes de juros, impostos, depreciação e amortização)
ELZ	Emissão Líquida Zero
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EVA	<i>Economic Value Added</i> (Valor Econômico Agregado)
FE	Fator de emissão
GWP	<i>Global Warming Potential</i> (Potencial de Aquecimento Global)
GEE	Gases de efeito estufa
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MS	Mato Grosso do Sul
NOPAT	<i>Net Operating Profit After Taxes</i> (Lucro Operacional Líquido)
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PEMC	Política Estadual de Mudanças Climáticas
ROI	<i>Return on Investment</i> (Retorno sobre o Investimento)
SEMADESC	Secretaria de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação do estado de Mato Grosso do Sul
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio a Pequenas Empresas
TGI	Trato gastrointestinal
UF	Unidade Funcional
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
WACC	<i>Weighted Average Cost Capital</i> (Custo Médio Ponderado de Capital)

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Fases de criação de um sistema intensivo de produção de suínos.	28
---	----

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Inventário de composição de 1 kg de ração para leitões em fase de pós-desmame.....	50
Tabela 2 - Indicadores bromatológicos dos tipos de rações da fase pós-desmame.....	50
Tabela 3 – Indicadores e parâmetros zootécnicos da fase pós-desmame por tipo de dieta dos lotes inventariados.....	52
Tabela 4 – Valores médios dos parâmetros físicos, químicos e biológicos provenientes do sistema de tratamento de dejetos de leitões em fase de pós-desmame.....	57
Tabela 5 - Redução da concentração de sólidos totais de uma etapa de tratamento para outra.....	58
Tabela 6 – Média de emissões dos lotes avaliados, por tipo de GEE da produção de leitões pós-desmamados.....	73
Tabela A.1 – Emissões de CO ₂ eq. por fator de emissão na fase de pós-desmame.....	83
Tabela A.2 – Variáveis e parâmetros relacionados as emissões de N e seus valores.....	85

CAPÍTULO 3

Tabela 1 – Indicadores e parâmetros zootécnicos da fase pós-desmame por tipo de dieta dos 7 lotes inventariados da granja avaliada referente a 2021.....	97
Tabela 2 - Indicadores zootécnicos de origem da produção dos leitões desmamados.....	98
Tabela 3 - Inventário de composição de 1 kg de ração para leitões em fase de pós-desmame.....	98
Tabela 4 – Índices do modelo CAPM que definem o Custo do Capital Próprio	106

Tabela 5 – WACC da produção de leitões em fase pós-desmame	107
Tabela 6 – Emissões de GEE por fonte de emissão da produção de leitões em fase de pós-desmame	108
Tabela 7 – Resultados operacionais e desempenho econômico da produção de leitões em fase de pós-desmame	110
Tabela 8 – Avaliação da Ecoeficiência da produção de leitões em fase de pós-desmame	113

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Receita, Produção e Exportações Brasileiras de Carne Suína (Série histórica 2010 a 2020)	25
---	----

CAPÍTULO 2

Figura 1 – Vista aérea da granja de creche avaliada.....	43
---	----

Figura 2 – Limites da produção de leitões em fase pós-desmame	45
--	----

Figura 3 – Método de alocação aplicado no Inventário de Ciclo de Vida da produção de leitões em fase de pós desmame	46
--	----

Figura 4 - Pontos de coletas das amostras dos resíduos dentro das instalações da granja avaliada	55
---	----

Figura 5 - Participação da alimentação nas emissões totais e por etapa da produção de leitões em fase pós-desmame	69
--	----

Figura 6 – Emissões totais em CO ₂ eq. e o ganho de peso médio no decorrer das etapas de alimentação da fase pós-desmame	71
--	----

Figura 7 – Participação das principais fontes de emissões de GEE do sistema avaliado.....	72
--	----

Figura 8 – Progressão do potencial de emissão de CO ₂ eq. por etapa de tratamento dos resíduos da produção de leitões em fase de creche.....	74
--	----

Figura 9 – Potencial de emissões por tipo de GEE do tratamento de dejetos de leitões em fase de creche	75
---	----

CAPÍTULO 3

Figura 1 - Fases da avaliação de Ecoeficiência	94
---	----

Figura 2 – Limites da produção do sistema avaliado - criação de leitões durante a fase pós-desmame	99
---	----

Figura 3 – Componentes do modelo de Custo Médio Ponderado de Capital (WACC)	107
--	-----

Figura 4 - Contraste entre avaliação ambiental e econômica, separadamente, em relação aos indicadores de desempenho..... 111

Figura 5 – Relação entre emissões de GEE e valor econômico agregado da produção de leitões pós-desmamados 112

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 2

Quadro 1 – Definições dos indicadores zootécnicos referentes à produção de leitões na fase pós-desmame..... 44

Quadro 2 - Estrutura do Inventário de Ciclo de Vida para 1kg de Ganho de Peso de leitão na fase pós-desmame..... 47

CAPÍTULO 3

Quadro 1 - Estrutura do Inventário de Ciclo de Vida para 1kg de Ganho de Peso de leitão na fase pós-desmame..... 100

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

A produção sustentável de alimentos constitui-se atualmente como um dos maiores desafios do agronegócio. Cenário que deverá permanecer pelas próximas décadas, visto que até 2050 o mundo terá aproximadamente 10 bilhões de pessoas para serem alimentadas. Por conseguinte, a relação entre aumento populacional e poder aquisitivo determinará maior demanda por proteína animal, sobretudo em países de economia emergente, e consequentemente, maior dependência por terras agricultáveis (COP26, 2021; FAO, 2018a).

Neste panorama, encontra-se o mercado de carne suína, proteína de origem animal mais consumida no mundo atualmente, correspondendo a cerca de 40% do consumo per capita de proteínas, com previsões para aumento de consumo e produção (USDA, 2023). O Brasil encontra-se na posição de 4º produtor e exportador mundial (USDA, 2023; FAO 2021).

A produção sustentável de carne suína, em uma visão sistêmica, abrange o aproveitamento racional de todos os recursos utilizados no processo, como a água e a ração, e posteriormente os seus resíduos (efluente com mistura de dejetos, restos de ração e água). Portanto, a busca pela eficiência no uso de recursos naturais deve iniciar no emprego dos insumos básicos (água, ração, energia elétrica, etc.) e não se limitar ao tratamento e manejo dos resíduos (Saviotti, 2016).

Aproximadamente 38% das emissões nacionais de GEE provenientes de dejetos animais, na última década, corresponderam à produção de suínos (BRASIL, 2021). Por consequência, o aumento desta cadeia produtiva no Brasil poderá contribuir significativamente com as emissões totais de GEE. Neste cenário inclui-se o estado de Mato Grosso do Sul (MS), o qual apresentou crescimento acelerado da suinocultura nos últimos 5 anos, alavancando o desenvolvimento desta cadeia e a geração de milhares de empregos, com previsões de continuar aumentando nos próximos anos (Armôa, 2020; Peres, 2020). No estado de MS a suinocultura industrial é predominantemente intensiva e integrada às indústrias ou cooperativas, abarcando cerca de 88% das propriedades suínícolas (OPR, 2023).

Entre os principais estados produtores de suínos, o MS ocupa o 6º lugar da produção brasileira e o 5º lugar nas exportações (ABPA, 2022), e tem se destacado em razão do constante crescimento. De acordo com a SEMADESC/MS, entre os anos de 2014 e 2020, a suinocultura do estado cresceu 54,3%, crescimento acima da média nacional (29,2%), tornando-a uma atividade de importância estratégica para o agronegócio estadual (Armôa, 2020). Entretanto, caso não sejam tomadas as medidas adequadas, esse aumento da produção poderá contribuir significativamente com as emissões de gases de efeito estufa (GEE) da agropecuária regional e nacional.

No entanto, inventários de emissões de GEE específicos da cadeia suinícola brasileira ainda são escassos, sobretudo quanto ao detalhamento das suas fases de produção (reprodução/maternidade; pós-desmame ou creche; e, crescimento/terminação), considerando que cada etapa demanda entradas de insumos e saídas (produtos, coprodutos e resíduos) diferentes, o que torna indispensável quantificar e analisar os impactos causados pela emissão de gases de efeito estufa na produção suínos. De acordo com Higarashi *et al.* (2013), os principais gases emitidos são o metano (CH₄), o dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O), sendo estes com potencial de ocasionar efeito estufa, e o gás sulfídrico (N₂S).

Neste sentido, a divisão dos estudos por fases produtivas mostra-se relevante devido ao uso de recursos naturais ser diferentes em cada fase e, esta diferenciação possibilita evidenciar quais as fases com maior potencial impactante (Zhang *et al.*, 2014; Nagarajan *et al.*, 2019), ambientalmente e economicamente. Esta identificação possibilita o desenvolvimento de ações de prevenção e/ou mitigação destes impactos. Justifica-se este recorte devido à alta demanda de insumos produtivos na fase pós-desmame, como ração com alto teor de proteína bruta, vacinas, consumo de energia elétrica e manejo, e como consequência as características e qualidade dos resíduos também são diferenciadas (Cherubini *et al.*, 2015b).

Ademais, não obstante o desafio de produzir mais e simultaneamente reduzir as emissões de GEE, a busca por estratégias de elevar a sustentabilidade dos sistemas produtivos agropecuários tem fomentado, atualmente, a discussão sobre mecanismos para o alcance do carbono neutro neste segmento econômico. No MS, em 2021, o governo estadual lançou o Plano MS Carbono Neutro -

PROCLIMA, o qual tem por objetivo estabelecer um conjunto de ações e medidas de responsabilidade do poder público, setores produtivos e sociedade em geral, para que as emissões sejam neutralizadas, a partir de 2030 no território sul-mato-grossense. Assim, foi publicada recentemente a Resolução SEMADESC/MS nº 23, de 06 de junho de 2023, que regula a necessidade de inventariar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) de empreendimentos que demandam de licenciamento ambiental (SEMADESC, 2023), como é o caso da suinocultura.

Além disso, cada vez mais faz-se necessário identificar qual o custo ambiental da produção de carne suína em relação ao valor econômico agregado da atividade. Este estudo identificou evidências da escassez de estudos nacionais que avaliam os potenciais impactos ambientais específicos da produção de leitões na fase pós-desmame utilizando a abordagem do ciclo de vida. Assim como, ainda são escassas pesquisas que aliam indicadores ambientais e financeiros na suinocultura brasileira, considerando que as características ambientais são diferentes entre as regiões produtivas.

Neste sentido, a ferramenta de avaliação da Ecoeficiência produtiva é considerada uma medida melhorada de sustentabilidade, porque sobrepõe os impactos ambientais ao desempenho econômico (Müller *et al.*, 2015). A abordagem Ecoeficiência pode ocorrer por meio da mensuração dos impactos ambientais, usando a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), e dos econômicos, apurando-se o Valor Econômico Agregado (VEA) da atividade (Martinelli *et al.*, 2020).

Diante do exposto, é fundamental conceber um estudo que evidencie a Ecoeficiência de um sistema industrial de produção de suínos na fase pós-desmame, por meio da aplicação do método de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) indicado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO/ONU (FAO, 2018b) e do Valor Econômico Agregado (EVA) da atividade na estimativa da Ecoeficiência.

Pela crucialidade deste tema para a cadeia suinícola e pela lacuna de estudos científicos que avaliem a Ecoeficiência de granjas de suínos, com uso de indicadores quantitativos, entende-se que este estudo poderá beneficiar, sob o aspecto científico, a discussão acadêmica e a literatura da área; sob o aspecto prático e aplicado, gerar inventário de GEE específico da fase pós-desmame em nível local e informações para a cadeia produtiva, tanto regional como nacional.

1.1 Problema e Questões de Estudo

O estudo proposto teve como intenção responder a seguinte problemática: o quanto a produção de suínos na fase pós-desmame agrega de valor econômico ao produtor por kg de de GEE emitido para a atmosfera?

Neste contexto, considerando a base teórica deste estudo e conhecimentos empíricos, têm-se as seguintes questões:

I. O uso combinado das metodologias de ACV e de técnicas de avaliação econômica, para estudo da Ecoeficiência, permite a avaliação do desempenho ambiental e econômico do processo de produção de suínos na fase pós-desmame?

II. A utilização das avaliações, ACV e Valor Econômico Agregado (EVA), permite identificar as etapas e processos críticos que mais impactam o ambiente quanto ao potencial de aquecimento global?

III. A partir deste estudo será possível denotar modelos que evidenciem ou não a eficiência ambiental e econômica?

IV. Os resultados poderão servir como dados e informações para estudos futuros que englobam a circularidade no uso de recursos do processo de produção?

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a Ecoeficiência de um sistema confinado de produção de suínos desmamados durante o período de creche.

2.2 Objetivos Específicos

I. Estimar as emissões totais de GEE por meio da Avaliação do Ciclo de Vida de uma granja de suínos na fase pós-desmame, em sistema de produção confinado.

II. Apurar o Valor Econômico Agregado de uma granja produtora de leitões pós-desmamados.

III. Determinar a Ecoeficiência do processo produtivo de leitões pós-desmamados, por meio da mensuração do seu Valor Econômico Agregado e da Avaliação do Ciclo de Vida da produção.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão apresenta o panorama do mercado global e nacional de carne suína, passando para uma síntese sobre a cadeia de produção suinícola no Mato Grosso do Sul, onde o presente estudo foi desenvolvido. Logo após, discorre-se sobre as fases de criação dos animais. Seguindo, esta revisão apresenta os conceitos de caracterização, tratamento e utilização de resíduos suínos. Por fim, aborda-se as políticas públicas de incentivo à suinocultura de baixa emissão de carbono, ações de governo estadual e federal para fomentar a sustentabilidade da produção de carne suína do Brasil e atender às exigências do mercado internacional.

3.1 Panorama da cadeia suinícola global, nacional e regional

Segundo a FAO (2021) o consumo de carnes em geral aumentou em 44% entre os anos 2000 a 2019. Assim, o aumento da população no mundo, e sobretudo, o crescimento demográfico e econômico da China, tem alavancado o mercado de carne suína nos últimos anos. A China é o maior produtor mundial de carne suína, seguida pela União Europeia (UE), Estado Unidos (EUA), Brasil e Rússia. Somente a China produziu aproximadamente 48% da carne suína do mundo, para atender praticamente ao seu mercado interno em 2022. Apesar disso, é o maior importador desta proteína de origem animal (ABPA, 2023).

Os cinco maiores exportadores de carne suína em 2022 foram: UE, EUA, Canadá, Brasil e México. Enquanto os maiores importadores foram: China, Japão, México, Reino Unido e Coréia do Sul (ABPA, 2023). Nesta conjuntura, o Brasil

tem se destacado como um dos maiores *players* do mercado internacional de proteína animal, considerando a exportação conjunta de carnes de frango, suína e bovina (USDA, 2023).

Mesmo em tempos de pandemia de COVID 19, o Brasil continuou a bater o recorde de exportação com mais de 1 milhão de toneladas, representando um aumento de 36,56% em relação a 2019, conforme demonstrado na Figura 1 (ABPA, 2023). De acordo com o Departamento de Agricultura dos EUA (USDA, 2023), embora as perspectivas para o comércio global de carne suína em 2023 sejam de ligeira queda, há previsão de aumento das exportações do Brasil devido à competitividade de preços e ao aumento das oportunidades na China (questões sanitárias), Chile e Japão, uma vez que esses mercados têm reduzido as importações da UE.

Neste sentido, os números da suinocultura brasileira demonstram a sua competitividade. Na última década houve um salto de produtividade das matrizes e aumento na produção de carne em torno de 37% (ABPA, 2020). Em 2022, 77,52% da produção foi destinada para o abastecimento do mercado interno e 22,48% para exportação, conforme demonstrado na Figura 1 (ABPA, 2023). Considerando que apenas parte da produção brasileira é exportada e este fato já coloca o país como o 4º maior exportador mundial, pode-se inferir que há margem e capacidade, em razão da alta produtividade, para o crescimento da produção a fim de atender a demanda mundial de proteínas.

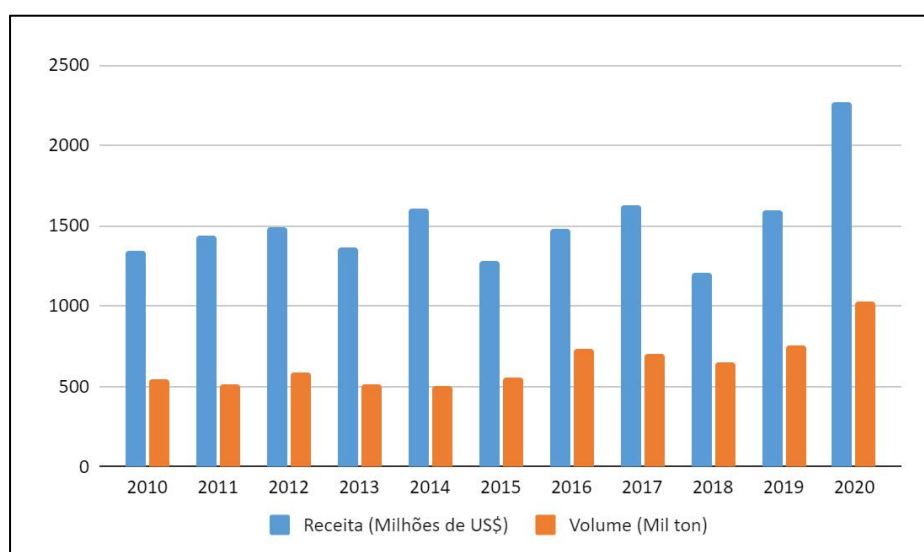


Figura 1. Receita, Produção e Exportações Brasileiras de Carne Suína (Série histórica 2010 a 2020).

Fonte: ABPA (2023).

Os principais estados brasileiros produtores de carne suína em volume são: Santa Catarina (32,3%), Paraná (19,2%), Rio Grande do Sul (20,4%), Minas Gerais (9,4%), Mato Grosso (6,0%), Mato Grosso do Sul (5,7%), São Paulo (3,3%) e Goiás (3,3%), conforme dados de produção de 2022 (ABPA, 2023).

Dentre os maiores produtores de carne suína, o estado de MS tem se destacado pelo acelerado crescimento, mais que duplicando a sua produção na última década. Tal crescimento foi favorecido por um conjunto de fatores, como: a) instalações de grandes empresas integradoras vindas da Região Sul; b) oferta de matéria-prima para produção de ração; c) alto grau de empreendedorismo rural (SEBRAE, 2016); d) políticas públicas de incentivo à produção de suínos no estado. Atualmente, a suinocultura sul-mato-grossense gera mais de 16 mil empregos diretos e indiretos e produção estimada em R\$16 bilhões/ano (Peres, 2020).

Na cadeia produtiva do MS há predominância do sistema intensivo, o qual possui características industriais (controle de genética, sanidade, nutrição, instalações e especialização), além de uma gestão que procura aliar produtividade à viabilidade econômica. A capacidade produtiva da região está também interligada à quantidade de matrizes disponíveis e ao número de desmamados/fêmea/ano (DFA). De acordo com a SEMADESC, o MS possui mais de 74 mil matrizes distribuídas em 34 propriedades, com DFA médio de 29,86, acima de estados de produção consolidada como SC, RS e PR (Peres, 2020).

3.2 Sistemas de produção intensiva de suínos

O sistema de produção intensivo pode ser classificado pelo tipo de vínculo de produção, como independente, integrado ou cooperado. Na produção integrada verticalmente, em que a cadeia de suprimentos é controlada por uma empresa principal — assim como em cooperativas — há a classificação em modelos de produção conforme as fases de desenvolvimento dos suínos (Dias *et al.*, 2011).

De acordo com o SEBRAE (2016), a produção de suínos brasileira divide-se, hierarquicamente, em Granjas Núcleos (as quais encontram-se alojados as

bases genéticas), Granjas Multiplicadoras (nas quais encontram-se os reprodutores de genética) e as Granjas Comerciais (nas quais encontram-se a produção dos animais para abate). Dentro desta hierarquia tem-se os arranjos produtivos, nos quais os sistemas dividem-se de acordo com a fase animal, conforme descrito abaixo:

- I. Central de disseminação genética: na qual encontram-se alojados os machos reprodutores, como também os produtores de genética denominados bisavôs e avôs (Gurnet, 2014), dos quais são coletadas e processadas as doses inseminantes;
- II. Central de multiplicação genética: onde estão alojadas as fêmeas que darão origem às matrizes reprodutoras, chamadas de avós e bisavós (Bennemann, 2014);
- III. Sistema de Unidade Produtora de Desmamados (UPD): onde estão alojadas as matrizes reprodutoras e o produto é o leitão desmamado de 5 a 10 kg de peso vivo (PV);
- IV. Sistema de Unidade de Creche (UC): onde os leitões desmamados de 5 a 10 kg de PV são alojados e após 35 a 50 dias e cerca de 20 a 30 kg de PV são entregues à UT;
- V. Unidade de Terminação (UT): onde os leitões de 20 a 30 kg de PV são alojados e após 100 a 120 dias até atingirem o peso de abate;
- VI. Unidade Produtora de Leitões (UPL): união de dois sistemas produtivos, a UPD e UC;
- VII. Unidade de Ciclo Completo (UCC) ou Unidade Produtora de Leitões e Terminadora (UPLT): união de três sistemas produtivos, a UPD, a UC e a UT;
- VIII. Unidade de *wean-to-finish*: onde os leitões desmamados de 5 a 10 kg de PV são alojados e só sairão quando atingirem o peso de abate.

O objeto deste estudo foi a avaliação do Sistema de Unidade de Creche, considerando que dentre essas etapas de criação, a fase de pós-desmame é uma das que mais requerem diligência dentro do ciclo, pois é a fase de vida que o leitão sofre as maiores mudanças fisiológicas e comportamentais (Valentim *et al.*, 2021). O peso de desmame e alterações estruturais no intestino após o desmame são questões a serem geridas nesta fase, com programas de dietas formuladas com nutrientes de alta digestibilidade, visando o máximo de desempenho na primeira semana pós-desmame. O consumo de água também deve ser

estimulado (Pinheiro, 2014). Assim, os leitões desmamados entram na creche por volta dos 21 a 28 dias, com peso médio entre 5-8 kg e permanecem em média por 42 dias ou até que alcancem o peso médio de 25 Kg (Dias *et al.*, 2011) (Tabela 1).

Tabela 1 - Fases de criação de um sistema intensivo de produção de suínos.

Fase	Idade (d)	Peso Médio Final (kg)	Duração Média (d)
Amamentação	0 a 28	5 a 8	21 a 28
Creche	28 a 63	25	35
Crescimento	63 a 105	55	42
Terminação	105 a 140	100	35
Pós-terminação	140 a 160	120	20
Reprodução	> 180	> 120	

Fonte: Dias *et al.* (2011).

Machado e Dallanora (2014) destacam que a evolução observada dos sistemas produtivos está relacionada principalmente às questões sanitárias e às exigências do mercado externo. Assim, o próximo item discorre sobre o principal gargalo da produção suinícola que é o gerenciamento dos resíduos.

3.3 Caracterização, tratamento e utilização de resíduos suínos

As águas residuais da produção de suínos são geradas a partir do volume de fezes e urina dos animais somados a restos de ração e da água de consumo e de limpeza dos galpões (Nagarajan *et al.*, 2019). A composição e volume dos resíduos pode variar de acordo com a idade dos suínos (fase produtiva), composição da ração, consumo de água, número de suínos na granja, métodos de alojamento dos suínos e outros fatores ambientais como temperatura e umidade (Gopalan *et al.*, 2013; Rohr, 2014). Além da efetividade de uso de água para limpeza das instalações, pois esse é o principal motivo para a diluição ou não dos resíduos.

Além do nitrogênio sob a forma de amônia, estes resíduos possuem alta concentração de fósforo e carbono orgânico, conforme representado pela demanda química de oxigênio - DQO e demanda biológica de oxigênio - DBO (Nagarajan *et al.*, 2019). Cheng *et al.* (2019) relatam que concentrações dos principais poluentes nos dejetos de suínos podem alcançar DBO de 2.000 - 30.000 mg/l; nitrogênio total (NT) de 200 - 2.055 mg/l; NH₄-N (amônio) de 110 - 1.650 mg /l de; e fósforo total (PT) de 100 - 620 mg de /l.

A composição da dieta é um dos fatores que afeta a qualidade do dejetos e a emissão da amônia (NH_3) (Cherubini *et al.*, 2015a). Cherubini *et al.* (2015b) alegam que no Brasil a composição alimentar dos suínos baseia-se em farelo de soja, como fonte principal de proteína, e milho, como fonte principal de energia, variando a proporção nas dietas de acordo com as fases. Tal afirmação comprova que as características bioquímicas dos dejetos variam de acordo com a fase e dieta na qual o animal se encontra. Estes autores ainda afirmam que, dentro de uma mesma fase produtiva, existem diferentes tipos de dietas de acordo com o avanço da idade dentro da fase, de acordo com o desenvolvimento fisiológico do animal, resultando também em modificações nas características dos resíduos.

Desta forma, o conhecimento sobre nutrição animal, atualmente, permite criar estratégias e tecnologias capazes de minimizar a excreção de nutrientes e o volume de dejetos produzidos que contribuem para o impacto ambiental da produção, além de abreviar o tempo de abate, o que reduz o número de dias que o animal é capaz de emitir gases poluentes. Estas mitigações podem ser observadas tanto no manejo adequado da ração, na formulação das dietas mais eficientes, na melhora da conversão alimentar, no sistema de alimentação por fases, no sistema de alimentação de precisão, no sistema de alimentação eletrônica e na restrição alimentar (Saviotti, 2016; Andretta *et al.*, 2018).

O maior desafio da suinocultura é mitigar o impacto dos resíduos suínos no meio ambiente (Molina-Moreno *et al.*, 2017). A suinocultura brasileira apesar desta problemática, tem inovado e buscado tecnologias revolucionárias para o tratamento de dejetos e para a redução do impacto ambiental, promovidas pelo Programa de Suinocultura de Baixa Emissão de Carbono (Saviotti, 2016).

De acordo com Rohr (2014), um programa racionalmente adequado de manejo e tratamento de resíduos suínos deve considerar cinco fases: produção, coleta, armazenagem, tratamento, distribuição e utilização dos resíduos (em forma sólida, líquida, pastosa ou gasosa, como na produção do biogás). Dentro deste contexto existem diversos tipos de processos de tratamento de dejetos, tais como: lagoas de decantação (anaeróbia, facultativa e aeróbia), esterqueiras, bioesterqueiras, biodigestores, compostagem e cama sobreposta. Os tratamentos dos resíduos têm como principal objetivo minimizar os impactos ambientais causados ao meio ambiente, no entanto, o tipo de tratamento depende do sistema de produção e do volume de dejetos produzido na granja (Saviotti,

2016). No estado do MS predomina o sistema de tratamento de biodigestor seguido de uma ou duas lagoas de decantação/estabilização dos dejetos.

A destinação dos resíduos provenientes da produção de suínos pode ter vários fins, como por exemplo: a) utilização do biogás na geração de bioenergia, em sistema de aquecimento, em forno desidratador de carcaças, etc.; b) utilização da água residual tratada como biofertilizante em fertirrigação de culturas e pastagens; ou ainda, c) obtenção do adubo orgânico proveniente da separação da matéria seca dos resíduos (Cheng *et al.*, 2020).

No entanto, a instalação de um gerador de energia movido a biogás só se torna viável em granjas de médio e grande porte, pois é necessário um volume alto de resíduos para viabilizar financeiramente a produção de energia (Saviotti, 2016). Tornou-se característico da suinocultura brasileira a alta concentração de animais em pequenas propriedades rurais (Amaral *et al.*, 2019), em sua maioria com tratamento de resíduos via lagoa de digestão anaeróbia (Higarashi *et al.*, 2013).

O tratamento das águas residuárias de suínos em sistema de lagoas de digestão anaeróbia são considerados de boa relação custo-benefício e eficiência no uso do biogás, em relação a tratamentos físicos e químicos (Cheng *et al.*, 2020). No fim deste processo de tratamento gera-se o biofertilizante, que pode ser utilizado em diversas culturas e principalmente na fertirrigação de pastagens, podendo também aumentar a densidade de bovinos por hectare. A fertirrigação pode contribuir como uma das formas de minimizar os impactos ambientais causados pela produção e manejo de resíduos gerados na granja de suínos, desde que realizado o balanço de nutrientes, por meio de análise do solo e do biofertilizante (Saviotti, 2016; Ferreira, 2014).

Estudos recentes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária têm desenvolvido uma tecnologia de alto desempenho, o Sistema de Tratamento de Efluentes da Suinocultura - Sistrates - que alia o processo físico e químico na separação dos nutrientes, resultando em águas tratadas reutilizáveis na própria suinocultura (Saviotti, 2016), no entanto, apesar de ser uma tecnologia promissora necessita de estudos de viabilidade para implantação em granjas de pequeno porte, devido à estrutura requerida para este tipo de tratamento.

3.4 Políticas públicas de incentivo à suinocultura de baixo carbono

O Brasil tem intensificado esforços no sentido de elevar a sustentabilidade de seus sistemas agropecuários. Como ação efetiva, o Ministério da Agricultura lançou o Plano Agricultura de Baixa Emissão Carbono (Plano ABC) em 2012 e o reformulou recentemente (ABC+), em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável ODS-2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e o ODS-13 (Ação contra a mudança global do clima) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) (MAPA, 2021).

Dentre os sete programas¹ que consistem no Plano ABC, os direcionados à produção animal são o Programa de Recuperação de Pastagens Degradadas e o Programa de Tratamento de Dejetos Animais. As ações previstas no Programa de Recuperação de Pastagens Degradadas beneficiam diretamente a mitigação das emissões da pecuária extensiva, enquanto o Programa de Tratamento de Dejetos Animais refere-se às ações relacionadas à pecuária intensiva, principalmente a avicultura e suinocultura industrial (MDA, 2012). Este último tem como desafios, resumidamente:

- a) reduzir o consumo de água nos sistemas produtivos e evitar contaminação dos recursos hídricos;
- b) a redução de gás metano por dejetos;
- c) promover a compostagem e a biodigestão anaeróbia com ou sem geração de energia;
- d) fomentar a produção de biogás, por meio do tratamento de efluentes industriais e dejetos animais;
- e) incentivar a geração e distribuição de energia, contribuindo com a eficiência energética nas propriedades rurais e agroindustriais;
- f) estimular a geração de fertilizante orgânico a partir dos dejetos e efluentes, o qual pode ser utilizado na recuperação das pastagens degradadas, colaborando com o Programa de Recuperação de Pastagens Degradadas (MDA, 2012).

Como um desdobramento do Plano ABC, o governo federal tem estimulado a pecuária de baixa emissão de carbono e efetivou em 2016 um plano específico

¹ Recuperação de Pastagens Degradadas; Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e Sistema Agroflorestais; Sistema Plantio Direto; Fixação Biológica de Nitrogênio; Florestas Plantadas; Tratamentos de Dejetos Animais; e, Adaptação às Mudanças Climáticas.

para a suinocultura, denominado Suinocultura de Baixa Emissão de Carbono: Tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos (MDA, 2012). Esta ação ocorre devido à sua importância no mercado nacional e internacional e, também, às suas especificidades quanto ao manejo dos resíduos gerados (Saviotti, 2016).

Alinhado com a política federal de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, o governo estadual de MS instituiu em 2014 a Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC)², a qual lançou em 2016 o Plano Estadual MS Carbono Neutro. O objetivo deste plano é atingir até 2030 o estágio de Estado com Emissão Líquida Zero (ELZ). Assim, o governo estadual tem estabelecido um conjunto de ações e medidas para unir o poder público com a sociedade civil e empresária na busca por soluções de mitigação das emissões de GEE, visando neutralizar as emissões estaduais a partir de 2030 (Armôa, 2021).

Deste modo, o Plano Estadual MS Carbono Neutro integra a adoção de medidas categóricas nos seguintes eixos temáticos: a) Agronegócio; b) Mudança no Uso da Terra e Florestas; c) Energia; d) Tratamento de resíduos; f) Processos Industriais. A suinocultura se encaixa nos eixos do Agronegócio e do Tratamento de Resíduos, no que se refere ao manejo e destino adequado de dejetos suínos. Assim como no eixo de Energia, com potencial para contribuir na produção de energia renovável (SEMADESC/MS, 2021).

A política pública de incentivo à produção de suínos no MS foi iniciada em meados da década de 90, após a instituição do Programa de Apoio à Criação de Suínos (Leitão Ouro)³ e, posteriormente reformulada pelo Programa de Avanços na Pecuária de Mato Grosso do Sul (Proape)⁴, o qual passou a promover todas as cadeias as pecuárias, com incentivo especial à suinocultura por meio do Subprograma Leitão Vida (SEMADESC/MS, 2021).

Assim, o Leitão Vida é um programa de incentivo financeiro, premiando os suinocultores sul-mato-grossenses, que cumprem requisitos visando a eficiência e eficácia da produção aliada aos princípios da sustentabilidade, com incentivo financeiro (SEMADESC/MS, 2021). O pioneirismo deste programa tem

² Lei Estadual nº 4.555, de 15/07/2014.

³ Decreto MS nº 7.559, de 14/12/1993.

⁴ Decreto MS nº 11.176, de 11/04/2003, alterado pelo Decreto nº 15.362, de 12/02/2020.

colaborado ainda mais com o desenvolvimento e estruturação desta cadeia no estado e servido de exemplo para os demais estados do Brasil e para outros países.

Em termos de políticas de crédito, o Fundo Constitucional do Centro-Oeste (FCO)⁵ tem financiado o desenvolvimento neste estado, tendo financiado várias instalações que já foram quitadas e destinando mais R\$ 52,8 milhões para instalação de unidades de produção de leitões em municípios do sul do estado no ano de 2021 (Peres, 2021).

3.5 Impactos da produção suinícola

A suinocultura é uma atividade agropecuária que tem um papel importante na economia de muitos países, incluindo o Brasil. A cadeia global de produção de suínos gera milhares de empregos, renda, desenvolvimento econômico e fornece alimentos de alta qualidade para a população. No Brasil, a suinocultura é responsável por cerca de 2 milhões de empregos, tanto diretos quanto indiretos (ABPA, 2022; 2023).

No entanto, a suinocultura também tem alguns impactos negativos sobre o meio ambiente, conforme descritos anteriormente, como a poluição do solo, do ar e da água. Além disso, é uma fonte importante de gases de efeito estufa, como metano e óxido nitroso, contribuindo para o aquecimento global (Cherubini *et al.*, 2015).

Para reduzir os impactos negativos da suinocultura sobre o meio ambiente, é importante adotar medidas de manejo sustentável, como: i) tratamento adequado dos dejetos, resultando em menor impacto ambiental; ii) uso de alimentação de precisão, visando melhor aproveitamento dos nutrientes, menor excreção e melhor desempenho do animal (MAPA, 2021) ; iii) melhoria do bem-estar animal, para além das questões éticas, estas medidas são importantes e devem ser priorizadas, para reduzir o estresse dos suínos e, consequentemente, a emissão de GEE; dentre outras (ABPA, 2023).

⁵ FCO é um fundo de crédito criado pela Constituição Federal de 1988 e regulamentado pela Lei n. 7.827, de 27/09/1989, com o objetivo de promover o desenvolvimento econômico e social da Região Centro-Oeste do país, financiando projetos dos setores produtivos e zelando pela eficácia na aplicação dos recursos (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL/MDR; 2021).

Deste modo, este conjunto de medidas contribuem com a elevação da ecoeficiência da suinocultura, pois visam reduzir o consumo de recursos naturais e de poluentes, sem comprometer a produtividade, melhorando os níveis de sustentabilidade. Além de proteger o meio ambiente, a adoção destas medidas pode reduzir os custos de produção e melhorar a competitividade do setor suinícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual 2020**. Disponível em: <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>. Acesso em mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual 2022**. Disponível em: <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>. Acesso em jul. 2023.

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

AMARAL, A. C. *et al.* Produção de biogás e energia elétrica com biodigestor de lagoa coberta e CSTR a partir de dejetos suínos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS, 2019, Florianópolis, SC. Anais... Concórdia: Sbera/Embrapa, 2019. p. 401-403.

ANDRETTA, I. *et al.* Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. **Animal**, v. 12, n. 9, p. 1990-1998, set. 2018.

ARMÔA, M. MS oficializa compromisso de se tornar estado carbono neutro em 2030 e vai para a COP26 com metas ousadas. SEMADESC, nov. 2021. Disponível em: <https://www.semagro.ms.gov.br/ms-oficializa-compromisso-de-se-tornar-estado-carbono-neutro-em-2030-e-vai-para-cop-26-com-metas-ousadas/>. Acesso em nov. 2022.

ARMÔA, M. Suinocultura de MS cresce acima da média nacional e amplia produção com biossegurança e sustentabilidade. SEMADESC, 14 jul. 2020. Disponível em <https://www.semadesc.ms.gov.br/suinocultura-de-ms-cresce-acima-da-media-nacional-e-amplia-producao-com-biosseguranca-e-sustentabilidade/>. Acesso em out. 2022.

BENNEMANN, P. E. Gestão operacional nas centrais de inseminação artificial. In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*. p. 362-364.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial para adaptação à mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária com vistas ao Desenvolvimento Sustentável**. 1ª Ed. Visão

estratégica para um novo ciclo / Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Brasília-DF: MAPA, 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**, Brasília-DF: MCTI, 2021.

CHENG, Hai-Hsuan *et al.* Recent advancement on biological technologies and strategies for resource recovery from swine wastewater. **Bioresource technology**, v. 303, p. 122861, 2020.

CHERUBINI, E. *et al.* Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 68-77, 2015a.

CHERUBINI, E. *et al.* The finishing stage in swine production: influences of feed composition on carbon footprint. **Environment, Development and Sustainability**, v. 17, p. 1313-1328, 2015b.

COP26 - Climate Change Conference of the Parties. COP26, 2021. Disponível em: <https://ukcop26.org/>. Acesso em nov. 2022.

DIAS, A. C. *et al.* Manual Brasileiro de Boas Práticas Agropecuárias na Produção de Suínos. Associação Brasileira de Criadores de Suínos. 1ª Ed. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. Disponível em: <https://abcs.org.br/wp-content/uploads/2021/02/MANUAL-BRASILEIRO-DE-BOAS-PR%C3%81TICAS-AGROPECU%C3%81RIAS-NA-PRODU%C3%87%C3%83O-DE-SU%C3%8DNOS.pdf>. Acesso em dez. 2022.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050**. Summary version. Roma, 2018a. 64 p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Environmental performance of pig supply chains: Guidelines for assessment**. 1ª Versão. Roma, 2018b. 172 p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Meat market review: overview of global meat market developments in 2020**. Roma, 2021. 35 p.

FERREIRA, A. H. Integração de Sistemas de Produção: uso de dejetos de suínos na produção de forragens para bovinos. In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*. p. 836-844.

GOPALAN, P. *et al.* Anaerobic digestion of swine effluent: impact of production stages. **Biomass and Bioenergy**, v. 48, p. 121-129, 2013.

GURNET, R. R. Granjas de reprodutores suídeos certificadas (GRSC): legislação e aplicação. In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*. p. 610-614.

HIGARASHI, M. M. *et al.* Greenhouse gases emissions from deep pit stored swine manure in Southern Brazil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2013, São Pedro. Anais... São Pedro: SBERA/Embrapa, 2013.

MACHADO, G.; DALLANORA, D. Evolução Histórica de Sistemas de Produção de Suínos. In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*. p. 95-105.

MARTINELLI, G. *et al.* Assessing the eco-efficiency of different poultry production systems: An approach using life cycle assessment and economic value added. **Sustainable Production and Consumption**, v. 24, p. 181-193, 2020.

MOLINA-MORENO, V. *et al.* Design of indicators of circular economy as instruments for the evaluation of sustainability and efficiency in wastewater from pig farming industry. **Water**, v. 9, n. 9, p. 653, 2017.

MÜLLER, K. *et al.* Eco-efficiency as a sustainability measure for kiwifruit production in New Zealand. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 333-342, 2015.

NAGARAJAN, D. *et al.* Current advances in biological swine wastewater treatment using microalgae-based processes. **Bioresource technology**, v. 289, p. 121718, 2019.

O Presente Rural. Integradoras começaram nos anos 1990 e dominam até hoje o modelo de produção em Mato Grosso do Sul. mai. 2023. p. 26-27. Disponível em: <https://www.flip3d.com.br/pub/opresenterural/?numero=229&edicao=5486>. Acesso em ago. 2023.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Transformando nosso mundo: A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável das Nações Unidas**. Nova Iorque, ONU, 2015.

PERES, P. Com produção estimada em R\$ 16 bilhões, suinocultura é setor em evolução constante no estado. SEMADESC, out. 2020. Disponível em: <https://www.semagro.ms.gov.br/com-producao-estimada-em-r-16-bilhoes-suinocultura-e-setor-em-evolucao-constante-no-estado/>. Acesso em out. 2022.

PERES, P. Produção sustentável incentivada pelo governo faz suinocultura viver melhor momento em MS. SEMADESC, fev. 2021. Disponível em: <https://www.semagro.ms.gov.br/producao-sustentavel-incentivada-pelo-governo-faz-suinocultura-viver-melhor-momento-em-ms/>. Acesso em out. 2022.

PINHEIRO, R. Primeira semana pós-desmame: desafios e relevância. In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*. p. 628-632.

ROHR., S. A. Biodigestores, créditos de carbono e mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*. p. 821-826.

SAVIOTTI, B. *et al.* **Suinocultura de Baixa Emissão de Carbono: Tecnologias de Produção mais limpa e Aproveitamento econômico dos Resíduos da Produção de Suínos**. 1ª Ed. MAPA, 2016. *E-book*. 96 p.

SEBRAE - Serviço de Apoio às Micro e pequenas empresas. **Mapeamento da Suinocultura Brasileira**. 1ª Ed. Associação Brasileira de Criadores de Suínos, 2016. *E-book*. 378 p.

SEMADESC/MS. Resolução nº 23, 06 de Junho 06 de 2023. Departamento de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação do Mato Grosso do Sul – Brasil.

USDA – United State Department of Agriculture. **Livestock and Poultry: World Markets and trade**. 2023. Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/livestock-and-poultry-world-markets-and-trade>. Acesso jul. 2023.

VALENTIM, J. K. *et al.* Meta-analysis of relationship between weaning age and daily weight gain of piglets in the farrowing and nursery phases. **South African Journal of Animal Science**, v. 51, n. 3, p. 332-338, 2021.

ZHANG, W. *et al.* Anaerobic digestion characteristics of pig manures depending on various growth stages and initial substrate concentrations in a scaled pig farm in Southern China. **Bioresource technology**, v. 156, p. 63-69, 2014.

CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1. QUANTO O PROCESSO PRODUTIVO DE SUÍNOS NA FASE PÓS-DESMAME CONTRIBUI PARA O POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL?

RESUMO

As preocupações globais sobre sustentabilidade ambiental, escassez de recursos e mudanças climáticas aumentaram a necessidade de uma compreensão abrangente dos impactos ambientais da suinocultura. No entanto, inventários de emissões de gases específicos desta cadeia ainda são escassos no Brasil, sobretudo quanto ao detalhamento das suas fases de produção, o que torna indispensável quantificar e analisar os impactos causados pela emissão de gases na produção suína, principalmente os gases com potencial de efeito estufa (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso). Neste sentido, este estudo buscou avaliar o potencial de aquecimento global do processo de produção de leitões pós-desmamados em uma granja integrada à cadeia suinícola do Centro-Oeste do Brasil, considerando o processamento da ração, a criação animal e o sistema de tratamento de dejetos. Realizou-se uma Avaliação de Ciclo de Vida e aplicou-se modelos matemáticos desenvolvidos para mensurar as emissões dos dejetos. A primeira semana de alojamento, em que os leitões receberam a ração pré-inicial I, foi o que mais impactou nas emissões, devido ao baixo desempenho animal nesta etapa. Já a ração inicial I foi a mais eficiente no ganho de peso e no baixo uso dos recursos e, consequentemente, menores emissões de gases de efeito estufa. O dejetos *in natura*, que permanece no fosso das instalações por um período de 5 a 15 dias (a depender do volume acumulado), apresentou-se como a maior fonte de emissão. O potencial de aquecimento global foi estimado em 10,43593 kg de CO₂ eq. por kg de ganho de peso de leitão na fase pós-desmame. Constatou-se que o biogás gerado pelo biodigestor tem alto potencial de ser utilizado de forma ambientalmente favorável, quando destinado à produção de energia, e que a emissão de gases de efeito estufa poderiam ser mitigadas por meio da substituição do consumo de lenha por energia térmica.

Palavras-chave: bioeconomia, suinocultura, agronegócio, produção animal, digestão anaeróbia, fertirrigação.

HOW MUCH DOES PIG PRODUCTION IN THE POST-WEANING PHASE CONTRIBUTE TO GLOBAL WARMING POTENTIAL?

ABSTRACT – Global concerns about environmental sustainability, resource scarcity and climate change have increased the need for a comprehensive understanding of the environmental impacts of pig farming. However, inventories of gas emissions specific to this chain are still scarce in Brazil, especially in terms of detailing its production phases, which makes it essential to quantify and analyze the impacts caused by gas emissions in pig production,

especialmente gases com potencial de efeito estufa (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso). Com isso em mente, este estudo buscou avaliar o potencial de aquecimento global do processo de produção de leitões desmamados em uma fazenda integrada à cadeia suína no Centro-Oeste do Brasil, considerando o processamento de alimentos, a criação animal e o sistema de tratamento de resíduos. Foi realizada uma Avaliação do Ciclo de Vida e modelos matemáticos desenvolvidos para medir as emissões de manureiras foram aplicados. A primeira semana de alojamento, na qual os leitões receberam o alimento de partida, teve o maior impacto nas emissões, devido ao baixo desempenho animal nesta etapa. O alimento de partida, por outro lado, foi o mais eficiente em termos de ganho de peso e uso de recursos e, consequentemente, gerou menores emissões de gases de efeito estufa. Na manureira natural, que permanece nas instalações por um período de 5 a 15 dias (dependendo do volume acumulado), foi a maior fonte de emissões. O potencial de aquecimento global foi estimado em 10.43593 kg de CO₂ eq. por kg de ganho de peso dos leitões na fase de desmama. Foi encontrado que o biogás gerado pelo biodigestor tem um alto potencial de ser usado de maneira ambientalmente favorável quando usado para produzir energia, e que as emissões de gases de efeito estufa poderiam ser mitigadas substituindo o uso de lenha por energia térmica.

Keywords: Bioeconômico, criação suína, agribusiness, produção animal, digestão anaeróbica, fertirrigação.

1. Introdução

Nas últimas décadas, as preocupações globais sobre sustentabilidade ambiental, escassez de recursos e mudanças climáticas aumentaram a necessidade de uma compreensão abrangente dos impactos ambientais de vários segmentos do agronegócio (FAO, 2018a). Entre os setores agropecuários, a produção de suínos desempenha um papel significativo no atendimento à crescente demanda por proteína animal, tornando-se imprescindível a avaliação de sua pegada ambiental (FAO, 2018b).

A crescente demanda mundial por proteína animal tem impulsionado o mercado suinícola, que é o segundo maior exportador de carne do mundo, no qual o Brasil participa como 4º produtor e exportador mundial (FAO, 2021; USDA, 2023). Além disso, a carne suína é a proteína animal mais consumida atualmente (USDA, 2023). Diante disso, a suinocultura brasileira enfrenta o desafio de conciliar a produtividade, para atender ao mercado externo, com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do agronegócio nacional e global.

De acordo com as estimativas nacionais de emissões de gases de efeito estufa (GEE), na última década, cerca de 38% das emissões referentes ao

manejo de dejetos animais foram decorrentes da produção de suínos no Brasil (BRASIL, 2021). Cerca de 80% das unidades suinícolas brasileiras utilizam lagoas de digestão anaeróbia no gerenciamento dos resíduos e em menor proporção (20%) há a presença de biodigestor com flare (Higarashi *et al.*, 2013; Cherubini *et al.*, 2015).

Assim, o aumento previsto da produção de suínos deverá contribuir significativamente com as emissões de GEE da agropecuária no Brasil, sobretudo na região Centro-Oeste, a qual têm aumentado substancialmente o abate de suínos na última década. Dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2023) apontam que esta região produz 15% da carne suína do país. Neste cenário, inclui-se o estado de Mato Grosso do Sul (MS), o qual apresentou crescimento acelerado da suinocultura nos últimos 5 anos, com previsões de continuar alavancado nos próximos 10 anos (Peres, 2020; Armôa, 2020).

O estado de MS tem se posicionado entre os estados que mais produzem carne suína. Além disso, apresenta-se como referência em relação à infraestrutura moderna de produção, políticas públicas de incentivo à suinocultura e o atendimento de critérios de produção sustentável. Dentre as políticas públicas que incentivam os suinocultores sul-mato-grossenses tem-se o Programa Leitão Vida e, mais recentemente, a Resolução da Secretaria do Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação (SEMADESC/MS) nº 23, de 06 de junho de 2023, que regula a necessidade de inventariar as emissões de GEE de empreendimentos que demandam de licenciamento ambiental (SEMADESC, 2023).

Dentro do inventário de emissões de GEE, as análises necessárias envolvem diversos fatores de impacto, os quais participam de todo o sistema produtivo, desde a extração e produção dos componentes da dieta dos animais até a destinação dos produtos do sistema (proteína animal na mesa do consumidor, resíduos da produção, resíduos de lixo domésticos, etc.) (FAO 2018b). No entanto, inventários de emissões de GEE específicos da cadeia suinícola brasileira ainda são escassos, sobretudo quanto ao detalhamento das suas fases de produção (reprodução/maternidade; pós-desmame ou creche; e, crescimento/terminação), o que torna indispensável quantificar e analisar os impactos causados pela emissão de gases na produção suínos, principalmente

os gases com potencial de efeito estufa (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso).

Higarashi *et al.* (2013) apontaram para a necessidade de estudos de estimativas para a produção pecuária regional, pois os modelos matemáticos e fatores de emissão desenvolvidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006a) foram obtidos sob o clima temperado. Basset-Mens e Van der Werf (2005) destacaram a importância de avaliações ambientais que consideram os diferentes tipos de sistema de produção de suínos, contemplando com precisão seus dados de entrada e saída.

Em condições mais específicas de produção sustentável, alguns sistemas produtivos procuram certificar a sustentabilidade de suas atividades e, para tanto, devem seguir critérios de análises internacionais, como o Manual das Nações Unidas para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (UNFCCC, 2022). Assim, desenvolver estudos que mensurem as emissões de GEE da produção animal e da gestão de seus resíduos tornam-se iminentes e relevantes aos propósitos da Agenda 2030 (ONU, 2015).

Neste sentido, alguns trabalhos foram realizados na tentativa de colaborar com os dados sobre emissão de GEE oriundos da suinocultura brasileira (Cherubini *et al.*, 2015; Andretta *et al.*, 2018; Pietramale, 2020). Apesar disso, há uma escassez de estudos que avaliem o potencial de emissões de GEE por fase e tipo de sistema de produção de suínos abordando as peculiaridades do ciclo de vida *in loco*. Verificou-se também uma ausência de estudos específicos da produção brasileira de leitões na fase pós-desmame utilizando tal abordagem.

A fase pós-desmame é um período crítico na produção de suínos que faz a ponte entre o desmame do leitão e seus estágios finais antes do peso de mercado. Durante esta fase, os suínos experimentam um crescimento rápido e mudanças fisiológicas, tornando-se essencial garantir o seu bem-estar e crescimento ideal (Pluske *et al.*, 2019). No entanto, esta fase também envolve várias práticas de manejo e formulações de rações, as quais podem influenciar o desempenho ambiental dos sistemas de produção de suínos (Ruiz *et al.*, 2017). A avaliação dos impactos ambientais durante a fase pós-desmame poderá fornecer informações sobre as compensações entre produtividade, bem-estar animal e sustentabilidade ambiental.

Assim, este trabalho buscou avaliar o potencial de aquecimento global do processo de produção de leitões pós-desmamados em uma granja integrada à cadeia suinícola do Centro-Oeste do Brasil. Desta forma, utiliza-se o método de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) indicado pelas Diretrizes de Avaliação de Cadeias Suínas da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO/ONU (FAO, 2018b), pelo qual geram-se estimativas e análises das categorias de impacto ambiental.

2. Material e métodos

2.1 Caracterização do local de estudo

A granja fornecedora dos dados e do material para análises laboratoriais é integrada da cadeia produtiva de um grande frigorífico e está localizada no cone-sul do estado de Mato Grosso do Sul (MS), uma região rica em produção suinícola onde predominam sistemas integrados de produção de carne suína.

A propriedade divide-se em duas granjas, as quais são formadas por quatro estruturas de alojamento cada, distantes cerca de 32 km da fábrica de rações que atende os animais alojados. As instalações são de alvenaria com cortinas laterais, fundações de concreto, com automação do sistema de distribuição de água e ração, sistema de climatização por pressão negativa e sistema de iluminação em Diodo Emissor de Luz (LED). As dimensões de cada construção seguem 12,4 x 85m, com capacidade para 2.700 animais cada (Figura 1). O piso das baias é do tipo suspenso, de plástico e com superfície vazada, evitando que os animais fiquem em contato com os dejetos. Os fossos de armazenamento interno dos dejetos (fezes, urina, água e resíduos de ração) encontram-se sob o piso e tem profundidade de 40cm, com declive 0,5% para drenagem para as laterais dos galpões. A linha de alimentação fica a 1,7 m do centro do galpão, no sentido centro lateral. Os animais alojados chegam à unidade com pesos vivos (PV) entre 5 e 7 kg e, ao final do alojamento de 45 a 50 dias em média, eles atingem PV entre 25 e 30 kg.



Figura 1 – Vista aérea da granja de creche avaliada.

O tratamento dos resíduos ocorre em lagoas de estabilização impermeabilizadas com geomembrana. O processo é dividido em 3 lagoas, sendo a primeira coberta com biodigestor, seguidas de outras duas descobertas, todas com dimensões de 15 x 36 x 3,5 m de profundidade. O biogás capturado pelo biodigestor é queimado por flare, transformando o CH_4 em CO_2 , o qual é 21 vezes menor em potencial de GEE que o CH_4 (Rohr, 2014).

2.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A avaliação do ciclo de vida foi aplicada de acordo com os princípios e normas da ISO 14040 e ISO 14044 (ABNT, 2014ab; FAO, 2018b). Entre as 4 etapas de uma ACV, as duas primeiras consistem em uma descrição precisa do sistema de produto a ser investigado, seguidas da etapa de avaliação do inventário de dados de entrada/saída e, por fim, a Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) de acordo com as categorias de impacto selecionadas.

2.2.1 Objetivo e escopo

Este estudo de ACV buscou estimar as emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), decorrentes da produção de suínos

em fase pós-desmame, considerando-se a dieta dos animais e o tratamento de efluentes em uma granja com sistema confinado, climatizado e automatizado.

A unidade funcional (UF) foi 1kg de peso vivo (PV) de leitão pronto para ser enviado à fase de crescimento-terminação. Assim, a abordagem de ACV foi *cradle-to-farm gate* e todas as análises são relativas à UF para todas as entradas e saídas no inventário do ciclo de vida. O limite temporal do estudo foi de um ano de produção.

2.2.2 Sistema de produto e limites do sistema

O sistema de produto avaliado é um dos elos de um sistema de produção integrada verticalmente, pela qual uma empresa principal detém o controle sobre várias operações e processos à montante e à jusante. Assim, a empresa integradora possui o controle sobre genética, sanidade e nutrição dos animais, e contrata parceiros para a produção de suínos, os quais são especializados em cada fase do processo produtivo do animal: reprodução e maternidade; creche (pós-desmame); e, crescimento e engorda. O sistema de produto avaliado compreende apenas a produção confinada de leitões na fase de pós-desmame, em ambiência controlada, 5 a 30 kg de peso vivo, e 45 dias na fase.

Foram avaliados 7 ciclos produtivos (45 dias produção mais 15 dias de vazio sanitário), referentes ao ano de 2021. Além de indicadores relacionados à produção animal (Quadro 1) necessitou-se também de dados da produção dos 4 tipos de rações, que compõem o programa de alimentação dos leitões na fase de creche (Tabela 1).

Quadro 1 – Definições dos indicadores zootécnicos referentes à produção de leitões na fase pós-desmame

Indicadores	Sigla	Caracterização
Peso Vivo de entrada (kg)	Pve	Representa o peso médio dos leitões ao desmame
Peso Vivo de saída (kg)	PVs	Representa o peso médio dos leitões na saída da fase
Ganho de Peso (kg)	GP	Ganho de peso médio dos leitões
Dias na ração		Quantidade de dias que o plantel recebeu cada tipo de ração

Consumo médio de ração (kg)	CR	Quantidade de ração média consumida por leitão
Tempo médio de permanência na fase (dias)	TMP	Média de dias que o plantel permaneceu no pós-desmame
Taxa de mortalidade de leitões na fase pós-desmame (%)	MT	Taxa em percentual que quantifica o total de animais mortos devido a doenças e/ou endemias na fase

Fonte: elaboração própria.

Os limites do sistema avaliado compreenderam todas as entradas e saídas associadas à/ao: (i) produção de ração, incluindo uso de combustível para transporte, culturas, produção de adubos, sementes, defensivos agrícolas, emissão de óxido nitroso provenientes de fertilizantes agrícolas, e processamento para fabricação de ração dos leitões; (ii) criação de leitões, incluindo alimentação, uso de energia e o transporte associado ao sistema produtivo; (iii) sistema de tratamento dos dejetos, incluindo potencial de emissões relacionadas ao carbono e nitrogênio, potencial de produção de biogás e energia elétrica, conforme demonstrado na Figura 2.

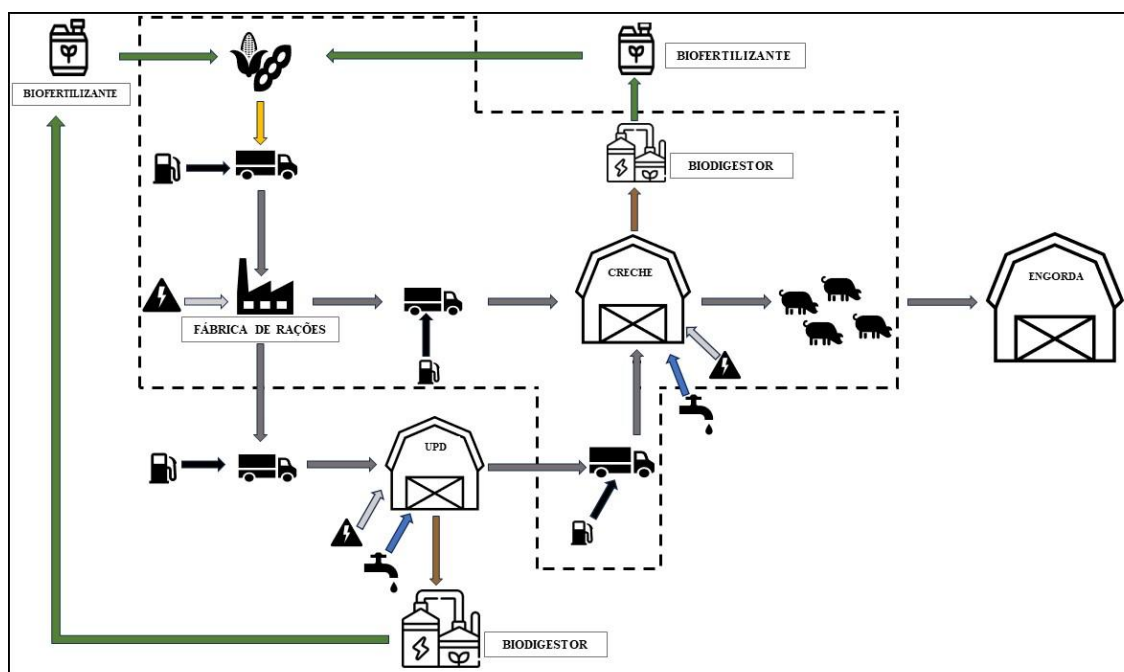


Figura 2 – Limites do estudo para a produção de leitões em fase pós-desmame. Fonte: elaboração própria.

2.2.3 Alocação

De acordo com Ramírez (2009), a alocação constitui a distribuição adequada dos fluxos de entrada e saída que geram fatores de impacto entre o produto principal e os subprodutos do sistema de produto avaliado. Desta forma, existem diferentes métodos de alocação, como por exemplo de acordo com a propriedade física ou química (massa, volume, energia); de acordo com o valor econômico; entre outros.

O procedimento de alocação aplicado neste trabalho foi a alocação em massa, de acordo com a UF determinada e distribuída conforme demonstrado na Figura 3.

PONTO DE ALOCAÇÃO	PRODUTO	TIPO DE ALOCAÇÃO	CRITÉRIOS DE ALOCAÇÃO
PROCESSAMENTO DE RAÇÕES	RAÇÃO PRÉ-INICIAL I RAÇÃO PRÉ-INICIAL II RAÇÃO INICIAL I RAÇÃO INICIAL II	MASSA	QUANTIFICOU-SE E ALOCOU-SE O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NOS 4 TIPOS DE RAÇÕES. OS INSUMOS FORAM DISTRIBUÍDOS PROPORCIONALMENTE PARA 1 KG DE RAÇÃO E MULTIPLICADO PELA INGESTÃO NECESSÁRIA PRODUIR 1 KG DE GANHO DE PESO. NÃO HÁ INCLUSÃO DE ÁGUA DEVIDO AS RAÇÕES SEREM PROCESSADAS FARELADAS.
FASE DE CRIAÇÃO ANIMAL	1 KG DE GANHO DE PESO NA 1ª RAÇÃO 1 KG DE GANHO DE PESO NA 2ª RAÇÃO 1 KG DE GANHO DE PESO NA 3ª RAÇÃO 1 KG DE GANHO DE PESO NA 4ª RAÇÃO	MASSA	TODAS AS ENTRADAS FORAM ALOCADAS PARA A PRODUÇÃO DE 1 KG DE GANHO DE PESO DOS LEITÕES EM CADA RAÇÃO NA FASE DE CRECHE
FASE DE TRATAMENTO DOS DEJETOS ANIMAIS	DEJETO <i>IN NATURA</i> BIODIGESTÃO DO DIGESTATO QUEIMA DO GÁS ARMAZENAMENTO DO RESÍDUO TRATADO	MASSA	AS EXCRETAS E AS EMISSÕES DAS ETAPAS DE TRATAMENTO DOS DEJETOS ANIMAIS FORAM ALOCADOS PARA 1 KG DE GANHO DE PESO EM CADA RAÇÃO DA FASE DE CRECHE.

Figura 3 – Método de alocação aplicado no Inventário de Ciclo de Vida da produção de leitões em fase de pós desmame.

Fonte: elaboração do própria.

2.2.4 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

O Inventário de Ciclo de Vida e posterior avaliação (AICV) foram divididos em três fases: i) Elaboração e Produção de ração (alimentação dos leitões); ii) Produção de leitões (criação dos leitões na creche); e iii) Sistema de tratamento de dejetos (estimativa de emissões de GEE e potencial de produção

biogás e energia elétrica). Os dados levantados nestas etapas compuseram a estrutura do ICV realizado, conforme demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Estrutura do Inventário de Ciclo de Vida para 1kg de Ganho de Peso de leitão na fase pós-desmame

Produção de leitões pós-desmamados			
Entradas	Parâmetro	Un.	Fonte
Ração 1			
Leitão desmamado	PVe	kg	Dados primários
Combustível fóssil transporte leitão	l/cabeça	kg	Dados primários
Insumos alimentação	CR	kg	SINDIRAÇÕES (2023) Rigolot <i>et al.</i> (2010)
Energia processamento da ração	kWh/kg ração	kWh	Dados primários
Combustível fóssil transporte ração	l/kg ração	kg	Dados primários
Elettricidade granja	kWh/kg GP	kWh	Dados primários
Aquecimento a lenha	m ³ /kg GP	MJ	Dados primários
Ração 2			
kg GP / leitão na R1	GP	kg	Dados primários
Insumos alimentação	CR	kg	SINDIRAÇÕES (2023) Rigolot <i>et al.</i> (2010)
Combustível fóssil transporte ração	l/kg ração	kg	Dados primários
Energia processamento da ração	kWh/kg ração	kWh	Dados primários
Elettricidade granja	kWh/kg GP	kWh	Dados primários
Aquecimento a lenha	m ³ /kg GP	MJ	Dados primários
Ração 3			
kg GP / leitão na R2	GP	kg	Dados primários
Insumos alimentação	CR	kg	SINDIRAÇÕES (2023) Rigolot <i>et al.</i> (2010)
Combustível fóssil transporte ração	l/kg ração	kg	Dados primários
Energia processamento da ração	kWh/kg ração	kWh	Dados primários
Elettricidade granja	kWh/kg GP	kWh	Dados primários
Ração 4			
kg GP / leitão na R3	GP	kg	Dados primários
Insumos alimentação	CR	kg	SINDIRAÇÕES (2023) Rigolot <i>et al.</i> (2010)
Combustível fóssil transporte ração	l/kg ração	kg	Dados primários
Energia processamento da ração	kWh/kg ração	kWh	Dados primários
Elettricidade granja	kWh/kg GP	kWh	Dados primários
Saídas	Parâmetro	Un.	Fonte
Ração 1			
<i>Produto principal</i>			
Ganho de Peso na R1	GP	kg	Dados primários
<i>Co-produtos</i>			
Biogás	m ³ .kg GP	m ³	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
Potencial de produção de energia	kWh/kg GP	kWh	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
<i>Emissões para o ar</i>			

CO2 eq. Transporte leitões	kg/kg GP	kg	CETESB (2021)
CH4 Fermentação entérica	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO2 Respiração	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO2 eq. Produção ração	kg/kg GP	kg	Ecoinvent 3.8
CO2 eq. Transporte ração	kg/kg GP	kg	CETESB (2021)
CO2 eq. Aquecimento a lenha	kg/kg GP	kg	Ecoinvent 3.8
CO2 eq. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
CO2 eq. Tratamento de dejetos	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
N2O ind. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
N2O indireto Tratamento resíduos	Kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
Ração 2			
<i>Produto principal</i>			
Ganho de Peso na R2	GP	kg	Dados primários
<i>Co-produtos</i>			
Biogás	m ³ .kg GP	m ³	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
Potencial de produção de energia	kWh/kg GP	kWh	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
<i>Emissões para o ar</i>			
CH4 Fermentação entérica	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO2 Respiração	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO2 eq. Produção ração	kg/kg GP	kg	Ecoinvent 3.8
CO2 eq. Transporte ração	kg/kg GP	kg	CETESB (2021)
CO2 eq. Aquecimento a lenha	kg/kg GP	kg	Ecoinvent 3.8
CO2 eq. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
CO2 eq. Tratamento de dejetos	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
N2O ind. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
N2O indireto Tratamento resíduos	Kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
Ração 3			
<i>Produto principal</i>			
Ganho de Peso na R3	GP	kg	Dados primários
<i>Co-produtos</i>			
Biogás	m ³ .kg GP	m ³	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
Potencial de produção de energia	kWh/kg GP	kWh	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
<i>Emissões para o ar</i>			
CH4 Fermentação entérica	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO2 Respiração	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO2 eq. Produção ração	kg/kg GP	kg	Ecoinvent 3.8
CO2 eq. Transporte ração	kg/kg GP	kg	CETESB (2021)
CO2 eq. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
CO2 eq. Tratamento de dejetos	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
N2O ind. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
N2O indireto Tratamento resíduos	kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
Ração 4			
<i>Produto principal</i>			
Ganho de Peso na R4	GP	kg	Dados primários
<i>Co-produtos</i>			

Biogás	m ³ .kg GP	m ³	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
Potencial de produção de energia	kWh/kg GP	kWh	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
<i>Emissões para o ar</i>			
CH ₄ Fermentação entérica	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO ₂ Respiração	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO ₂ eq. Produção ração	kg/kg GP	kg	Ecoinvent 3.8
CO ₂ eq. Transporte ração	kg/kg GP	kg	CETESB (2020)
CO ₂ eq. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
CO ₂ eq. Tratamento de dejetos	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
N ₂ O ind. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
N ₂ O indireto Tratamento resíduos	Kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)

Fonte: elaboração própria.

i) Elaboração e processamento de ração

Na etapa de elaboração da ração, os cálculos sobre os processos de produção foram realizados de acordo com a planta fabril de uma fábrica de rações de suínos, de uma integradora de Mato Grosso do Sul, que atende às exigências normativas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Com a leitura da planta baixa desta fábrica de rações, a qual tem detalhado os equipamentos e suas potências e, com as declarações do analista de qualidade da unidade, foi possível identificar quanto de energia em kWh é necessária para produzir 1 Kg de cada ração.

Quanto a dieta, a unidade produtora utiliza 4 tipos de rações (ração Pré-Inicial 1 / RPI1; Pré-Inicial 2 / RPI2; Inicial 1 / RI1; e, Inicial 2 / RI2) dentro da fase e de acordo com o desenvolvimento dos animais, as quais foram nomeadas neste estudo como Ração 1, 2, 3 e 4, respectivamente (Tabela 1). As dietas foram formuladas e fornecidas por uma empresa brasileira do setor de nutrição de suínos localizada no Estado do Paraná. Foram desenvolvidas baseando-se nos teores médios nacionais de Proteína Bruta (PB) do Milho e Farelo de Soja do Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (SINDIRAÇÕES, 2023) e o percentual de PB da Farinha de Carne e do Farelo de Bolacha, das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno *et al.*, 2017).

Tabela 1 - Inventário de composição de 1 kg de ração para leitões em fase de pós-desmame.

	Unidade	Ração 1	Ração 2	Ração 3	Ração 4
Entradas					
Milho (7,5% PB) ¹	kg	0,196	0,300	0,577	0,655
Farinha de soja (46% PB) ¹	kg	0,199	0,212	0,264	0,285
Farinha de Carne (45 - 50% PB) ²	kg	0,000	0,000	0,035	0,035
Óleo de soja	kg	0,000	0,016	0,036	0,016
*Farelo de bolacha ² + núcleo	kg	0,551	0,420	0,025	0,009
Fósforo	kg	0,008	0,009	0,011	0,000
Lisina	kg	0,022	0,022	0,026	0,000
Metionina	kg	0,007	0,007	0,007	0,000
Treonina	kg	0,013	0,014	0,016	0,000
Triptofano	kg	0,004	0,000	0,004	0,000
Ração formulada	kg	1,000	1,000	1,000	1,000

Fonte: elaboração própria, com dados da pesquisa.

¹ Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (SINDIRAÇÕES, 2023);

² Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno *et al.*, 2017);

*Foi utilizado para fins de cálculo a PB apenas do Farelo de Bolacha por não haver disponibilidade das informações sobre a composição do núcleo utilizado.

As emissões relacionadas ao carbono (C) e nitrogênio (N), oriundos da produção de leitões, foram estimadas considerando que as mesmas são dependentes da quantidade de alimentos que o animal ingere, processa e excreta. Assim, os modelos que estimam estes processos fisiológicos foram aplicados a partir da formulação da dieta. Os teores de PB foram calculados a partir das informações disponibilizadas pelo Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (SINDIRAÇÕES, 2023) e pelos resultados experimentais disponíveis nas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno *et al.*, 2017) (Tabela 2).

Tabela 2 - Indicadores bromatológicos dos tipos de rações da fase pós-desmame.

Níveis de garantia (%)	R1	R2	R3	R4
Matéria seca	90,75	88,7	80,3	86,75
Fibra em detergente neutro	7,81	9,08	11,66	12,95
Fibra em detergente ácido	3,46	3,85	4,35	4,72
Extrato etéreo	6,71	7,95	7,5	5,11

Fonte: elaboração própria.

Os dados relacionados ao cultivo dos grãos, período que antecede o processamento da ração, foram os disponíveis na base de dados *Ecoinvent*[®] versão 3.8, a qual alimentou o *software* utilizado, o SimaPro[®] versão PhD 9.2.0.2. O método aplicado dentro do *software* para analisar os processos de produção de ração foi a ReCiPe, conforme indicado por Laso *et al.* (2018).

Já para as emissões referentes ao transporte destas rações, foi necessário identificar a distância média entre a unidade fabril que produziu as rações destinadas aos 7 lotes aqui avaliados e a propriedade na qual estes animais foram alojados. Para tanto, utilizou-se da ferramenta de mapas do *Google*, localizando o ponto geográfico da granja de creche e da fábrica de rações e, o trajeto percorrido pelos caminhões de transporte de rações.

Também foi necessário identificar os modelos de caminhões de transporte, e suas potências de motores, bem como a capacidade de carga de cada um, para possibilitar o cálculo do consumo de combustível fóssil necessário para transportar 1 kg de cada ração da fase. A estimativa de emissões decorrentes do transporte de ração e animais considerou o fator de emissão de CO₂ do diesel de acordo com os fatores calculados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2021), a qual calculou fatores de emissões para os veículos brasileiros seguindo a metodologia Potencial Aquecimento Global (GWP) orientada pelo IPCC (2006). Assim, para caminhões pesados movidos a diesel, com autonomia média de 3,3 km/l, o FE de CO₂ para o diesel foi de 2,603 kg/l, para veículos com fabricação entre 2005-2018.

Deste modo, o cálculo das emissões referente à alimentação animal considerou a etapa do processamento dos insumos para a produção das rações, a energia elétrica da fábrica e o combustível fóssil do transporte das cargas para a unidade produtiva. Estes dados foram inseridos no SimaPro[®], o qual juntamente a inventários de produção de grãos e originação de outros componentes da dieta de suínos, disponibilizados pela base de dados *Ecoinvent*[®], estimou as emissões de GEE do processamento das rações na fase de creche.

ii) Criação dos leitões

Esta etapa do ICV incluiu a compilação referente aos dados produtivos, para propiciar os cálculos dos GEE emitidos dentro da granja. Assim, as fontes de emissão consideradas foram dos processos fisiológicos dos leitões (respiração e fermentação entérica), do dejetos *in natura*, da energia elétrica e do aquecimento.

Deste modo, foram considerados indicadores de desempenho zootécnico baseados na agroindústria para a fase de pós-desmame (Piva; Gonçalves, 2014). Para cada tipo de ração foram mensurados os indicadores zootécnicos de entrada e saída, pela quantidade de dias que o plantel permaneceu consumindo aquela dieta (Tabela 3).

Tabela 3 – Indicadores e parâmetros zootécnicos da fase pós-desmame por tipo de dieta dos lotes inventariados.

Lotes	1	2	3	4	5	6	7
Ração 1							
Nº animais alojados	10786	5481	5319	10800	10797	10799	11478
PVe (kg)	5,2	4,91	5,04	5,31	5,350	5,29	5,07
MT (%)	0,42	0,44	0,21	0,26	0,34	0,29	0,40
GP (kg)	0,59	0,99	0,58	1,19	1,130	0,81	0,98
CR/kg GP (kg)	2,42	1,68	3,23	1,16	1,4	2,4	1,94
Ração 2							
MT (%)	0,39	0,64	0,32	0,68	0,59	0,60	0,60
GP (kg)	4,84	5,13	5,85	2,89	3,03	2,53	4,86
CR/kg GP (kg)	1,06	1,01	0,88	1,73	1,65	1,99	1,31
Ração 3							
MT (%)	0,37	0,57	0,81	0,96	1,03	1,75	0,54
PVs (kg)	17,12	16,86	20,41	16,3	17,5	15,55	16,63
GP (kg)	6,49	5,83	8,94	6,91	7,99	6,92	6,45
CR/kg GP (kg)	0,78	0,9	0,59	0,77	0,64	0,73	0,71
Ração 4							
MT (%)	1,59	2,78	1,12	0,60	1,17	1,41	1,71
Nº animais final	10490	5241	5189	10532	10463	10368	11109
PVs (kg)	25,17	27,82	28,46	28,31	27,72	29,82	30,06
GP (kg)	8,05	10,96	8,05	12,01	10,22	14,27	13,7
CR/kg GP (kg)	2,01	1,83	2,66	1,71	1,87	1,67	1,77

Fonte: dados do estudo.

A estimativa do fator respiração justifica-se por relacionar-se diretamente com as emissões de CO₂ pelo suíno. Principalmente, por este ser o meio pelo qual os animais são capazes de liberar o calor corporal produzido em reações

metabólicas, como é a condição dos leitões de creche e engorda criados em baias de piso sintético, geralmente sem acesso a cursos d'água para fazer a troca via convecção cutânea (Sommerfelt; Rempel, 2015). Para esta estimativa das emissões de CO₂ da respiração foi necessário obter informações sobre a produção de calor referente à fase. Posto isso, o cálculo da produção de calor metabólico do leitão por kg GP se baseou em Brown-Brandl *et al.* (2014), conforme equação 1. O valor de produção de calor foi utilizado na equação 2, prescrita por Rigolot *et al.* (2010) para calcular o CO₂ emitido pela respiração dos animais:

$$THP (W/kg) = 14,11 * w^{-0,38}$$

Equação 1

Em que,

THP = total de produção de calor em W/kg de ração consumida;

14,11 = média de PV de estudos realizados a partir de 1957 em animais na fase de creche (Brown-Brandl *et al.*, 2014);

-0,38 = coeficiente de referência a distribuição de calor total e calor latente de leitões, de 10 a 25 kg, em diferentes sistemas de alojamento (número estimado para genéticas a partir de 1988) (Pedersen, 2002).

$$CO_2 \text{ resp.} = 24 * 0,163 * \left(\frac{THP}{86,4} \right) * \frac{44}{22,4}$$

Equação 2

Em que,

CO₂ resp. = quantidade de CO₂ emitido pela respiração em kg/kg de ração consumida;

0,163 = emissão de CO₂ em l/h por Watt de calor produzido pelo animal;

24 = quantidade de horas no dia;

THP = total de produção de calor do animal por kg de ração consumida;

86,4 = fator fixo;

44 g = massa molecular do CO₂ (transformada em Kg para fins de cálculo);

22,4 = densidade do CO₂ em l/mol.

De acordo com IPCC (2006), o gás metano proveniente da fermentação entérica é resultado da digestão de carboidratos, ingeridos pelos animais, por micro-organismos do trato gastrointestinal (TGI). A quantidade do CH₄ liberado depende do tipo de sistema digestivo, idade e peso do animal e do tipo de ração consumida. O suíno é um animal monogástrico com baixa taxa de fermentação entérica devido a composição da dieta ser menos fibrosa do que de outros monogástricos (cavalos, coelhos, etc) (Gürtler *et al.*, 1984). Devido a estes fatores, mesmo com uma baixa fermentação, a digestão ainda é considerada como um fator de emissão de CH₄, componente do grupo de GEE. Assim, o metano entérico foi estimado de acordo com Rigolot *et al.* (2010), conforme a equação abaixo:

Equação 3

$$CH_4 = \frac{(ResD * energia\ categoria\ anim.) / ResD}{5,6657\ MJ/kg\ CH_4}$$

Em que,

ResD = MO digestível – FB digestível – PB digestível – AM – EE digestível;

(MO = matéria orgânica; FB = fibra bruta; PB = proteína bruta; AM = amido em %; EE = extrato etéreo);

Energia por categoria Animal = Energia mecânica ou fisiológica dada em Joules/gramas (animais reprodutores = 1340 J/g e animais de crescimento em engorda = 670 J/g);

5,6657 MJ/kg CH₄ = Constante da energia mecânica do metano.

O transporte dos animais para a unidade produtiva seguiu o mesmo modelo de estimativa do transporte de ração, porém, para cada lote avaliado a distância variou conforme a unidade de origem dos leitões. Assim, as emissões de transporte dos leitões configuraram uma entrada na etapa correspondente a ração 1.

O kWh da energia elétrica consumida na granja calculada para cada kg de GP do leitão pelo período que o leitão recebeu cada tipo ração. O fator de emissão aplicado foi de 0,000126 kg de CO₂ eq. / kWh consumido (MCTI, 2021).

Por fim, as emissões referentes ao aquecimento da granja foram calculadas para os 12 primeiros dias de alojamento. Deste modo, esta fonte consta como entrada nas rações 1 e 2 somente. Calculou-se o m³ de lenha por kg GP para transformar este valor em métrica de energia, no caso foi utilizado o megajoule (MJ) e, calcular o CO₂ eq. aplicando fator de emissão (FE) para lenha de eucalipto de 0,0157 kg CO₂ eq. / MJ, disponível na base de dados *Ecoinvent*[®]. As emissões referentes ao transporte da lenha não foram incluídas no sistema avaliado, devido à falta de dados referente às distâncias percorridas pelos caminhões.

iii) Sistema de tratamento de dejetos - coletas e análises dos resíduos

As coletas dos resíduos foram realizadas no período de janeiro a setembro de 2021, sendo coletados os dejetos de 2 lotes de suínos durante este período. Em cada lote as amostras coletadas foram distribuídas em 4 períodos, correspondendo ao tempo que os animais permaneceram com determinada dieta, considerando os 4 tipos de ração fornecidas.

Os pontos de coletas das amostras dentro do barracão estão demonstrados na Figura 4. Assim, as amostras foram coletadas em 8 pontos do barracão, com o volume de 1l de resíduo por amostra. Nas baias selecionadas coletou-se em dois pontos, um mais próximo ao centro da baia (próximo do comedouro) e outro na lateral, devido à declividade do fosso que segue o sentido meio-lateral e início-fim do galpão.

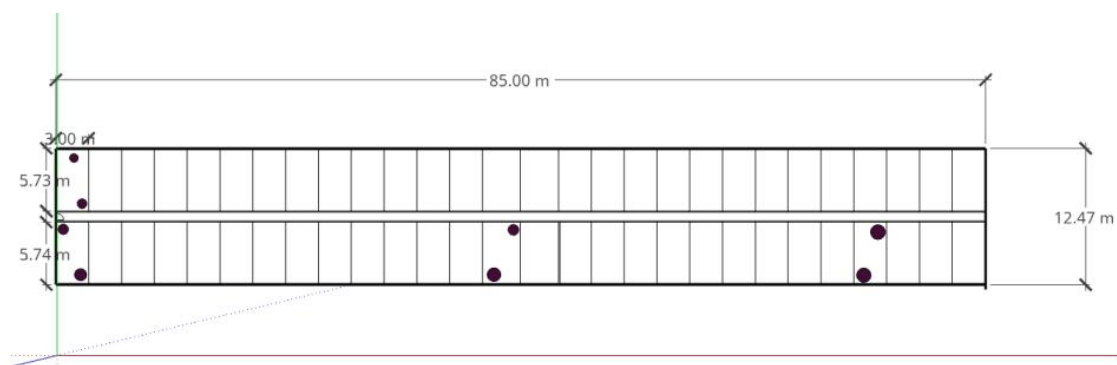


Figura 4 - Pontos de coletas das amostras dos resíduos dentro das instalações da granja avaliada.

Foram coletadas amostras de 2 litros em 4 pontos/semana para análise do tratamento dos resíduos das lagoas. Os pontos foram: entrada do biodigestor; lagoa secundária ou pós-biodigestor; entrada da lagoa terciária e efluente armazenado na lagoa terciária.

Após a coleta do material fresco e úmido foi realizada a homogeneização das amostras para a caracterização dos dejetos. Para tanto, foram realizadas as análises de sólidos totais (ST) e pH (potencial hidrogeniônico). Posterior a realização das análises com o dejetos fresco e úmido, o mesmo material foi seco e moído para realizar-se as demais análises de caracterização, sendo: as análises de Sólidos voláteis (SV), Nitrogênio (N), Extrato etéreo (EE), Fibra em detergente neutro (FDN), Fibra em detergente ácido (FDA) e lignina.

As análises de ST, SV, coliformes totais e termotolerantes e pH foram realizadas segundo a metodologia descrita pela Associação Americana de Saúde Pública (APHA, 2012). As demais análises foram realizadas a partir das amostras secas, as quais foram realizadas por um laboratório de análises agronômicas, localizado em Maracaju-MS e auditado pelo Laboratório de Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo (LFDA – SP).

Assim, os indicadores que compuseram o inventário do sistema de tratamento de resíduos foram resultados de análises laboratoriais, dos resíduos *in natura* e do material seco conforme demonstrado na Tabela 4.

Estudos sobre impactos ambientais na suinocultura exigem modelos matemáticos que estimam com maior precisão os processos fisiológicos que resultam em materiais impactantes ao meio ambiente (FAO, 2018b). Algumas dessas modelagens foram desenvolvidas por Rigolot *et al.* (2010), que buscam maior precisão nas estimativas sobre o que o animal ingere e o que ele excreta e, quanto isso pode gerar fatores de impactos ao meio ambiente. Neste estudo, parte das análises quantitativas procederam de resultados laboratoriais reais que determinaram indicadores passíveis de serem aplicados nos modelos matemáticos.

Tabela 4 – Valores médios dos parâmetros físicos, químicos e biológicos provenientes do sistema de tratamento de dejetos de leitões em fase de pós-desmame.

	<i>in natura</i>	SD	Pré-biodigestor	SD	Pós-biodigestor	SD	Lagoa 3 E.	SD	Lagoa 3 S.	SD
Sólidos Totais %										
Ração 1	6,95	2,95	1,47	0,30	0,71	0,01	0,54	0,11	0,52	0,01
Ração 2	6,86	4,98	2,22	1,20	0,59	0,24	0,54	0,01	0,31	0,28
Ração 3	5,76	4,86	3,39	2,21	0,53	0,02	0,46	0,02	0,39	0,09
Ração 4	9,00	3,79	3,02	1,40	0,70	0,10	0,38	0,05	0,33	0,13
pH										
Ração 1	5,71	0,88	6,70	0,91	7,81	0,02	8,01	0,08	8,01	0,11
Ração 2	5,92	0,56	6,83	0,74	8,27	0,77	8,05	0,14	8,12	0,00
Ração 3	6,06	0,44	6,89	0,93	7,78	0,40	8,02	0,16	8,11	0,01
Ração 4	6,48	0,31	6,31	0,16	7,43	0,08	7,93	0,06	8,08	0,00
Sólidos Voláteis %										
Ração 1	86,29	3,11	75,58	2,70	60,22	2,06	49,74	5,68	47,06	3,23
Ração 2	82,36	5,67	76,45	1,75	53,63	5,81	50,15	7,83	47,41	1,25
Ração 3	79,61	6,99	72,40	1,94	59,40	8,86	50,40	2,91	44,26	2,40
Ração 4	83,42	6,45	77,50	7,40	60,16	3,88	45,69	6,60	45,98	2,52
Extrato Etéreo %										
Ração 1	12,42	8,15	13,15	4,74	9,31	2,51	8,55	1,92	4,62	0,75
Ração 2	10,57	6,42	6,64	4,29	6,99	1,21	5,88	1,30	2,68	0,90
Ração 3	10,56	4,48	10,71	3,09	8,64	4,59	5,50	1,46	2,81	0,51
Ração 4	15,92	5,38	16,74	6,73	7,94	2,76	6,85	1,33	7,28	1,29
Fibra em detergente neutro %										
Ração 1	20,62	8,42	12,40	7,86	5,78	4,85	4,44	3,52	4,57	2,91
Ração 2	24,98	9,35	21,24	4,93	6,94	3,52	5,44	4,47	3,96	3,01
Ração 3	19,39	9,01	25,55	3,22	9,51	3,53	5,45	2,40	4,77	1,99
Ração 4	26,78	9,15	20,36	12,24	10,21	1,72	6,36	2,18	5,07	2,53
Fibra em detergente ácido %										
Ração 1	25,91	12,68	18,66	10,39	24,50	22,21	24,10	21,47	16,17	15,18
Ração 2	26,33	8,57	24,52	7,72	12,01	7,44	17,68	12,57	13,74	7,30
Ração 3	26,35	8,88	24,08	0,98	8,35	3,57	12,08	6,37	8,71	3,85
Ração 4	30,62	12,56	32,99	9,35	16,03	8,69	10,85	6,12	10,62	6,89
Lignina %										
Ração 1	1,02	1,64	0,20	0,16	0,05	0,10	0,05	0,10	0,05	0,10
Ração 2	0,92	1,41	0,15	0,10	0,30	0,34	0,45	0,30	0,10	0,11
Ração 3	0,49	0,79	0,10	0,11	0,40	0,16	0,30	0,26	0,20	0,16
Ração 4	0,68	1,33	0,10	0,11	0,10	0,11	0,20	0,00	0,20	0,16
Carbono Orgânico Total (g/kg)										
Ração 1	192,05	0,41	182,45	40,80	67,86	11,91	51,88	6,27	87,34	37,51
Ração 2	155,64	43,06	85,52	40,87	67,86	11,61	51,88	6,27	87,34	37,51
Ração 3	137,55	20,14	118,51	2,77	72,66	13,46	87,34	13,98	109,94	13,77
Ração 4	146,27	15,62	114,59	2,87	72,66	13,46	87,34	13,98	109,94	13,77
Nitrogênio (g/kg)										
Ração 1	45,85	45,90	45,50	4,95	34,30	2,97	34,30	10,89	22,05	10,39
Ração 2	40,60	40,60	38,50	4,95	34,30	2,97	34,30	10,89	22,05	10,39
Ração 3	45,85	49,70	37,10	4,12	38,50	5,94	29,05	3,46	38,15	4,45
Ração 4	43,40	42,00	44,10	4,12	38,50	5,94	29,05	3,46	38,15	4,45

Fonte: elaboração própria, com dados do estudo.

Os valores bromatológicos da composição das dietas foram aplicados aos modelos desenvolvidos por Rigolot *et al.* (2010) e indicados pela FAO (2018b). Assim, possibilitou-se a estimativa de matéria seca (MS) ingerida e excretada, sendo a excretada denominada de sólidos totais (ST) para cálculos

posteriores. As estimativas de produção de dejetos foram calculadas a partir dos índices de ST e Matéria Orgânica (MO) que consideraram a ingestão de alimentos e seus respectivos coeficientes de digestibilidade (Cd). Deste modo, utilizou-se as seguintes equações:

Equação 4

$$MS_{\text{fezes}} = \text{Ração} \times MS_{\text{ração}} \times (1 - Cd_{ms})$$

Equação 5

$$MO_{\text{fezes}} = \text{Ração} \times MO_{\text{ração}} \times (1 - Cd_{mo})$$

Esta metodologia foi selecionada devido à quantidade de indicadores disponíveis aos cálculos, compreendendo desde ingestão total da dieta até ingestão por tipo de componente da ração. Alguns destes índices somente puderam ser calculados a partir de dados reais (primários) de consumo e produção da dieta e dos animais. A determinação da estimativa do volume de fezes por animal possibilitou os cálculos do potencial de aquecimento global por unidade funcional (1kg-GP).

Devido a coleta de resíduos ter ocorrido em condições não experimentais, ou seja, em condições de campo produtivo, os teores de ST (MS) e SV, em cada lote e por etapa do tratamento, foram calculados a partir do resíduo in natura (das baias) por tipo de ração consumida e dos percentuais encontrados pelas análises laboratoriais dos resíduos. A determinação de sólidos totais em cada etapa do tratamento para cada ração consumida, foram calculadas a partir do percentual de redução em cada etapa do processo de tratamento do resíduo, conforme descrito na Tabela 5.

Tabela 5 - Redução da concentração de sólidos totais de uma etapa de tratamento para outra.

Ração	Entrada biodigestor	Saída do biodigestor	Entrada Lagoa 3	Saída Lagoa 3
R1	79%	52%	24%	5%
R2	68%	73%	8%	43%
R3	41%	84%	13%	15%
R4	66%	77%	45%	13%

Fonte: elaboração própria com dados do estudo.

2.2.5 Estimativas das emissões de GEE dos dejetos

Este ICV buscou descrever os fatores de emissão e os métodos usados para estimar as emissões de CO₂, CH₄, N₂O e NH₃ de dejetos de leitões pós-desmamados nas instalações produtivas e durante o tratamento, bem como o cálculo para estimar o potencial de redução devido ao uso de biodigestor.

Foram estimadas as emissões relacionadas ao C e ao N aplicando os modelos propostos por Cherubini *et al.* (2015) em estudo realizado no Brasil, o qual baseou-se em diversos trabalhos renomados da literatura, tais como: Sommer *et al.* (2004); IPCC (2006a,b); Dämmgen e Hutchings (2008); Hamelin *et al.* (2010; 2011); Hutchings *et al.* (2013); entre outros.

2.2.5.1 Emissões relacionadas ao carbono nas instalações

Para estimar a produção de metano entérico dos leitões adaptou-se o modelo matemático proposto por Rigolot *et al.* (2010), os quais utilizaram de coeficientes de produção de energia em Joule/grama (J/g) para matrizes suínas e para suínos em fase de engorda. Para adaptar este modelo matemático, utilizou-se dos coeficientes propostos por Dämmgen *et al.* (2012), os quais buscaram calcular as emissões de metano de suínos em diferentes fases produtivas.

As emissões de metano (CH₄) do dejetos foram estimadas com base no IPCC (2006a, v.4, Capítulo 10). O guia do IPCC descreve três métodos para estimar as emissões (Tier 1, Tier 2 e Tier 3). O Tier 1 é a opção mais simplificada, utiliza fatores de emissão padrão definidos pelo IPCC, geralmente aplicado quando não há dados específicos sobre a produção pecuária local. O método Tier 2 permite a utilização de alguns modelos matemáticos, modificando-se alguns dados de entrada como peso do animal, produção de sólidos voláteis, capacidade de produção de metano e N excretado para adaptar os fatores de emissão a condições específicas. Já o método Tier 3 é usado quando pretende-se desenvolver metodologias específicas do local ou medir as emissões no campo (CHERUBINI *et al.*, 2015). Assim, este trabalho desenvolveu o método Tier 2 para estimar as emissões de metano dentro dos galpões e no processo de tratamento de resíduos.

Os cálculos consideraram que o dejetos in natura ficou retido no fosso das baias pelo período de 12 a 15 dias na etapa inicial (R1) e foi diminuindo o tempo de retenção conforme o volume de resíduos aumentou devido ao crescimento dos leitões.

a) a avaliação de emissão de metano dos dejetos dentro das instalações foi baseada de Rigolot *et al.* (2010 - parte I):

Equação 6

$$CH4_f = SV * B_0 * MCF$$

$CH4_f$ = Emissões de metano das fezes(*f*) *in natura* (kg CH_4);

SV = Sólidos voláteis excretados (kg);

B_0 = Máxima capacidade de produção de metano para fezes ($m^3 CH_4$ (kg SV excretado) $^{-1}$) (IPCC, 2006a);

MCF = Fator de conversão do metano (kg·kg $^{-1}$).

2.2.4.2 Emissões relacionadas ao nitrogênio nas instalações

As emissões relacionadas ao N foram estimadas considerando que as emissões dependem da quantidade de nitrogênio amoniacal total (TAN) que entra no tanque de armazenamento mais o TAN gerado através da mineralização do N orgânico dos resíduos (Hutchings *et al.*, 2013; IPCC, 2006a; Cherubini *et al.*, 2015).

a) Avaliação do TAN se baseou em Hutchings *et al.* (2013):

Equação 7

$$TAN_h = TAN_0 + MR_h * ON_0$$

Em que,

TAN_h = Avaliação do TAN no galpão (kg·m $^{-3}$);

TAN_0 (*) = TAN excretado (kg·m $^{-3}$);

MR_h = taxa de mineralização (kg·kg $^{-1}$), diz respeito a proporção de N orgânico que entra no galpão ($_h$) que é mineralizado;

ON_0 = N-orgânico excretado (kg·m $^{-3}$)

*O TAN_0 foi calculado a partir da modelagem proposta por Rigolot (2010, part II):

Equação 8

$$TAN_0 = \frac{N_{\text{excretado}}}{14}$$

Em que,

N excretado = N / Kg de GP (g.kg^{-1}) (kg.m^{-3}) das fezes;

14 = fator de conversão dos resultados em kg de NH_3 .

b) Emissões de amônia foram baseadas em Hutchings *et al.* (2013):

Equação 9

$$NH3_h = TAN_h * e_1$$

$NH3_h$ = emissões de NH_3 no galpão (h) ($\text{kg NH}_3\text{-N}$);

e_1 = fator de emissão para NH_3 no galpão (kg.kg^{-1}).

c) Avaliação do N-orgânico de acordo com Hutchings *et al.* (2013):

Equação 10

$$ON_s = ON_0 * (1 - MR_h)$$

Em que:

ON_s = N-orgânico proveniente das instalações seguindo para o Sistema de Gerenciamento de Resíduos.

2.2.4.3 Emissões relacionadas ao carbono no armazenamento para queima por flare

O biogás proveniente de digestão anaeróbia com uso de biodigestores é composto basicamente por CO_2 e CH_4 , podendo ser transformado em energia elétrica e térmica em substituição de outras fontes de energia, como combustíveis fósseis, lenha, etc. (Oliveira; Higarashi, 2006). A composição do biogás considerou 65,6% de CH_4 e 31% de CO_2 , (dados primários). Assumiu-se que outros gases (por exemplo, N_2 , O_2 , H_2S , CO , H_2) são insignificantes, uma vez que geralmente representam menos de 1% da composição do biogás (Hamelin *et al.*, 2011; Cherubini *et al.*, 2015). A eficiência do flare baseou-se em Cherubini *et al.* (2015), que assumiram uma eficiência de 90%, ou seja, nem todo biogás captado é transformado em emissão de CO_2 .

- a) Potencial de emissão de CH₄ antes do tratamento no biodigestor (Cherubini *et al.*, 2015):

Equação 11

$$CH_{4s} = SV * B_0 * 0.662 * MCF$$

Em que,

B₀ = Máxima capacidade de produção de metano para dejetos;

0,662 = fator de conversão de m³ de CH₄ para kg de CH₄;

- b) Emissão de CO₂ no biodigestor / produção de biogás (Hamelin *et al.*, 2010; Cherubini *et al.*, 2015):

Equação 12

$$B = \frac{SV * B_0}{B_{CH_4}}$$

Em que,

B = produção de biogás no biodigestor (m³);

B_{CH₄} = proporção de metano na composição do biogás.

- c) Matéria Orgânica transformada em biogás a partir da relação metano-carbono (CH₄-C) (Hamelin *et al.*, 2010; Cherubini *et al.*, 2015):

Equação 13

$$C_{perd.b} = \frac{SV * B_0 * D_{CH_4}}{\frac{16.033}{12.011}}$$

Em que,

C_{perd.b} = Matéria Orgânica perdida durante a produção de biogás(b) (kg CH₄-C);

D_{CH₄} = densidade do metano (kg.m-3);

16.033/12.011 = fator de conversão do CH₄ em CO₂.

- d) Emissões devido ao vazamento de biogás no biodigestor (Hamelin *et al.*, 2010; Cherubini *et al.*, 2015):

Equação 14

$$CH_{4l} = SV * B_0 * D_{CH_4} * L_b$$

Em que,

CH_{4l} = emissão de CH₄ devido a vazamento de biogás no biodigestor (kg CH₄);

L_b = biogás vazado (kg.kg⁻¹).

- e) Emissões durante a queima devido ao metano não convertido (UNFCCC, 2012):

Equação 15

$$E_f = \left(C_{perd.b} * \left(\frac{16.033}{12.011} \right) * (1 - n_f) + CH4_l \right) * CF_{CH4} + CH4_l * 1,42$$

Em que,

E_f = Emissões durante a queima pelo flare (f) (kg CO₂ eq.);

n_f = eficiência do flare (kg.kg⁻¹);

CF_{CH4} = fator de caracterização para CH₄ (kg CO₂ eq.);

1,42 = fator de conversão de CH₄ em CO₂ eq, sendo que cada grama de CH₄ é equivalente a 1,42 g de O₂ (HAMELIN *et al.*, 2010).

- f) Emissões durante a queima devido ao metano convertido em dióxido de carbono (IPCC, 2006b):

Equação 16

$$CH4_f = SV * B_0 * n_f * D_{CH4} * SMF$$

Em que,

$CH4_f$ = CH₄ convertido em CO₂ durante queima pelo flare (f) (kg CO₂).

SMF = Razão do Fator Estequiométrico (*Stoichiometric Mass Factor*) da massa de CO₂ produzido a partir da combustão completa da unidade de massa do CH₄ que é igual a 2.75 (kg CO₂).

- g) Emissões durante a estocagem dos resíduos (pós-biodigestão): as emissões de CH₄ e CO₂ durante o armazenamento nas lagoas 2 e 3 foram estimadas com base no volume remanescente de sólidos voláteis após biodigestão (Cherubini *et al.*, 2015):

Equação 17

$$CH4_s = (SV - B * D_b) * B_0 * 0,662 * MCF * R_p$$

Em que,

$CH4_s$ = emissão de metano na lagoa de estabilização e armazenamento (s) (kg CH₄);

D_b = densidade do biogás (kg.m⁻³);

R_p = Potencial de redução devido à degradação lenta dos SV (kg.kg⁻¹).

Aplicou-se um fator de potencial de redução devido à degradação lenta dos SV, obtido pela razão entre o percentual de SV de saída e de entrada do biodigestor. A densidade do biogás foi calculada a partir do percentual de composição do CH₄ e do CO₂, considerando suas densidades — 0,717 e 1,977, respectivamente.

2.2.4.4 Energia produzida pelo biogás

A eficiência do motor em transformar o biogás em energia elétrica e energia térmica foi fundamentada em Oliveira e Higarashi (2006), sendo 25% e 65%, respectivamente. Deste modo, a produção de biogás e a matéria orgânica transformada em biogás foram estimadas por meio das equações 11 e 12.

- a) Energia produzida pelo biogás (Hamelin *et al.*, 2010; Cherubini *et al.*, 2015):

$$EL_b = B * EL_{ef} * LHV_{el}$$

Equação 18

Em que,

EL_b = Eletricidade produzida a partir do biogás (kWh);

B = biogás produzido (m³)

EL_{ef} = Eficiência do motor para produção de eletricidade (%);

LHV_{el} = menor poder calorífico para eletricidade (kWh.m⁻³).

$$HE_b = B * HE_{ef} * LHV_{he}$$

Equação 19

Em que,

HE_b = Calor produzido pelo biogás (MJ);

HE_{ef} = Eficiência do motor para produção de calor (%);

LHV_{he} = menor poder calorífico para biogás (MJ. m⁻³).

Alguns parâmetros destes cálculos foram baseados em Hamelin *et al.* (2011), tais como: a) consumo de eletricidade no motor a biogás (5% da produção líquida de energia; b) consumo de calor no processo de biogás, os quais consideram a diferença entre a temperatura necessária para o processo (37°C) e a temperatura média local (utilizou-se o histórico das temperaturas

médias mensais para o estado do MS, considerando o período de cada alojamento produtivo); e, c) o calor específico para a MS e para a água foi de 3,0 e 4,2 kJ.kg⁻¹.°C⁻¹, respectivamente.

Equação 20

$$HE_c = \frac{(DM * SH_{MS} + WM * SH_{WM}) * (37 - T_{ml})}{1000}$$

Em que,

HE_c = calor consumido no processo do biogás (MJ);

DM = matéria seca do dejetos.

SH_{DM} = calor específico da MS (kJ.kg⁻¹.°C⁻¹);

WM = água contida no dejetos (kg.m⁻³);

SH_{WM} = calor específico da água (kJ.kg⁻¹.°C⁻¹);

T_{ml} = Temperatura média local.

2.2.4.5 Emissões relacionadas ao nitrogênio no sistema de tratamento de resíduos

a) Avaliação do TAN em armazenamento (Hutchings *et al.*, 2013):

Equação 21

$$TAN_s = TAN_h * (1 - e_1) + MR_s * ON_s$$

Em que,

TAN_s = TAN em armazenamento de resíduos (s) (kg.m⁻³);

MR_s = Taxa de mineralização, diz respeito a proporção de N-orgânico entrando no armazenamento que foi mineralizado, calculado pela relação C/N (kg.m⁻³);

b) Emissão de Amônia em armazenamento (Hutchings *et al.*, 2013):

Equação 22

$$NH3_s = TAN_s * e_2$$

Em que,

NH3_s = Emissão de amônia em armazenamento (s) (kg NH₃-N);

e₂ = Fator de emissão para o NH₃ emitido no armazenamento (kg.kg⁻¹).

c) Emissão de Óxido Nitroso direto (HUTCHINGS *et al.*, 2013):

Equação 23

$$N2Od_s = TAN_s * e_3$$

Em que,

$N2Od_s$ = Emissões de N_2O direto em armazenamento (s) ($kg\ N_2O-N$);

e_3 = Fator de emissão para N_2O emitido em armazenamento ($kg.kg^{-1}$).

d) Emissão de Óxido Nitroso Indireto proveniente da amônia e no monóxido de nitrogênio volatilizados de acordo com o IPCC (2006a):

Equação 24

$$N2Oi(v)_s = (NH3_s + NO_s) * 0.01$$

Em que,

$N2Oi(v)_s$ = Emissões de N_2O indireto proveniente da volatilização (v) do $NH_3-N+NO-N$ em armazenamento (s) ($kg\ N_2O-N$).

e) Avaliação do N-orgânico em armazenamento pós-biodigestor (lagoa 2) (Hutchings *et al.*, 2013):

Equação 25

$$ON_{pb} = ON_0 * (1 - MR_h) * (1 - MR_b)$$

Em que,

ON_{pb} = N-orgânico pós-biodigestor (pb) ($kg.m^{-3}$).

f) Available TAN in storage were based on Hutchings *et al.* (2013):

Equação 26

$$TAN_{pb} = TAN_b + MR_s * ON_s$$

Em que,

TAN_{pb} = Avaliação do TAN pós-biodigestor (pb) ($kg.m^{-3}$).

g) Emissões de Amônia pós-biodigestão (lagoa 2) (HUTCHINGS *et al.*, 2013):

Equação 27

$$NH3_s = TAN_s * e_2$$

Em que,

$NH3_s$ = Emissão de NH_3 pós-biodigestor (pb) ($kg\ NH_3-N$).

h) Emissão de Óxido Nitroso direto (HUTCHINGS *et al.*, 2013):

Equação 28

$$N2Od_{pb} = TAN_s * e_3$$

Em que,

$N2Od_{pb}$ = Emissão de N_2O direto pós-biodigestor ($_{pb}$) (kg N_2O-N).

- i) Emissões de Óxido Nitroso indireto proveniente volatilização da amônia e do monóxido de nitrogênio de acordo com o IPCC (2006a):

Equação 29

$$N2Oi(v)_{pb} = (NH3_s + NO_s) * 0.01$$

Em que,

$N2Oi(v)_{pb}$ = Emissões de N_2O indireto proveniente da volatilização ($_v$) do $NH_3-N+NO-N$ em armazenamento pós-biodigestão ($_{pb}$) (kg N_2O-N).

Por fim, as equações 25 a 29 foram aplicadas para calcular as estimativas de emissões da lagoa de armazenamento.

2.2.6 Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida

De posse do inventário (Tabela A1 - Anexo 1), realizou-se a avaliação de impacto aplicando fatores de caracterização, às emissões do ICV, possibilitando normalizar grupos de emissões a uma métrica comum, no caso em CO_2 equivalente conforme as orientações da FAO (2018b). A escolha do método de avaliação foi o ReCiPe, o qual é orientado para a avaliação de impacto ambiental por trazer uma harmonização adequada aos dados produtivos de sistemas de produção animal (Laso *et al.*, 2018).

Devido à natureza da modelagem de cálculos das emissões utilizadas neste estudo, a categoria selecionada foi Mudanças Climáticas, a qual é amplamente utilizada em vários estudos de ACV de suinocultura. As estimativas de emissões provenientes do processamento da ração, da fermentação entérica (FAO, 2018b), da respiração animal (Rigolot *et al.*, 2010) e, do tratamento de resíduos que participam da categoria Mudanças Climáticas, seguiram modelos matemáticos adaptados à fase estudada. Tais estimativas unem premissas cientificamente fundamentadas com as recomendações da FAO (2018b). A categoria Mudanças Climáticas é composta por emissões de

GEE, dentre os quais citam-se o Metano (CH₄), o Dióxido de Carbono (CO₂) e o Óxido Nitroso (N₂O), sendo os mais citados e analisados em estudos de ACV.

Em avaliações de impactos das emissões de GEE, requer-se, principalmente, a determinação dos gases referentes ao C e N quando o objetivo é avaliar o Potencial de Aquecimento Global. O carbono é o elemento presente em dois dos principais GEE. Já o nitrogênio envolve-se com o N₂O que é encontrado em menor quantidade na atmosfera, mas é 275 vezes mais potente no impacto (Wang, 2019).

3. Resultados e Discussão

3.1 Processamento das rações

As emissões referentes à alimentação animal foram mais expressivas na R1, seguidas das R2, R3 e R4, conforme demonstrado na Figura 4. A maior emissão na primeira semana de alojamento é justificada pela maior demanda de ração por kg de GP. Durante os primeiros dias após o desmame os leitões passam por um processo de adaptação fisiológica que prejudica o desempenho, demandando maior consumo e resultando num menor ganho de peso (Pluske *et al.*, 2019; Valentim *et al.*, 2021) e maiores emissões por UF.

No total da fase de creche, cada leitão consumiu em média 32,6 kg de ração para ganhar 23,03 kg de PV, em aproximadamente 52 dias de alojamento. Estes parâmetros diferem dos encontrados no estudo de Ali *et al.* (2018), que realizou uma ACV em diferentes fases de produção de suínos no Brasil, no qual os animais ficaram alojados por 35 dias, consumindo 25 kg de ração e ganhando 15,5 kg de PV. Estes autores identificaram uma emissão do processamento da ração equivalente a 0,90 kg de CO₂ eq./kg GP na fase, valor próximo do estimado neste estudo, que foi de 1,04 kg de CO₂ eq./kg GP. No entanto, não foi possível identificar se os fatores de emissão do processamento da ração nos resultados de Ali *et al.* (2018) abrangem os mesmos analisados neste estudo, que foram insumos da composição da dieta, energia elétrica em kWh e o combustível fóssil envolvido no processo.

A alimentação animal contribuiu com 7% (0,7428 kg de CO₂ eq. / kg GP) do total de emissões observados no sistema produtivo de leitão em fase de

pós-desmame (Tabela 7). Este resultado difere de Jeong *et al.* (2023) que estudaram as emissões de leitões em diferentes etapas para 1 kg de PV, mas não consideraram o transporte e o processamento das rações como fatores de emissão, mesmo considerando que o transporte dentro do processo produtivo tem influência expressiva.

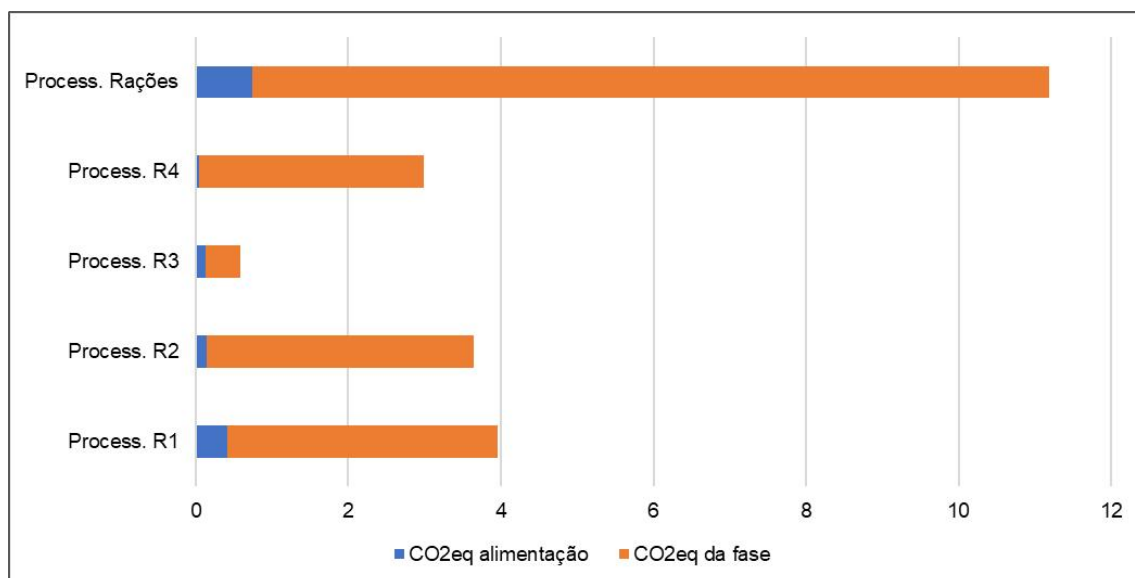


Figura 5 - Participação da alimentação nas emissões totais e por etapa da produção de leitões em fase pós-desmame.

O transporte de rações apresentou leve contribuição nas emissões de todas as etapas, sendo responsável por aproximadamente 0,2% das emissões totais. Concomitantemente, as emissões referentes a energia elétrica, em kWh, não apresentaram expressividade no montante de GEE do processo produtivo da alimentação animal.

3.2 Produção de leitões na granja

O principal indicador zootécnico utilizado para avaliar o desempenho dos lotes e sua relação com as fontes de emissões deste estudo foi o GP por kg de ração consumida. A etapa inicial da fase pós-desmame, na qual os leitões receberam a R1, foi a que apresentou o menor desempenho animal, e por consequência as maiores emissões quanto aos fatores de emissão referentes aos processos fisiológicos (CH₄ entérico e CO₂ da respiração animal). No

entanto, as emissões fisiológicas não foram expressivas, atingindo 1% das emissões totais na fase da R3 e não chegando a 0,5% nas demais fases.

Os leitões no pós-desmame passam por mudanças gastroentéricas devido a troca de uma dieta líquida rica em leite para uma sólida, à base de grãos. No entanto, os leitões têm capacidade limitada de digerir e absorver proteínas, carboidratos e gordura por causa de seu menor estoque de enzimas. Devido à necessidade de maturação do intestino do leitão, a dieta na primeira semana pós-desmame é alta em componentes protéicos, porém a digestibilidade é baixa (Pluske *et al.*, 2019; Valentim *et al.*, 2021).

Outra questão que influencia demasiadamente no desempenho dos leitões é o estresse ao desmame e as mudanças sociais na adaptação no alojamento, onde os leitões são reagrupados com outras leitegadas (Lippi *et al.*, 2022a). Estas mudanças interferem no comportamento dos leitões contribuindo com o estresse e, conseqüentemente, com o mau funcionamento do TGI (Pluske *et al.*, 2019). Os fatores estressantes que prejudicam o TGI (Lippi *et al.*, 2022b), influenciando no desempenho animal, também se relacionam com maiores emissões entéricas e excreção de fezes neste período de adaptação.

Os fatores fisiológicos de emissão de CO₂ eq. de fase de creche que compreendeu respiração e metano entérico resultaram em 0,0327 kg CO₂ eq./kg GP, enquanto o produto da digestão dos alimentos, as fezes, emitiram cerca de 8,55 kg CO₂ eq./kg GP, o que refletiu em 3,76 kg CO₂ eq. para cada kg GP/dia. Philippe e Nicks (2015) identificaram emissões referentes aos mesmos processos fisiológicos, com valores equivalentes a 2,15 kg CO₂ eq./kg GP/dia. No entanto, estes autores não consideraram um banco de dados de campo, como é o caso do presente estudo, mas sim bases experimentais com coeficientes internacionais.

O estudo mostrou que cada lote analisado apresentou variabilidade tanto nas emissões como no desempenho. Conforme demonstrado na Figura 6, a relação entre GP e tempo de alojamento, bem como a dieta, exprimiu-se como valores que se acompanham. Quanto maior o tempo de alojamento, maior é o GP na ração. A mesma relação foi observada ao avaliar o GP e as emissões na criação, no entanto, quanto maior o GP na ração, menor a emissão total de CO₂ eq/UF. Resultados assim corroboram com estudos

similares, como o de Pietramale *et al.* (2021), que identificou que um maior GP expressa menor emissão na fase de lactação.

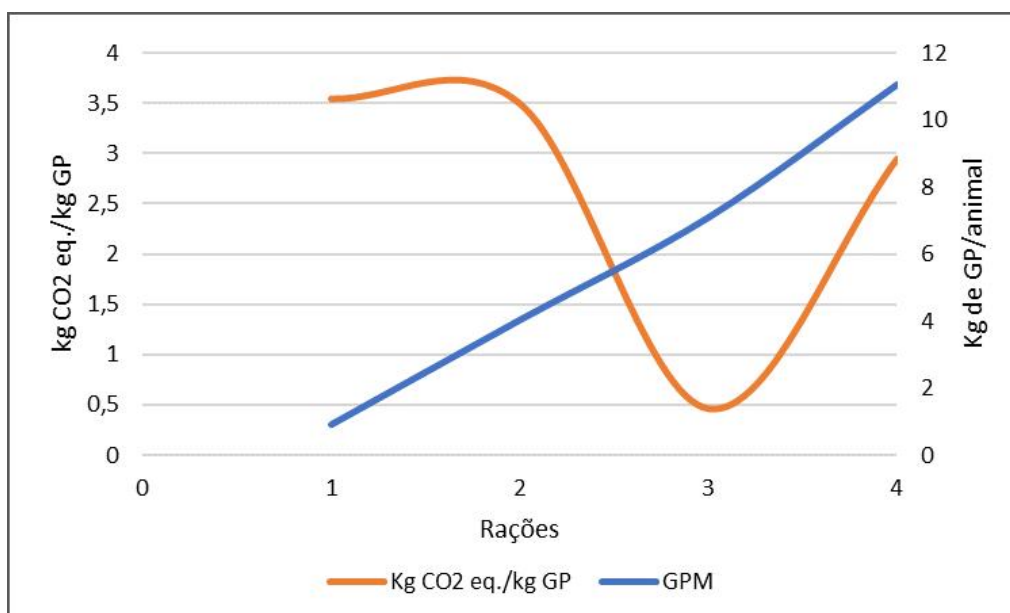


Figura 6 – Emissões totais em CO₂ eq. e o ganho de peso médio no decorrer das etapas de alimentação da fase pós-desmame.

Os achados deste estudo indicam que melhores desempenhos produtivos refletem em melhores resultados ambientais, corroborando com autores como Oliveira *et al.* (2022), os quais destacam a necessidade de tornar a eficiência produtiva um ponto de decisão na mitigação das emissões de GEE, devendo ser calculada com precisão, afinal, quanto mais se produz com um mesmo recurso, melhor para o meio ambiente.

Outro fator de emissão referente a criação dos animais é o transporte dos leitões da Unidade Produtora de Desmamados (UPD) até a unidade de creche. Este fator contribuiu com 5% das emissões na etapa da R1, e com 2% no montante de GEE emitido.

3.3 Sistema de tratamento de dejetos

Ainda sobre os dejetos in natura, observou que este representou a maior parcela do total de emissões de GEE deste estudo (Figura 6). Contestando a afirmação de Thoma *et al.* (2011), de que a produção de ração é a fonte das maiores emissões de GEE da cadeia produção de carne de suínos. Resultados

assim demonstram que, quando se realiza um recorte da fase de pós-desmame, esta proporção de emissão se modifica.

Por kg GP de leitão na fase de creche, o potencial de aquecimento global foi de 10,43593 kg de CO₂ eq. A Figura 7 demonstra a participação percentual das principais fontes de emissões de GEE da fase de creche, as demais fontes totalizaram os 2% restantes.

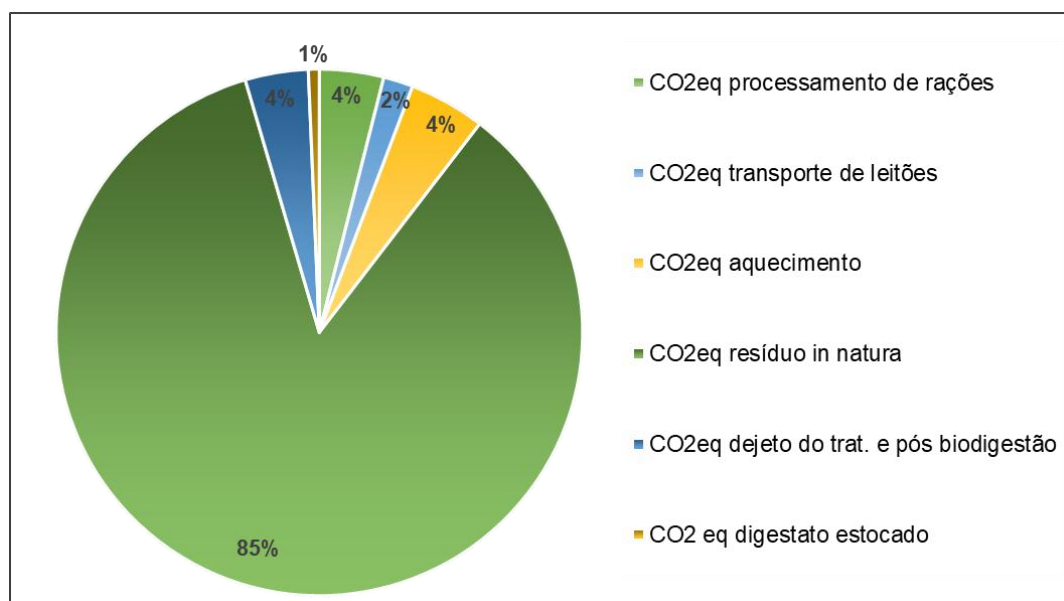


Figura 7 – Participação das principais fontes de emissões de GEE do sistema avaliado.

O resíduo orgânico suíno tem alto potencial de produção de CH₄ e N₂O quando não manejado corretamente. O processo de biodigestão anaeróbia vem como um sistema de tratamento eficiente e menos impactante ao meio ambiente. As emissões de GEE do dejetos antes do tratamento, neste estudo, foi estimada em 1,314 kg de CO₂ eq. / kg GP, no entanto, este material não chegou a emitir devido a sua entrada no tratamento via biodigestor.

Os elementos químicos com maior participação nas emissões são C e N, os quais são degradados no processo de biodigestão anaeróbia por micro-organismos. E neste processo, a relação C/N é o limiar para a eficiência de produção do biogás, co-produto importante do tratamento de resíduos suínos por biodigestor (Wang *et al.*, 2019). Conforme demonstrado na Tabela 6 as emissões referentes as ações bioquímicas no biodigestor foram de 0,142 kg de CO₂ eq. / UF e o potencial de produção de biogás foi de 0,256 m³ / UF. O

biogás produzido tem potencial energético a partir da sua queima, podendo ser transformado em energia elétrica e energia térmica (Lijó *et al.*, 2017). De acordo com a Calculadora BiogásFORT® da Embrapa Aves e Suínos, 1 kg GP na fase de creche tem potencial de produzir 0,1 m³ de biogás.

Tabela 6 – Média de emissões dos lotes avaliados, por tipo de GEE da produção de leitões pós-desmamados.

Tipo de GEE	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente Variação	Mínimo	Máximo
CH ₄ entérico	0,001162652	0,000128244	1,64465E-08	11,03028308	0,001051	0,001402
CO ₂ eq respiração	0,00023301	4,54269E-05	2,0636E-09	19,49567302	0,000193	0,000296
Emissão total CH ₄	0,269696787	0,067537816	0,004561357	25,04212859	0,201593	0,361092
Emissão total N ₂ O	0,006335545	0,003725763	1,38813E-05	58,80729823	0,002418	0,012319
Emissão CO ₂ dejeito/kg GP	0,298698771	0,06161101	0,003795917	20,62646915	0,239182	0,392414
Potencial de biogás (m ³)/kg GP pré- tratamento	0,256403264	0,052826627	0,002790652	20,60294619	0,205359	0,336699
Potencial de biogás (m ³)/kg GP pós- biodigestor	0,060275756	0,016175277	0,00026164	26,83546049	0,042766	0,081018

Fonte: dados do estudo.

O potencial de produção de energia elétrica por UF foi de 24,84 kWh, seguindo os 60% de conversão do biogás em eletricidade. Aplicando os parâmetros de potencial de produção energética em kWh diário na fase de creche da Calculadora BiogásFORT®, o valor referente ao kg GP nesta ferramenta foi de 25,3 kWh.

O potencial de redução das emissões ao final da lagoa de estabilização após o biodigestor neste estudo foi de cerca de 70%, como mostram os resultados de progressão do potencial de CO₂ eq. do sistema de tratamento expostos na Figura 8. Em estudo realizado por Inoue *et al.* (2016) em duas unidades produtivas de ciclo completo de suínos, o potencial de redução de emissões de GEE foi de 55%, entre o resíduo sem tratamento e o resíduo ao final da lagoa de estabilização. Esta diferença pode ser explicada pela diversidade dos sistemas produtivos.

Os resultados de redução de CO₂ eq. do sistema de tratamento de dejetos por biodigestão, demonstrados na Figura 8, podem ser considerados

satisfatórios, de acordo com Kaparaju e Rintala (2011). Tais autores indicam que sistemas de digestão anaeróbios, quando bem operados, apresentam em média 70-80% de potencial de redução de metano, percentual encontrado pelos mesmos no referido estudo. Neste sentido, Saviotti *et al.* (2016) destacam que a biodigestão de dejetos, devido ao alto potencial de redução de CO₂ eq. se valida como um mecanismo de desenvolvimento limpo.

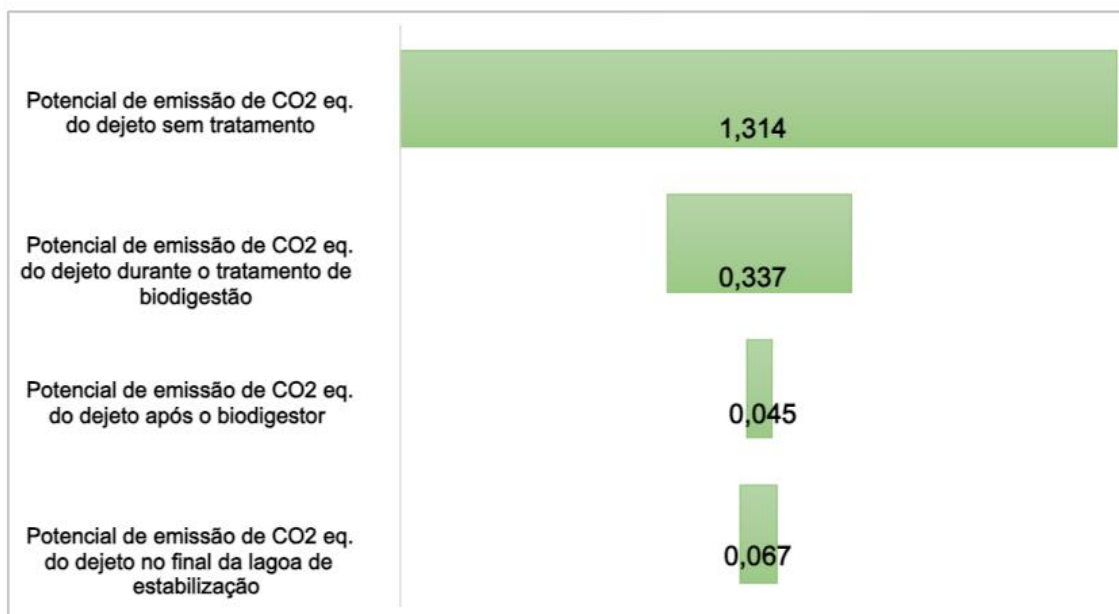


Figura 8 – Progressão do potencial de emissão de CO₂ eq. por etapa de tratamento dos resíduos da produção de leitões em fase de creche.

Os GEE do tratamento de resíduos se referem ao metano, óxido nitroso e dióxido de carbono provenientes das reações microbiológicas. Os valores proporcionais de emissão estão ilustrados na Figura 9, a qual expõe que a maior fonte de emissão é proveniente do CH₄, seguido do N₂O e do CO₂. Os resultados corroboram com Gelinski Neto *et al.* (2019); Melse e Verdoes (2005), os quais afirmam que dentre os gases de maior percentual nos GEE, o metano encontra-se com maior proporção, quando se avalia o sistema de tratamento de resíduos. No entanto, autores como Maraveas *et al.* (2023) expõem sobre protocolos de mitigação das emissões, principalmente do CH₄, apresentando técnicas de manejo dos dejetos suínos nas quais podem reduzir a produção de CH₄ para o ambiente.

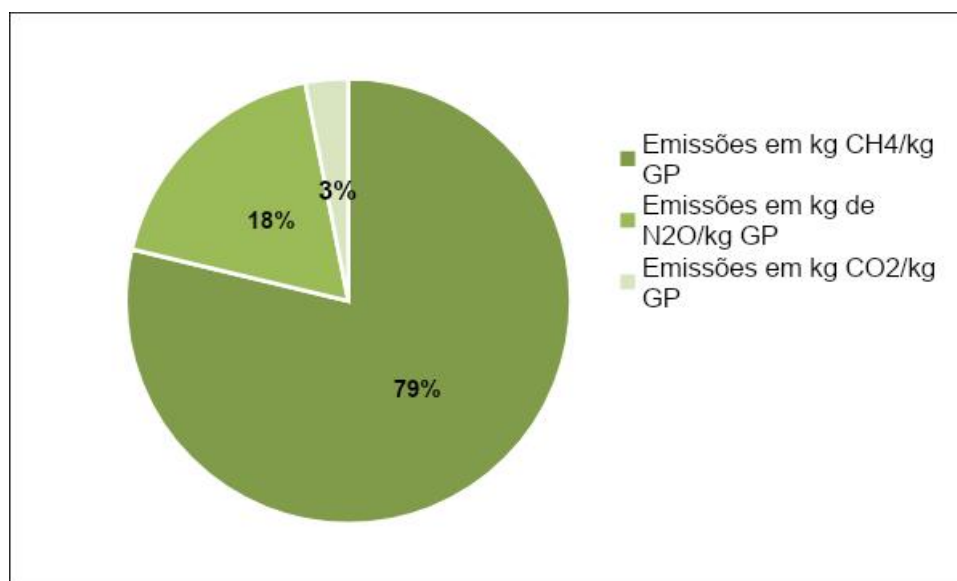


Figura 9 – Potencial de emissões por tipo de GEE do tratamento de dejetos de leitões em fase de creche.

Ao avaliar as emissões de GEE do tratamento de dejetos por tipo de ração consumida, identificou-se que a R3 foi a com menor volume de CO₂ eq. (Tabela A1 - Anexo 1). Embora a R3 seja mais eficiente em termos de emissões de GEE, as rações R1, R2 e R4 apresentaram maior potencial de produção de biogás. As análises foram estimadas para fins de proporcionar maior compreensão de como a idade e o tipo de dieta do animal podem afetar seus excrementos e, conseqüentemente, as emissões durante o tratamento destas excretas.

Mesmo que a R3 tenha expressado um menor impacto quanto aos GEE do tratamento, o GP médio foi menor que na R4, conforme demonstrado no inventário produtivo (Tabela 3). No entanto, o consumo dos animais por kg GP, foi menor na R3, implicando em maior impacto sobre as emissões desde o processamento da dieta até o final do tratamento de resíduos. Resultados como estes sustentam as afirmações de autores como Garcia-Launay *et al.* (2018), que procuraram analisar tipos de ingredientes e seus impactos nas emissões de GEE; Wilfart *et al.* (2016), Sonesson *et al.* (2016) e Ali *et al.* (2018), que inventariaram diferentes fontes de alimentos para suínos facilitando a tomada de decisão sobre os ingredientes usados nas dietas com o objetivo de mitigação de impactos, entre outros. Estes autores concluíram, em sua maioria, que o desempenho animal, o consumo de ração e os ingredientes das

mesmas, interferem diretamente nas emissões de GEE dos dejetos, em diferentes sistemas de tratamentos.

Devido a abordagem sistêmica da aplicação da ACV, os resultados desta avaliação auxiliam na identificação dos pontos críticos do processo que demandam maior atenção quanto a otimização do uso dos recursos produtivos (Onat *et al.*, 2017). Ademais, esta ferramenta também é constituída de níveis de aplicação, de acordo com a destreza do inventário de dados, que trazem especificidade aos resultados e abrem precedentes para que sejam aplicados em diversos sistemas produtivos (FAO, 2018b). Assim, a reunião dos modelos matemáticos utilizados neste estudo e, inclusos na ferramenta de ACV, oportunizou uma avaliação ampla sobre os aspectos ambientais e produtivos.

4. Conclusões

A partir dos resultados deste estudo evidenciou-se que o período de adaptação, referente a primeira semana (R1), foi o que mais impactou nas emissões de GEE, devido ao baixo desempenho dos leitões nesta etapa. Conforme a idade do animal e o tempo de alojamento na fase de creche, concluiu-se que a R3 foi a mais eficiente no GP e no baixo uso dos recursos e, consequentemente, menores emissões de GEE.

Tendo em vista o que foi percorrido neste estudo sobre o dejetos *in natura* que permanece nas instalações por determinado período e, considerando que este apresentou-se como a maior fonte de emissão de GEE do sistema avaliado, conclui-se que o modelo produtivo demanda maior atenção e uso de tecnologias de mitigação dos impactos ambientais. Julgando este fator de emissão como um ponto crítico, recomenda-se a aplicação de estudos mais detalhados que projetem tecnologias de redução das emissões do dejetos alocado no fosso das instalações.

Concluiu-se também, que o sistema de tratamento adotado pela granja avaliada é eficiente quanto a redução do potencial de emissão de GEE do resíduo após o biodigestor, quando comparado ao dejetos antes do tratamento, apresentando redução em torno de 70%. As rações que apresentaram pior desempenho ambiental, devido a maior emissão de GEE durante o tratamento

do respectivo dejetos, foram as que apresentaram maior potencial de produção de biogás. Diante disso, constatou-se que o biogás tem alto potencial de ser utilizado de forma ambientalmente favorável, quando destinado à produção de energia. Por fim, sugere-se que as emissões totais de GEE poderiam ser mitigadas por meio da substituição do consumo de lenha por energia térmica gerada pelo biogás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, B. M. *et al.* A stochastic bio-economic pig farm model to assess the impact of innovations on farm performance. **Animal**, v. 12, n. 4, p. 819-830, 2018.

ANDRETTA, I. *et al.* Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. **Animal**, v. 12, n. 9, p. 1990-1998, set. 2018.

APHA - American Public Health Association, 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ed. Washington, 1.360p.

ARMÔA, M. Suinocultura de MS cresce acima da média nacional e amplia produção com biossegurança e sustentabilidade. SEMADESC, 14 jul. 2020. Disponível em <https://www.semadesc.ms.gov.br/suinocultura-de-ms-cresce-acima-da-media-nacional-e-amplia-producao-com-biosseguranca-e-sustentabilidade/>. Acesso em out. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040:** Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Structure. Rio de Janeiro, 2014a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14044:** Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. Rio de Janeiro, 2014b.

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

BASSET-MENS, C.; VAN DER WERF, H. M. G. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 105, n. 1-2, p. 127-144, 2005.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**, Brasília-DF: MCTI, 2021.

BROWN-BRANDL, T. *et al.* Heat and moisture production of modern swine. Iowa State University – Digital Repository. 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/212816528.pdf>. Acessado em abr. 2023.

CHERUBINI, E. *et al.* Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 68-77, 2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo**. 2021. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>. Acesso em nov. 2022.

DAEMMGEN, U. *et al.* Enteric methane emissions from German pigs. **Landbauforschung Völkenrode**, v. 62, n. 3, p. 83-96, 2012.

DAMMGEN, U.; HUTCHINGS, N. J. Emissions of gaseous nitrogen species from manure management: a new approach. **Environmental Pollution**, v. 154, n. 3, p. 488-497, 2008.

EMBRAPA Swine and Poultry. Calculadora BiogásFORT®. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/biogasfert/calculadora>. Acesso em jul. 2023.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Environmental performance of pig supply chains: Guidelines for assessment**. 1ª Versão. Roma, 2018b. 172 p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Meat market review: overview of global meat market developments in 2020**. Roma, 2021. 35 p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050**. Summary version. Roma, 2018a. 64 p.

GARCIA-LAUNAY, F. *et al.* Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. **British Journal of Nutrition**, v. 120, n. 11, p. 1298-1309, 2018.

GELINSKI NETO, F. Santa Catarina's contribution to the reduction of greenhouse gases: the biogas law. **Economy Journal from Santa Catarina**, v.3, p. 56-73. 2019.

GÜRTLER, H. *et al.* **Fisiologia Veterinária**. Ed. 4, Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1984.

HAMELIN, L. *et al.* Environmental consequences of future biogas technologies based on separated slurry. **Environmental science & technology**, v. 45, n. 13, p. 5869-5877, 2011.

HAMELIN, L. *et al.* Life Cycle Assessment of Biogas from Separated Slurry. Environmental project no. 1329. Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University. 2010. 462 p. Disponível em

<https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2010/978-87-92668-03-5/pdf/978-87-92668-04-2.pdf>. Acesso em ago. 2022.

HIGARASHI, M. M. *et al.* Greenhouse gases emissions from deep pit stored swine manure in Southern Brazil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS, 2013, São Pedro. Anais... São Pedro: SBERA/Embrapa, 2013.

HUTCHINGS, N. J. *et al.* Modelling the potential of slurry management technologies to reduce the constraints of environmental legislation on pig production. **Journal of environmental management**, v. 130, p. 447-456, 2013.

INOUE, K. R. A. *et al.* Potential of reduction in the emission of methane and nitrous oxide from swine wastewater after treated by two different systems. **Engenharia Agrícola**, v. 36, p. 1198-1205, 2016.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: IPCC, Switzerland, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>. Acesso em mai. 2023.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Meeting Report. Washington, 2006a. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/meeting/pdf/Washington_Report.pdf. Acesso jan. 2023.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4, Emissions on livestock and manure management. Published: IPCC, Switzerland, 2006c. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso jan. 2023.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2, Energy. Published: IPCC, Switzerland. 2006b. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Acesso em jan. 2023.

JEONG, D. *et al.* A case study of CO₂ emissions from beef and pork production in South Korea. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 65, n. 2, p. 427, 2023.

KAPARAJU, P.; RINTALA, J. Mitigation of greenhouse gas emissions by adopting anaerobic digestion technology on dairy, sow and pig farms in Finland. **Renewable Energy**, v. 36, n. 1, p. 31-41, 2011.

LASO, J. *et al.* Finding an economic and environmental balance in value chains based on circular economy thinking: An eco-efficiency methodology applied to the fish canning industry. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 133, p. 428-437, 2018.

LIJÓ, L. *et al.* Eco-efficiency assessment of farm-scaled biogas plants. **Bioresource technology**, v. 237, p. 146-155, 2017.

LIPPI, I. C. C. *et al.* Effects of probiotic supplementation for piglets in a nursery: a meta-analysis of controlled randomized studies. **Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences**, v. 46, n. 1, p. 58-66, 2022.

LIPPI, I. C. C. *et al.* Global and Brazilian Scenario of Guidelines and Legislation on Welfare in Pig Farming. **Animals**, v. 12, n. 19, p. 2615, 2022.

MARAVEAS, C. *et al.* Application of bio and nature-inspired algorithms in agricultural engineering. **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 30, n. 3, p. 1979-2012, 2023.

MELSE, R. W.; VERDOES, N. Evaluation of four farm-scale systems for the treatment of liquid pig manure. **Biosystems Engineering**, v. 92, n. 1, p. 47-57, 2005.

OLIVEIRA, J. D. *et al.* What is the contribution of piglet waste in the first week after weaning to greenhouse gas emissions? **Engenharia na Agricultura**, v. 30, n.9, p. 1-9, 2022.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. Generation and use of biogas in pig production units. Concórdia: Embrapa Poultry and Swine, *E-book*. 2006. 42p.

ONAT, N. C. *et al.* Systems thinking for life cycle sustainability assessment: A review of recent developments, applications, and future perspectives. **Sustainability**, v. 9, n. 5, p. 706, 2017.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Transformando nosso mundo: A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável das Nações Unidas**. Nova Iorque, ONU, 2015.

PEDERSEN, S. Heat and moisture production in growing-finishing pigs and broilers. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, 2018.

PERES, P. Com produção estimada em R\$ 16 bilhões, suinocultura é setor em evolução constante no estado. SEMADESC, out. 2020. Disponível em: <https://www.semagro.ms.gov.br/com-producao-estimada-em-r-16-bilhoes-suinocultura-e-setor-em-evolucao-constante-no-estado/>. Acesso em out. 2022.

PHILIPPE, F.-X.; NICKS, B. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 199, p. 10-25, 2015.

PIETRAMALE, R. T. R. *et al.* How much the reproductive losses of sows can be impacting the carbon footprint in swine production? **Livestock Science**, v. 250, p. 104594, 2021.

PIETRAMALE, R. T. R. **Impacto dos índices reprodutivos na Ecoeficiência da Produção de Suínos Terminados em Sistemas Confinados**. 2020. 98 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2020.

PIVA, J. H.; GONÇALVES, M. D. O sistema *wean-to-finish*. In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*, p. 863-844.

PLUSKE, J. R. *et al.* Associations between gastrointestinal-tract function and the stress response after weaning in pigs. **Animal Production Science**, v. 59, n. 11, p. 2015-2022, 2019.

RAMÍREZ, PKS. **Análise de Métodos de Alocação Utilizados em Avaliação do Ciclo de Vida**. 2009. 138p. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RIGOLOT, C. *et al.* Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part I: animal excretion and enteric CH₄, effect of feeding and performance. **Animal**, v. 4, n. 8, p. 1401-1412, 2010.

RIGOLOT, C. *et al.* Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. **Animal**, v. 4, n. 8, p. 1413-1424, 2010.

ROHR, S. A. Biodigestores, créditos de carbono e mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*. p. 821-826.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos**. Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais. 4ª ed. Viçosa, MG, 2017. 488 p.

RUIZ, U. S. *et al.* Enzyme complex supplementation in different nutrient levels diets on pigs feces excretion and anaerobic digestion. **Scientia Agricola**, v. 74, p. 180-188, 2017.

SAVIOTTI, B. *et al.* **Suinocultura de Baixa Emissão de Carbono: Tecnologias de Produção mais limpa e Aproveitamento econômico dos Resíduos da Produção de Suínos**. 1ª Ed. MAPA, 2016. *E-book*. 96 p.

SEMADESC/MS. Resolução nº 23, 06 de Junho 06 de 2023. Departamento de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação do Mato Grosso do Sul – Brasil.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. **Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal**. 6. ed. São Paulo: Sindirações, 2023.

SOMMER, S. G.; P. *et al.* Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 69, p. 143-154, 2004.

SOMMERFELT, I. M. *et al.* Environmental temperature effect on the gestation sows and related economic impacts. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 9, n. 3, p. 450-464, 2015.

SONESSON, U. G. *et al.* Paths to a sustainable food sector: integrated design and LCA of future food supply chains: the case of pork production in Sweden. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, p. 664-676, 2016.

THOMA, G. *et al.* National life cycle carbon footprint study for production of US swine. National Pork Board, Des Moines, IA. Disponível em: <https://porkcdn.s3.amazonaws.com/sites/all/files/documents/NPB%20Scan%20Final%20-%20May%202011.pdf>. Acesso em ago. 2023.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate. **Change Methane recovery in animal manure management systems**. Clean Development Mechanism, version 19.0. 2012. Disponível em: <http://cdm.unfccc.int/about/index.html>. Acesso jul. 2023.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, **CDM Methodologies Booklet** - 14th edition Information updated as of EB 116 - December 2022. Disponível em https://cdm.unfccc.int/methodologies/documentation/meth_booklet.pdf. Acesso em jul. 2023.

USDA – United State Department of Agriculture. **Livestock and Poultry: World Markets and trade**. 2023. Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/livestock-and-poultry-world-markets-and-trade>. Acesso jul. 2023.

VALENTIM, J. K. *et al.* Meta-analysis of relationship between weaning age and daily weight gain of piglets in the farrowing and nursery phases. **South African Journal of Animal Science**, v. 51, n. 3, p. 332-338, 2021.

WANG, L. *et al.* Organic matter, a critical factor to immobilize phosphorus, copper, and zinc during composting under various initial C/N ratios. **Bioresource technology**, v. 289, p. 121745, 2019.

WILFART, A. *et al.* ECOALIM: a dataset of environmental impacts of feed ingredients used in French animal production. **PloS one**, v. 11, n. 12, p. e0167343, 2016.

ANEXO 1

Tabela A.1 – Emissões de CO₂ eq. por fator de emissão na fase de pós-desmame.

RAÇÃO 1							
Variável	N	Média	DesvPad	Variância	CoefVar	Mínimo	Máximo
CO ₂ eq respiração	7	1,46E-04	4,802E-05	2,31E-09	32,7938320	9,946E-05	2,164E-04
CO ₂ eq CH ₄ entérico	7	0,0080681	0,0028141	7,92E-06	34,8793943	0,0046026	0,0128286
CO ₂ eq process. de rações	7	0,3992290	0,1089921	0,0118793	27,3006484	0,2568110	0,5287810
CO ₂ eq transporte de leitões	7	0,1838664	0,1524737	0,0232482	82,9263565	0,0763597	0,5106552
CO ₂ eq transporte de rações	7	0,0150015	0,0123665	0,0001529	82,4348885	0,0019573	0,0327273
CO ₂ eq kWh process. rações	7	1,761E-06	7,387E-07	5,456E-13	4,195E+01	8,634E-07	2,847E-06
CO ₂ eq kWh instalações granja	7	2,571E-06	8,288E-07	6,869E-13	3,224E+01	1,812E-06	3,789E-06
CO ₂ eq aquecimento	7	0,4037701	0,1247808	0,0155703	30,9039309	0,2829248	0,5822437
CO ₂ eq resíduo in natura	7	2,3782851	0,7757249	0,6017491	32,6169840	1,2330997	3,6131428
CO ₂ eq dejetos sem tratamento	7	0,3673440	0,1791243	0,0320855	48,7620096	0,1285321	0,5595053
CO ₂ eq dejetos pós digestor	7	0,1193431	0,0566056	0,0032042	47,4309861	0,0430147	0,1788872
CO ₂ eq digestato após L2	7	0,0317076	0,0154613	0,0002391	48,7620293	0,0110943	0,0482941
CO ₂ eq digestato final	7	0,0404052	0,0197024	0,0003882	48,7620096	0,0141376	0,0615416
CO₂ eq. total	7	3,5394216	0,8942599	0,7997008	25,2657068	2,1990888	4,8437859

RAÇÃO 2							
Variável	N	Média	DesvPad	Variância	CoefVar	Mínimo	Máximo
CO ₂ eq respiração	7	4,623E-05	1,233E-05	1,520E-10	26,669923	3,018E-05	6,579E-05
CO ₂ eq CH ₄ entérico	7	6,262E-03	1,917E-03	3,673E-06	30,608094	4,016E-03	9,076E-03
CO ₂ eq process. rações	7	1,491E-01	4,732E-02	2,239E-03	31,728569	9,378E-02	2,168E-01
CO ₂ eq transporte de rações	7	3,381E-03	1,343E-03	1,802E-06	39,704279	1,361E-03	5,261E-03
CO ₂ eq kWh process. rações	7	2,316E-06	1,262E-06	1,593E-12	54,495774	7,322E-07	3,868E-06
CO ₂ eq kWh instalações granja	7	9,874E-07	2,331E-07	5,430E-14	23,607861	6,964E-07	1,347E-06
CO ₂ eq aquecimento	7	6,557E-02	2,083E-02	4,340E-04	31,772114	4,108E-02	9,534E-02
CO ₂ eq resíduo in natura	7	3,167E+00	1,864E+00	3,475E+00	58,860696	1,206E+00	6,160E+00
CO ₂ eq dejetos sem tratamento	7	2,846E-01	1,675E-01	2,805E-02	58,860696	1,083E-01	5,534E-01
CO ₂ eq dejetos pós digestor	7	7,739E-02	4,556E-02	2,076E-03	58,879994	2,946E-02	1,505E-01
CO ₂ eq digestato após L2	7	2,184E-02	1,285E-02	1,652E-04	58,860705	8,315E-03	4,247E-02
CO ₂ eq digestato final	7	7,403E-03	4,358E-03	1,899E-05	58,860696	2,819E-03	1,440E-02
CO₂ eq. total	7	3,490850	1,992249	3,969057	57,070605	1,383947	6,678193

RAÇÃO 3							
Variável	N	Média	DesvPad	Variância	CoefVar	Mínimo	Máximo
CO ₂ eq respiração	7	2,244E-05	4,800E-06	2,304E-11	21,384881	1,464E-05	2,797E-05

CO ₂ eq CH ₄ entérico	7	4,678E-03	6,510E-04	4,239E-07	13,915704	3,763E-03	5,747E-03
CO ₂ eq process. rações	7	1,234E-01	1,705E-02	2,908E-04	13,817338	9,597E-02	1,472E-01
CO ₂ eq transporte de rações	7	1,695E-03	4,901E-04	2,402E-07	28,923126	9,794E-04	2,444E-03
CO ₂ eq kWh process. rações	7	1,065E-06	2,787E-07	7,770E-14	26,155835	5,361E-07	1,398E-06
CO ₂ eq kWh instalações granja	7	5,923E-07	1,095E-07	1,200E-14	18,488592	4,241E-07	7,292E-07
CO ₂ eq resíduo in natura	7	2,971E-01	8,250E-02	6,806E-03	27,768331	1,891E-01	4,410E-01
CO ₂ eq dejetos sem tratamento	7	1,025E-01	2,846E-02	8,102E-04	27,768212	6,523E-02	1,521E-01
CO ₂ eq dejetos pós digestor	7	3,159E-02	7,553E-03	5,704E-05	23,907286	1,823E-02	3,972E-02
CO ₂ eq digestato após L2	7	4,025E-03	1,118E-03	1,249E-06	27,768214	2,561E-03	5,974E-03
CO ₂ eq digestato final	7	3,037E-03	8,433E-04	7,111E-07	27,768212	1,932E-03	4,507E-03
CO₂ eq. total	7	0,4625305	0,1064713	0,0113361	23,0193043	0,3108792	0,6412810

RAÇÃO 4							
Variável	N	Média	DesvPad	Variância	CoefVar	Mínimo	Máximo
CO ₂ eq respiração	7	1,791E-05	4,263E-06	1,817E-11	23,803614	1,364E-05	2,508E-05
CO ₂ eq CH ₄ entérico	7	1,355E-02	2,377E-03	5,650E-06	17,547250	1,170E-02	1,864E-02
CO ₂ eq process. rações	7	4,680E-02	1,098E-02	1,207E-04	23,472502	3,458E-02	6,130E-02
CO ₂ eq transporte de rações	7	4,114E-03	7,380E-04	5,446E-07	17,939656	3,023E-03	5,037E-03
CO ₂ eq kWh process. rações	7	7,009E-06	1,592E-06	2,534E-12	22,711273	4,212E-06	8,657E-06
CO ₂ eq kWh instalações granja	7	5,833E-07	1,395E-07	1,950E-14	23,914988	4,457E-07	8,336E-07
CO ₂ eq resíduo in natura	7	2,707E+00	1,049E+00	1,101E+00	38,746921	1,967E+00	4,995E+00
CO ₂ eq dejetos sem tratamento	7	5,595E-01	2,168E-01	4,699E-02	38,745044	4,064E-01	1,032E+00
CO ₂ eq dejetos pós digestor	7	1,614E-01	6,259E-02	3,918E-03	38,782131	1,172E-01	2,979E-01
CO ₂ eq digestato após L2	7	9,782E-03	3,790E-03	1,437E-05	38,745124	7,106E-03	1,805E-02
CO ₂ eq digestato final	7	1,796E-02	6,960E-03	4,844E-05	38,745044	1,305E-02	3,314E-02
CO₂ eq. total	7	2,9431294	1,1265623	1,2691425	38,2777011	2,1406261	5,3953909

Fonte: dados da pesquisa.

Variável/ Parâmetro	Coeficiente	Referência	Unidade
B ₀	0,29	IPCC (2006a)	m ³ CH ₄ (kg VS excreted) ⁻¹
MCF	0,42	IPCC (2006a)	kg·kg ⁻¹
B _{CH4}	0,656	Primary data	m ³ ·m ⁻³
D _{CH4}	0,717	Hamelin <i>et al.</i> (2011)	kg·m ⁻³
L _b	0,01	Hamelin <i>et al.</i> (2011)	kg·kg ⁻¹
n _f	0,9	Cherubini <i>et al.</i> (2015)	kg·kg ⁻¹
CF _{CH4}	28	IPCC (2019)	kg CO ₂ eq.

D_b	1,0828	Primary data	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
EL_{ef}	0,25	Oliveira e Higashi (2006)	%
LHV_{el}	6,46	Hamelin <i>et al.</i> (2011)	$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$
HE_{ef}	0,65	Oliveira e Higashi (2006)	%
LHV_{he}	23,36	Hamelin <i>et al.</i> (2011)	$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$
SH_{DM}	3,0	Hamelin <i>et al.</i> (2011)	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$
WM	Total manure minus the DM content	Primary data	kg
SH_{WM}	4,2	Hamelin <i>et al.</i> (2011)	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$

Tabela A.2 – Variáveis e parâmetros relacionados as emissões de N e seus valores.

Variável/ Parâmetro	Coeficiente	Referência	Unidade
MR_h	0,185	Hutchings <i>et al.</i> (2013)	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
MR_s	0,350	Hutchings <i>et al.</i> (2013)	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
MR_b	0,846	Hutchings <i>et al.</i> (2013)	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
ON_0	2,16	Tavares <i>et al.</i> (2014b)	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
e_1	0,25	Sommer <i>et al.</i> (2006a)	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
e_2	0,085	Basset-Mens; van der Werf (2005) ^a	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
e_3	0	IPCC (2006a) ^b	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$

^a 0.05 $\text{kg NH}_3\text{-N (kg N)}^{-1}$.

^b 0.077 $\text{kg NH}_3\text{-N (kg N)}^{-1}$.

CAPÍTULO 3 – ARTIGO 2. AVALIAÇÃO DA ECOEFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO DE SUÍNOS PÓS-DESMAMADOS

RESUMO

Considerando a importância da suinocultura para o desenvolvimento rural e regional em diversos estados brasileiros e, a eminente necessidade em tornar esta produção mais sustentável, torna-se primordial a realização de estudos que busquem interligar avaliações de desempenho ambiental ao desempenho econômico da produção de suínos. Devido a iminência desta temática nas cadeias pecuárias, sobretudo na suinícola, este estudo buscou avaliar a Ecoeficiência do processo produtivo de uma propriedade produtora de leitões pós-desmamados. O desempenho ambiental foi estimado por meio de uma Avaliação de Ciclo de Vida que avaliou o potencial de mudança climática e os principais pontos críticos da produção. Já o desempenho econômico-financeiro avaliado pelo Valor Econômico da Atividade. Assim, avaliou-se a Ecoeficiência de um ano de produção de uma granja de creche e 7 lotes produtivos. Em geral, o sistema avaliado apresentou Ecoeficiência negativa. A obtenção de um EVA positivo deve ser uma busca de longo prazo da atividade, com o objetivo de reinvestimento no negócio no intuito de custear tecnologias e manejos mitigadores de impactos ambientais, proporcionando assim a esperada Ecoeficiência da produção. Observou-se que a combinação dos indicadores ganho de peso e dias na fase, como um marcador de desempenho, tem potencial de melhorar a Ecoeficiência produtiva. Neste sentido, encontrar o ponto de equilíbrio entre estes dois indicadores deve ser o objetivo da produção de leitões desmamados.

Palavras-chave: bioeconomia, agronegócio, produção animal, valor econômico agregado, impacto ambiental.

ECO-EFFICIENCY EVALUATION OF POST-WEANING SWINE

ABSTRACT – Considering the importance of pig farming for rural and regional development in several Brazilian states and the eminent need to make this production more sustainable, it is essential to carry out studies that seek to link environmental performance assessments with the economic performance of pig production. Given the immediacy of this issue in livestock chains, especially in pig production, this study sought to evaluate the eco-efficiency of the production process on a farm producing post-weaned piglets. Environmental performance was estimated by means of a Life Cycle Assessment which evaluated the potential for climate change and the main critical points of production. Economic and financial performance was assessed using the Economic Value of the Activity. The Eco-efficiency of one year's production of a nursery farm and 7 production flocks was evaluated. In general, the system evaluated showed negative eco-efficiency. Obtaining a positive EVA should be a long-term pursuit for the activity, with the aim of reinvesting in the business in order to fund technologies and management that mitigate environmental impacts, thus

providing the expected Eco-efficiency of production. It was observed that the combination of the indicators weight gain and days in phase, as a performance marker, has the potential to improve production eco-efficiency. In this sense, finding the balance between these two indicators should be the goal of weaned piglet production.

Keywords: Bioeconomic, swine farming, agribusiness, animal production, environmental impact, economic value added.

1. Introdução

A crescente demanda mundial por alimentos prevista para as próximas décadas tem exigido mudanças nos sistemas produtivos, a fim de aliar o aumento de produtividade, a redução no consumo de recursos naturais e no uso de terras agricultáveis e a mitigação dos impactos ambientais. Assim, diversos países têm unido esforços na condução de economias de baixa emissão de carbono (COP26, 2021), dentre eles o Brasil (MAPA, 2021).

Neste panorama, as cadeias de produção de proteína animal têm o desafio de aumentar sua produção no intuito de atender o crescimento dessa demanda. Desta maneira, os sistemas de produção intensivo de aves e suínos cumprem papel fundamental neste mercado, pois são as carnes mais consumidas atualmente, em primeiro e segundo lugares, respectivamente (ABPA, 2021; FAO, 2021).

A suinocultura brasileira tem apresentado um crescimento expressivo tanto na produção quanto nas exportações, com aumento em 46% de seu Valor Bruto de Produção nos últimos 5 anos, consolidando-se como um setor relevante dentro do agronegócio brasileiro (ABPA, 2022). Assim, a produção de suínos no país tem aumentado consistentemente, impulsionada pelo aumento da demanda interna e externa por carne suína (SEBRA, 2016).

Destarte, torna-se imprescindível o aprimoramento dos sistemas produtivos de produção animal, visando uma maior eficiência na aplicação de recursos, com menor impacto ambiental e maior valor agregado da produção. Nas últimas décadas, observa-se uma melhora nos índices produtivos dos sistemas de produção de animais confinados, o que indica de certo modo a sua eficiência, a exemplo dos índices médios de conversão alimentar animal cada vez menores, como no caso da suinocultura (SEBRAE, 2016).

No entanto, a produção de suínos causa preocupações quanto aos resíduos gerados e seus materiais e gases com potencial poluente. Assim, diversos trabalhos têm buscado na última década avaliar o impacto ambiental da suinocultura (Tallaksen *et al.*, 2020; Haque; Liu, 2019; Andretta *et al.*, 2018; McAuliffe *et al.*, 2016; Cherubini *et al.*, 2015a,b; Gopalan *et al.*, 2013; Pelletier *et al.*, 2010; Monteiro *et al.*, 2017; Pietramale, 2020; Alencar *et al.*, 2019).

Porém, verifica-se que os trabalhos têm evidenciado sobremaneira o desempenho ambiental, desconsiderando a agregação de valor da produção, fato que possibilita a geração de riqueza para que se possa aumentar a taxa de reinvestimento no negócio. Neste sentido, a abordagem da Ecoeficiência compreende uma análise que quantifica a criação de valor econômico sobre o impacto ambiental causado por uma atividade produtiva.

Assim, dentre as pesquisas citadas, apenas Pietramale (2020) e Alencar *et al.* (2019) realizaram estudos avaliando a Ecoeficiência para a produção de suínos. Martinelli *et al.* (2020) avaliaram a Ecoeficiência de diferentes sistemas de produção de frangos (confinados e orgânicos) no Sul do Brasil, entrelaçando o resultado do Valor Econômico Agregado aos resultados da Avaliação de Ciclo de Vida. Porém, tais autores ressaltam que a avaliação de Ecoeficiência na produção animal ainda é incipiente.

Consoante a dificuldade de um consenso sobre como mensurar o valor que a atividade agrega, verifica-se que poucos estudos de temática agrícola se dedicaram a realizar tal tarefa (Cucagna; Goldsmith, 2018). Na suinocultura não foram encontrados, até o momento, estudos publicados que buscaram mensurar a agregação de valor da suinocultura sob a abordagem econômico-financeira.

Neste sentido, considerando a importância da suinocultura para o desenvolvimento rural e regional em diversos estados brasileiros, torna-se primordial a realização de estudos que busquem interligar avaliações de desempenho ambiental ao desempenho econômico da produção de suínos, proporcionando assim o crescimento de forma racional e sustentável da atividade. Diante do exposto, e devido a iminência desta temática nas cadeias pecuárias, sobretudo na suinícola, este estudo buscou avaliar a ecoeficiência do processo produtivo de uma propriedade produtora de leitões pós-desmamados.

2 Referencial teórico

2.1 Indicadores de desempenho econômico-financeiro aplicados à agropecuária

Este referencial teórico buscou elucidar sobre os principais indicadores, ou medidas de desempenho, que são empregados para identificar o valor agregado da produção agroalimentar, sob a ótica econômico-financeira.

Coltrain *et al.* (2000) destacam que o termo valor adicionado é frequentemente mencionado em discussões sobre rentabilidade dos produtos alimentícios. No entanto, para Cucagna e Goldsmith (2018) embora o conceito de criação/adição e captura de valor ao longo da cadeia produtiva seja relevante ao agronegócio, os gestores e as pesquisas acadêmicas parecem não saber explicitamente definir e mensurar valor.

Em geral, a agregação de valor em termos agroalimentares é definida como o processo de mudar ou transformar um produto agrícola em um estado mais valioso, que o torne desejado pelos consumidores. Embora sua definição possa ser entendida como uma medida da atividade produtiva, a agregação de valor não deve apenas intermediar uma atividade, mas também ser rentável (Coltrain *et al.*, 2000; Cucagna; Goldsmith, 2018). Assim, a literatura financeira introduz maior especificidade a este conceito, focando-se na utilização do capital e eficiência de sua aplicação (Cucagna; Goldsmith, 2018).

Vinaya Kumar *et al.* (2017) destacaram que estudos anteriores usaram vários indicadores para medir o desempenho econômico, dentre os quais renda bruta, receita agrícola líquida e variáveis de desempenho financeiro. A relação benefício/custo foi apontada como a medida mais empregada para quantificar os resultados financeiros. No entanto, tais autores advertiram que esses fatores apresentam deficiências inerentes, como uma interpretação errônea do desempenho financeiro dos agricultores sempre que houver subutilização de recursos ou períodos de flutuações de preços. Deste modo, este estudo utilizou a receita líquida, calculada pela receita bruta total subtraída as despesas totais.

Outros autores como Mishra *et al.* (2009) propuseram o retorno sobre os ativos (ROA), como uma medida de desempenho bastante utilizada no setor

agrícola, o qual representa a capacidade de um negócio em gerar lucro com os ativos que possui. Já Vinaya Kumar *et al.* (2017) aplicaram a Receita Líquida para medir o desempenho econômico de agricultores.

Informações contábeis tradicionais, como retorno sobre o patrimônio líquido, lucro por ação, lucro operacional líquido após impostos (NOPAT) e retorno sobre o investimento são frequentemente usadas como indicadores de criação de valor (Cucagna; Goldsmith, 2018). Porém, de acordo com Sharma e Kumar (2010) (in Cucagna; Goldsmith, 2018) estas medidas apresentam limitações, pois não captam o valor adicionado e a eficiência na criação de valor. Em decorrência disso, um número cada vez maior de empresas passou a medir seu desempenho econômico por meio do Valor Econômico Agregado nos últimos anos (Cucagna; Goldsmith, 2018).

Conforme discorrido até este ponto, torna-se evidente que os resultados e indicadores de desempenho econômico-financeiro devem auxiliar a gestão do empreendimento agropecuário e, nortear a tomada de decisão do produtor rural. Na literatura econômica, de acordo com Assaf Neto (2018), medidas de desempenho referem-se a resultados financeiros fundamentais de avaliação de um negócio. Basicamente, estas medidas estão distribuídas em três grupos:

- 1) Resultado operacional: ativos formados pela atividade principal da empresa, correspondendo ao resultado operacional (EBITDA) e ao resultado operacional líquido (NOPAT);

- 2) Indicadores de desempenho e retorno: estes indicadores podem não considerar o custo de oportunidade (taxa de desconto) do capital investido, como o Retorno do Investimento (*Return on Investment* – ROI), medido pela relação entre o NOPAT e o investimento realizado, e a Taxa de Crescimento do NOPAT. Contudo, há os indicadores que consideram o custo de oportunidade/capital, os quais serão descritos logo após a descrição do terceiro grupo, por requerer maior detalhamento.

- 3) Retorno sobre o Patrimônio Líquido (ROE): indicador que mede a rentabilidade do capital próprio investido no negócio, sendo aferido pela relação entre o Lucro Líquido (LL) e o Patrimônio Líquido (PL), revelando qual o retorno obtido a cada unidade monetária (\$1,00) de recurso próprio investido. Neste grupo também podem ser incluídos: o Grau de Alavancagem Financeira (GAF),

o qual é medido pela relação entre o ROE e o ROI; a Taxa de Crescimento do Lucro Líquido; a Taxa de Reinvestimento do Lucro Líquido; e, a Taxa de reinvestimento de Patrimônio Líquido (Assaf Neto, 2018).

No grupo dos indicadores de desempenho e retorno que consideram uma taxa de desconto ou Taxa Mínima de Atratividade (TMA), destacam-se:

a) Valor Presente Líquido (VPL): corresponde ao valor presente das parcelas futuras de entradas no caixa, descontadas a uma taxa de desconto (Damodaran, 2014). É uma técnica utilizada para avaliar a aceitação de um projeto de investimento, utilizando os fluxos de caixa incrementais. Para ser aceito, o VPL deverá ser maior que zero (Assaf Neto, 2021). Assim, o VPL é a diferença entre o valor presente de seus fluxos de caixa (FC_t) e o valor do investimento inicial de um projeto (I_0), descontados a taxa mínima de atratividade do empreendimento (r). Esta técnica é muito utilizada para o cálculo de técnicas mais elaboradas de avaliação econômica, como na mensuração do Valor Econômico Agregado.

b) Taxa interna de retorno (TIR): é a taxa em que o VPL se iguala a zero. O VPL é igual a 0 quando os valores futuros, aplicados a uma determinada taxa de desconto, resultam em um valor presente de fluxo de caixa igual ao investimento inicial (I_0), ou seja, no período 0 (n_0). Portanto, o projeto só deverá ser aceito se a TIR for maior que o custo do capital (Assaf Neto, 2018).

c) Índice de lucratividade (IL): mensurado pela razão entre o valor presente das entradas e as saídas de fluxo de caixa. O resultado deste índice deverá ser >1 para que seja considerado viável, pois os benefícios serão maiores que os custos considerando a TMA do negócio, logo, o VPL neste caso será positivo (Assaf Neto, 2018).

d) Valor Econômico Adicionado (*Economic Value Added* - EVA): esta métrica permite mensurar o valor gerado acima do custo de oportunidade considerado, ou seja, o valor agregado com a atividade econômica, sendo assim considerado uma medida de desempenho, pois seu resultado é o lucro econômico residual restante após a dedução de todos os custos e encargos de capital (próprio ou de terceiros) (Assaf Neto, 2021). Para Damodaran (2014), esta medida representa o valor excedente em dólar que o investimento retornou à empresa. A expressão genérica do EVA é dada por:

Equação 1

$$EVA = NOPAT - (\text{Custo de Oportunidade do Capital} \times \text{Capital Total Investido})$$

Se o valor resultado do EVA for maior que 0, conclui-se que o seu valor econômico é maior que o capital investido em ativos, criando riqueza econômica. EVA igual a 0 indica que o capital investido gerou lucro dentro da expectativa fixada. Ao passo que o resultado negativo indica que a atividade destruiu valor para o investidor e/ou empresário.

Apresentadas as principais técnicas de avaliação de desempenho econômico-financeiro aplicáveis às atividades agropecuárias, o próximo item abordou a metodologia de avaliação de Ecoeficiência do sistema produtivo.

2.2 Avaliação de Ecoeficiência do sistema de produção

Em estudos de avaliação de sustentabilidade da exploração agrícola esta abordagem tem sido amplamente aplicada (Stępień *et al.*, 2021; Grassauer *et al.*, 2021), sobretudo em fazendas da Europa Central e Oriental, devido às políticas agrícolas e pagamentos ambientais (Stępień *et al.*, 2021). Na Nova Zelândia, Müller *et al.* (2015) utilizaram os resultados da pegada de carbono da produção orgânica e integrada de kiwis para combinar com os resultados das avaliações ambientais e, assim, medir e comparar a Ecoeficiência dos diferentes sistemas de produção.

A avaliação de Ecoeficiência é uma abordagem aprimorada de sustentabilidade, pois alia indicadores de desempenho ambiental aos indicadores de desempenho econômico da atividade produtiva. Desta forma, quanto maior o valor do indicador obtido, melhor é o desempenho econômico-financeiro por unidade de impacto ambiental (Müller *et al.*, 2015). Simplificadamente, o conceito busca criar valor para o sistema produtivo através do produto com o mínimo impacto ambiental. Sendo assim, obtêm-se os indicadores de Ecoeficiência pela seguinte relação:

Equação 2

$$\text{Ecoeficiência} = \frac{\text{Desempenho Econômico}}{\text{Impacto Ambiental}}$$

Por meio desta análise, obtêm-se informações de *benchmarking* de sustentabilidade de produtos e sistemas produtivos, enquanto avalia e monitora

o desempenho econômico e ambiental dos mesmos (Abdella *et al.*, 2021). Assim, para mensuração da Ecoeficiência, os resultados da ACV podem ser submetidos aos resultados do EVA do produto (Martinelli *et al.*, 2020).

As normas da ISO 14045 definem que a comparação de resultados da avaliação de ecoeficiência deve ser baseada nos indicadores das categorias de impacto ambiental previstas no escopo (ABNT, 2014c). Assim, em avaliações do potencial de aquecimento global, por exemplo, com a abordagem econômica do valor adicionado, o indicador de ecoeficiência será $\$EVA / kg CO_{2eq.}$, expressando o valor econômico que contribui para o aquecimento global (Martinelli *et al.*, 2020).

No entanto, há outros métodos para avaliar a Ecoeficiência. Baum e Bieńkowski (2020) apuraram o custo de ciclo de vida como indicador de desempenho econômico e resultados da ACV para mensurar a Ecoeficiência de fazendas de produção vegetal (milho e colza) e animal da Polônia. Há modelagens que utilizam Análise Envoltória de Dados, para avaliar desempenho produtivo, e ACV (Lijó *et al.*, 2017; Stępień *et al.*, 2021; Grassauer *et al.*, 2021).

A ISO 14045 estabelece as normas para desenvolvimento de avaliação de Ecoeficiência. Assim, similarmente a ACV, a avaliação de Ecoeficiência deve seguir algumas fases (Figura 1). Na primeira, define-se o objetivo e escopo do trabalho. A segunda fase, avaliação ambiental, realiza-se em conformidade com as ISO 14040 e 14044. A terceira fase avalia o valor gerado pelo sistema de produto. Na quarta fase, de posse dos resultados da segunda e terceira fase, mensura-se a Ecoeficiência e adicionalmente, pode-se submeter à uma análise de sensibilidade. E, por fim, na última fase elabora-se as conclusões e recomendações de acordo com os resultados obtidos (ABNT, 2014c).

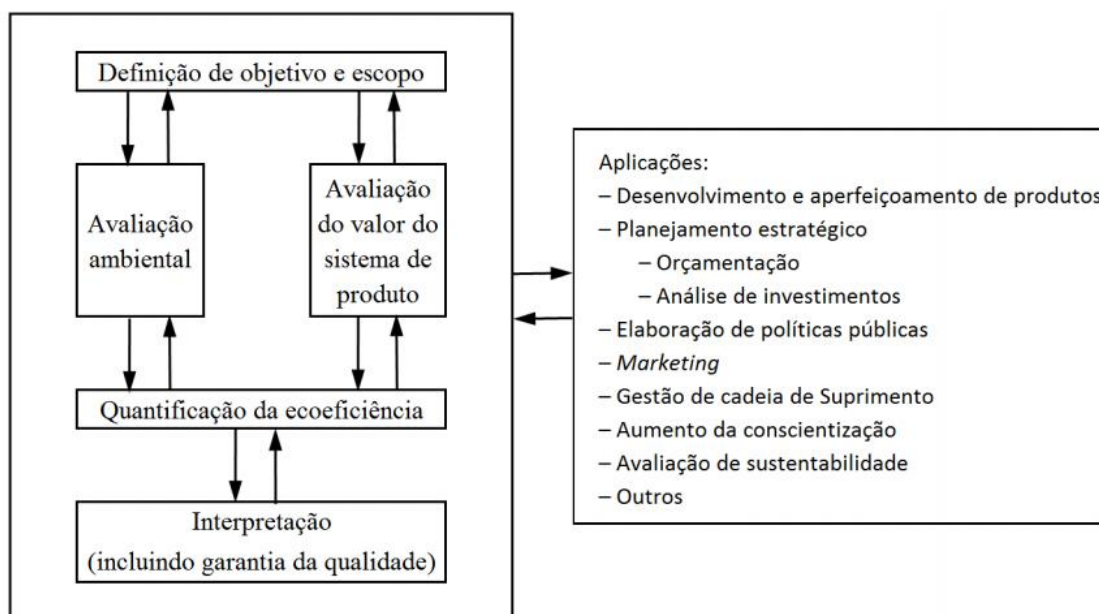


Figura 1 - Fases da avaliação de Ecoeficiência.

Fonte: ABNT NBR ISO 14045 (2014c).

Com a finalidade de atingir o objetivo proposto, a abordagem de Ecoeficiência utilizada neste trabalho foi a que mensura o valor econômico agregado por kg de CO₂ eq. emitido pela atividade produtiva.

3. Material e métodos

O presente estudo analisou a Ecoeficiência da produção confinada de leitões na fase pós-desmame, entre 5 a 30 kg, e com permanência de 45 a 50 dias na fase. Para estimar os impactos ambientais, utilizou-se os resultados das emissões de GEE da Avaliação de Ciclo de Vida do processo produtivo. E para estimar o desempenho econômico foi mensurado o Valor Econômico Agregado da produção. Foram avaliados 7 ciclos produtivos, correspondente a um ano de produção.

3.1 Caracterização do local de estudo

A granja fornecedora dos dados e do material para análises laboratoriais está localizada no cone-sul de Mato Grosso do Sul, uma região rica em

produção suinícola onde predominam sistemas integrados de produção de carne suína.

A propriedade conta com duas unidades produtivas, as quais são formadas por quatro galpões cada, distante cerca de 32 km da unidade fabril dos alimentos destinados aos animais. As instalações são de alvenaria com cortinas laterais, fundações de concreto, com automação do sistema de distribuição de água e ração, ventilação de pressão negativa e sistema de iluminação em Diodo Emissor de Luz (LED). As dimensões de cada galpão são de 12,4 x 85 m, com capacidade para 2.700 animais cada.

O piso dos galpões é do tipo suspenso, de plástico e com superfície vazada, impossibilitando que os animais fiquem em contato com os dejetos. Os fossos de armazenamento interno dos resíduos (dejetos, urina, água e restos de ração) encontram-se sob o piso e tem profundidade de 40 cm, com declive 0,5% para drenagem para as laterais dos galpões. A linha de alimentação fica a 1,7 m do centro do galpão.

O tratamento dos resíduos ocorre em lagoas de estabilização impermeabilizadas com geomembrana. O processo é dividido em 3 lagoas, sendo a primeira coberta com biodigestor, seguidas de outras duas descobertas, ambas com dimensões de 15 x 36 x 3,5 m de profundidade.

3.2 Ecoeficiência

A avaliação da Ecoeficiência do sistema produtivo foi realizada de acordo com os princípios e normas da ISO 14045 (ABNT, 2014c). A fase de avaliação ambiental segue em conformidade com as ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2014ab). Assim, primeiramente definiu-se o objetivo e escopo do sistema. Na segunda fase, para a avaliação ambiental elaborou-se o Inventário de Ciclo de Vida e a Avaliação do inventário de Ciclo de Vida, para estimar o potencial de aquecimento global. Posteriormente, a terceira fase corresponde à avaliação de desempenho econômico do sistema, o qual foi realizado pela abordagem do Valor Econômico Agregado. Por fim, os resultados econômicos foram submetidos aos ambientais para indicar a Ecoeficiência do sistema.

3.2.1 Objetivo e escopo

Neste estudo a Ecoeficiência da produção de leitões na fase pós-desmame foi analisada utilizando o resultado do Valor Econômico Agregado sobre o desempenho ambiental da atividade, ambos apurados para a unidade funcional (1kg de PV de leitão), de acordo com a metodologia fundamentada pelo *World Business Council for Sustainable Development – WBCSD* (2000) e já corroborada por outros autores como Martinelli *et al.* (2020) e Pietramale (2020).

3.2.2 Avaliação Ambiental - Avaliação de Ciclo de Vida

Objetivo e escopo da ACV

O objetivo desta Avaliação de Ciclo de Vida consistiu em estimar as emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), decorrentes da produção de suínos em fase pós-desmame, considerando-se a dieta dos animais e o tratamento de efluentes em uma granja com sistema confinado, climatizado e automatizado.

A unidade funcional (UF) foi 1kg de peso vivo (PV) de leitão pronto para ser enviado à fase de crescimento-terminação. Assim, a abordagem de ACV foi *cradle-to-farm gate* e todas as análises serão relativas à UF para todas as entradas e saídas no inventário do ciclo de vida. O limite temporal do estudo foi de um ano de produção.

Sistema de produto

O sistema de produto avaliado faz parte de um sistema de produção integrada verticalmente. Além de indicadores relacionados à produção animal, tais como Peso Vivo de entrada (PVe); Peso Vivo de saída (PVs); Ganho de Peso (GP) em kg de PV; Dias na ração; Consumo médio de ração; Tempo médio de permanência na fase de creche; e, Taxa de mortalidade (Tabela 1). Os dados de origem dos leitões desmamados que entraram na fase de creche dos lotes avaliados neste estudo estão dispostos na Tabela 2. No entanto, esta ACV foi realizada somente para a fase pós-desmame.

Tabela 1 – Indicadores e parâmetros zootécnicos da fase pós-desmame por tipo de dieta dos 7 lotes inventariados da granja avaliada referente a 2021.

Lotes	1	2	3	4	5	6	7	SD	Média
Ração 1									
Nº animais alojados	10786	5481,00	5319	10800	10797	10799	11478	2711	9351
PVe (kg)	5,2	4,91	5,04	5,31	5,350	5,29	5,07	0,16	5,17
MT (%)	0,42	0,44	0,21	0,26	0,34	0,29	0,40	0,09	0,34
GP (kg)	0,59	0,99	0,58	1,19	1,130	0,81	0,98	0,24	0,90
CR/kg GP (kg)	2,42	1,68	3,23	1,16	1,4	2,4	1,94	0,71	2,03
Ração 2									
MT (%)	0,39	0,64	0,32	0,68	0,59	0,60	0,60	0,14	0,55
GP (kg)	4,84	5,13	5,85	2,89	3,03	2,53	4,86	1,31	4,16
CR/kg GP (kg)	1,06	1,01	0,88	1,73	1,65	1,99	1,31	0,42	1,38
Ração 3									
MT (%)	0,37	0,57	0,81	0,96	1,03	1,75	0,54	0,46	0,86
PVs (kg)	17,12	16,86	20,41	16,3	17,5	15,55	16,63	1,55	17,20
GP (kg)	6,49	5,83	8,94	6,91	7,99	6,92	6,45	1,05	7,08
CR/kg GP (kg)	0,78	0,9	0,59	0,77	0,64	0,73	0,71	0,10	0,73
Ração 4									
MT (%)	1,59	2,78	1,12	0,60	1,17	1,41	1,71	0,68	1,48
Nº animais final	10490	5241	5189	10532	10463	10368	11109	2635	9056
PVs (kg)	25,17	27,82	28,46	28,31	27,72	29,82	30,06	1,62	28,19
GP (kg)	8,05	10,96	8,05	12,01	10,22	14,27	13,7	2,48	11,04
CR/kg GP (kg)	2,01	1,83	2,66	1,71	1,87	1,67	1,77	0,34	1,93
Total da fase									
MT total (%)	2,74	4,36	2,44	2,48	3,09	3,99	3,21	0,74	3,19
GP/dia (kg)	0,384	0,468	0,442	0,469	0,439	0,438	0,454	0,029	44,20%
GP (kg)	19,97	22,91	23,42	23,00	22,37	24,53	24,99	1,64	23,03
CR/kg GP (kg)	1,39	1,40	1,44	1,40	1,38	1,46	1,43	0,03	1,41
TMP	52	49	53	49	51	56	55	2,73	52

Fonte: dados do estudo.

Tabela 2 - Indicadores zootécnicos de origem da produção dos leitões desmamados.

Indicadores	Valores de desempenho
TP	89,83
PFA	2,48
VFA	34,80
PMN	1,27
DFA	31,69
PMD	5,46
kg de CO ₂ eq./kg desmamado	5,69

TP – Taxa de parto (%); PFA – Partos por fêmea por ano; VFA – Nascidos vivos por fêmea por ano; PMN – peso médio de nascimento dos leitões (Kg); DFA – Desmamados por fêmea por ano; PMD – Peso médio de desmame dos leitões (Kg); CO₂ eq. – Emissões de GEE/kg de GP.
Fonte: elaboração própria.

Necessitou-se também das informações relacionadas a produção dos 4 tipos de rações, que compõem o programa alimentar adotado no sistema avaliado, as quais foram formuladas e fornecidas por uma empresa brasileira do setor de nutrição de suínos localizada no Estado do Paraná. Foram desenvolvidas baseando-se nos teores médios nacionais de Proteína Bruta (PB) do Milho e Farelo de Soja do Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (SINDIRAÇÕES, 2023) e o percentual de PB da Farinha de Carne e do Farelo de Bolacha, das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno *et al.*, 2017) (Tabela 3).

Tabela 3 - Inventário de composição de 1 kg de ração para leitões em fase de pós-desmame.

	Unidad e	Ração 1	Ração 2	Ração 3	Ração 4
Entradas					
Milho (7,8% PB)	kg	0,196	0,300	0,577	0,655
Farinha de soja (45% PB)	kg	0,199	0,212	0,264	0,285
Farinha de Carne (45 - 50% PB)	kg	0,000	0,000	0,035	0,035
Óleo de soja	kg	0,000	0,016	0,036	0,016
Farelo de bolacha + núcleo	kg	0,551	0,420	0,025	0,009
Fósforo	kg	0,008	0,009	0,011	0,000
Lisina	kg	0,022	0,022	0,026	0,000
Metionina	kg	0,007	0,007	0,007	0,000
Treonina	kg	0,013	0,014	0,016	0,000
Triptofano	kg	0,004	0,000	0,004	0,000
Ração formulada	kg	1,000	1,000	1,000	1,000

Fonte: elaboração própria.

Limites de sistema, Alocação e Inventário do Ciclo de Vida

Os limites do sistema avaliado compreenderam todas as entradas e saídas dentro de cada etapa produtiva, iniciando na produção de ração, incluindo uso de combustível para transporte, culturas, produção de adubos, sementes, agroquímicos, emissão de óxido nitroso proveniente dos fertilizantes agrícolas, e processamento na fábrica de rações; percorrendo pelas etapas de criação dos leitões, incluindo o fornecimento de alimentos, uso de energia e o transporte associado ao sistema produtivo; e finalizando no sistema de tratamento dos dejetos, abrangendo os potenciais de emissões relacionadas ao carbono e nitrogênio, potencial de produção de biogás e energia elétrica, conforme demonstrado na Figura 2.

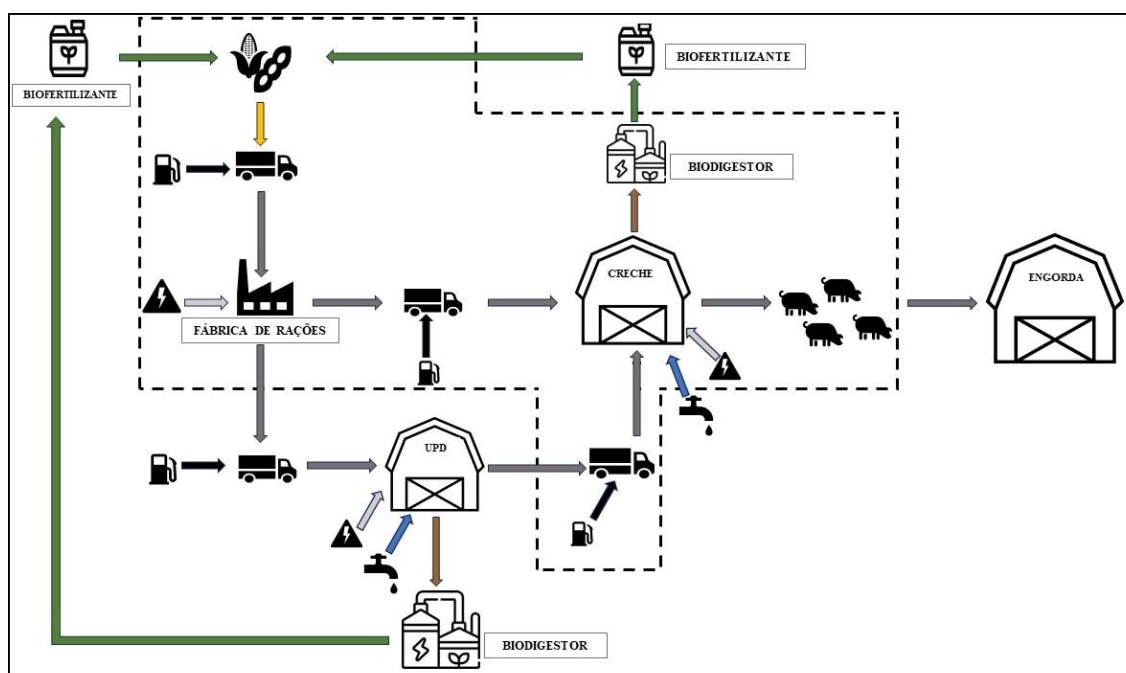


Figura 2 – Limites da produção do sistema avaliado - criação de leitões durante a fase pós-desmame.

Fonte: elaboração própria.

O procedimento de alocação aplicado neste trabalho foi a alocação em massa, de acordo com a UF determinada em 1 kg de GP.

A construção do Inventário de Ciclo de Vida e sua posterior avaliação (AICV) foram divididos em três fases, seguindo o exposto na Figura 1: i) Produção de ração; ii) Criação animal; e iii) Sistema de tratamento de dejetos.

Os dados levantados nestas etapas integraram a estrutura do ICV realizado, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Estrutura do Inventário de Ciclo de Vida para 1kg de Ganho de Peso de leitão na fase pós-desmame.

Produção de leitões pós-desmamados			
Entradas	Parâmetro	Un.	Fonte
Ração 1			
Leitão desmamado	PVe	kg	Dados primários
Combustível fóssil transporte leitão	l/cabeça	kg	Dados primários
Insumos alimentação	CR	kg	SINDIRAÇÕES (2023) Rostagno <i>et al.</i> (2017)
Energia processamento da ração	kWh/kg ração	kWh	Dados primários
Combustível fóssil transporte ração	l/kg ração	kg	Dados primários
Elettricidade granja	kWh/kg GP	kWh	Dados primários
Aquecimento a lenha	m ³ /kg GP	MJ	Dados primários
Ração 2			
kg GP / leitão na R1	GP	kg	Dados primários SINDIRAÇÕES (2023) Rostagno <i>et al.</i> (2017)
Insumos alimentação	CR	kg	Dados primários
Combustível fóssil transporte ração	l/kg ração	kg	Dados primários
Energia processamento da ração	kWh/kg ração	kWh	Dados primários
Elettricidade granja	kWh/kg GP	kWh	Dados primários
Aquecimento a lenha	m ³ /kg GP	MJ	Dados primários
Ração 3			
kg GP / leitão na R2	GP	kg	Dados primários SINDIRAÇÕES (2023) Rostagno <i>et al.</i> (2017)
Insumos alimentação	CR	kg	Dados primários
Combustível fóssil transporte ração	l/kg ração	kg	Dados primários
Energia processamento da ração	kWh/kg ração	kWh	Dados primários
Elettricidade granja	kWh/kg GP	kWh	Dados primários
Ração 4			
kg GP / leitão na R3	GP	kg	Dados primários SINDIRAÇÕES (2023) Rostagno <i>et al.</i> (2017)
Insumos alimentação	CR	kg	Dados primários
Combustível fóssil transporte ração	l/kg ração	kg	Dados primários
Energia processamento da ração	kWh/kg ração	kWh	Dados primários
Elettricidade granja	kWh/kg GP	kWh	Dados primários
Saídas	Parâmetro	Un.	Fonte
Ração 1			
<i>Produto principal</i>			
Ganho de Peso na R1	GP	kg	Dados primários
<i>Co-produtos</i>			
Biogás	m ³ .kg GP	m ³	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
Potencial de produção de energia	kWh/kg GP	kWh	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
<i>Emissões para o ar</i>			
CO2 eq. Transporte leitões	kg/kg GP	kg	CETESB (2021)

CH4 Fermentação entérica	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO2 Respiração	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO2 eq. Produção ração	kg/kg GP	kg	Ecoinvent 3.8
CO2 eq. Transporte ração	kg/kg GP	kg	CETESB (2021)
CO2 eq. Aquecimento a lenha	kg/kg GP	kg	Ecoinvent 3.8
CO2 eq. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
CO2 eq. Tratamento de dejetos	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
N2O ind. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
N2O indireto Tratamento resíduos	Kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
Ração 2			
<i>Produto principal</i>			
Ganho de Peso na R2	GP	kg	Dados primários
<i>Co-produtos</i>			
Biogás	m ³ .kg GP	m ³	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
Potencial de produção de energia	kWh/kg GP	kWh	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
<i>Emissões para o ar</i>			
CH4 Fermentação entérica	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO2 Respiração	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO2 eq. Produção ração	kg/kg GP	kg	Ecoinvent 3.8
CO2 eq. Transporte ração	kg/kg GP	kg	CETESB (2021)
CO2 eq. Aquecimento a lenha	kg/kg GP	kg	Ecoinvent 3.8
CO2 eq. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
CO2 eq. Tratamento de dejetos	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
N2O ind. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
N2O indireto Tratamento resíduos	Kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
Ração 3			
<i>Produto principal</i>			
Ganho de Peso na R3	GP	kg	Dados primários
<i>Co-produtos</i>			
Biogás	m ³ .kg GP	m ³	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
Potencial de produção de energia	kWh/kg GP	kWh	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
<i>Emissões para o ar</i>			
CH4 Fermentação entérica	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO2 Respiração	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO2 eq. Produção ração	kg/kg GP	kg	Ecoinvent 3.8
CO2 eq. Transporte ração	kg/kg GP	kg	CETESB (2021)
CO2 eq. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
CO2 eq. Tratamento de dejetos	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
N2O ind. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
N2O indireto Tratamento resíduos	kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
Ração 4			
<i>Produto principal</i>			
Ganho de Peso na R4	GP	kg	Dados primários
<i>Co-produtos</i>			

Biogás	m ³ .kg GP	m ³	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
Potencial de produção de energia	kWh/kg GP	kWh	Hamelin <i>et al.</i> (2011); Cherubini <i>et al.</i> (2015)
<i>Emissões para o ar</i>			
CH ₄ Fermentação entérica	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO ₂ Respiração	kg/kg GP	kg	Rigolot <i>et al.</i> (2010)
CO ₂ eq. Produção ração	kg/kg GP	kg	Ecoinvent 3.8
CO ₂ eq. Transporte ração	kg/kg GP	kg	CETESB (2020)
CO ₂ eq. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
CO ₂ eq. Tratamento de dejetos	kg/kg GP	kg	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
N ₂ O ind. Dejeito in natura	kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)
N ₂ O indireto Tratamento resíduos	Kg/kg GP	kg	Hutchings <i>et al.</i> (2013)

Fonte: adaptado de Cherubini *et al.* (2015).

Os cálculos sobre os processos de produção de rações foram realizados de acordo com a planta fabril de uma fábrica de rações de suínos da região em que se realizou o estudo. Os dados relacionados ao cultivo dos grãos, período que antecede o processamento da ração, foram os disponibilizados na base de dados *Ecoinvent*® versão 3.8, a qual alimentou o *software* utilizado, o SimaPro® versão PhD 9.2.0.2. O método aplicado dentro do *software* para analisar os processos de produção de ração foi a ReCiPe, conforme indicado por Laso *et al.* (2018).

As emissões relacionadas ao carbono (C) e nitrogênio (N), oriundos da criação dos animais, foram estimadas considerando que as mesmas são dependentes da quantidade de alimentos que o animal ingere, processa e excreta. Assim, os modelos que estimaram os processos fisiológicos seguiram o recomendado por Rigolot *et al.* (2010); IPCC (2006a); FAO (2018); Brown-Brandl *et al.* (2014), estimando as emissões de CO₂ eq. pela respiração animal e pelo CH₄ entérico.

A estimativa de emissões decorrentes do transporte de ração e animais considerou dados primários de distância percorrida pelos veículos entre as propriedades de origem dos leitões e a unidade de creche (em cada lote) e, entre a mesma e a unidade fabril de ração. Após, o fator de emissão de CO₂ do diesel foram determinados de acordo com os fatores calculados pela CETESB (2021).

O kWh da energia elétrica consumida na granja foi calculada para cada kg de GP do leitão pelo período que o leitão recebeu cada tipo ração. O fator

de emissão aplicado foi de 0,000126 kg de CO₂ eq. / kWh consumido (MCTI, 2021).

Além das emissões fisiológicas, na etapa relacionada a criação dos animais estimou-se as emissões referentes ao aquecimento da granja. Tais foram calculadas para os 12 primeiros dias de alojamento. Deste modo, esta fonte consta como entrada nas rações 1 e 2 somente. Foi necessário calcular o m³ de lenha por kg GP e transformar este valor em métrica de energia, no caso foi utilizado o mega joule (MJ) e, calcular o CO₂ eq. aplicando fator de emissão (FE) para lenha de eucalipto de 0,0157 kg CO₂ eq. / MJ, disponível na base de dados *Ecoinvent*[®].

Para estimativa das emissões decorrentes dos tratamentos de dejetos, foram realizadas coletas do material em 2 dos lotes avaliados. Em cada lote as amostras coletadas foram distribuídas em 4 períodos, correspondendo ao tempo que os animais permaneceram com determinada dieta, considerando os 4 tipos de ração fornecidas. As coletas foram realizadas em 4 pontos do sistema de tratamento de dejetos (entrada do biodigestor; lagoa secundária ou pós-biodigestor; entrada da lagoa terciária e efluente armazenado na lagoa terciária).

As análises de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e pH foram realizadas segundo a metodologia descrita por APHA (2012). As demais análises foram realizadas a partir das amostras secas, as quais foram realizadas por um laboratório de análises agronômicas, localizado em Maracaju-MS e auditado pelo Laboratório de Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo (LFDA – SP).

Após as análises laboratoriais, os valores resultantes foram aplicados em modelos que estimaram as emissões relacionadas ao C e ao N. Tal modelagem seguiu a metodologia proposta por Cherubini *et al.* (2015a) em estudo realizado no Brasil, o qual baseou-se em diversos trabalhos renomados da literatura, tais como: Sommer *et al.* (2004); IPCC (2006a,b); Dämmgen e Hutchings (2008); Hamelin *et al.* (2010); Hutchings *et al.* (2013); Hamelin *et al.* (2010; 2011); entre outros. As emissões de GEE do dejetos foram estimadas com base no IPCC (2006a, v.4, Capítulo 10), pelo método Tier 2.

Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida

Após a conclusão do inventário, realizou-se a avaliação de impacto aplicando fatores de caracterização às emissões do ICV, normalizando os grupos de emissões a uma métrica comum, no caso em kg de CO₂ equivalente, conforme as orientações da FAO (2018). A escolha do método de avaliação foi o ReCiPe, o qual é orientado para a avaliação de impacto ambiental por trazer uma harmonização adequada aos dados produtivos de sistemas de produção animal (Laso *et al.*, 2018).

3.3 Valor do sistema de produto

3.3.1 Custos e receita do produto

A apuração contábil do resultado da atividade é realizada pelo regime de Livro Caixa, computado no Livro Caixa Digital do Produtor. Assim, as receitas e despesas são computadas na efetividade do seu pagamento, desde que cumpra o requisito de venda e entrega do produto. Deste modo, um recebimento adiantado de uma entrega futura não é contabilizado como receita, mas sim como adiantamento. Assim, no caso do produtor integrado à indústria de abatimento e processamento da carne suína, a entrada da receita ocorre com o pagamento da nota de fechamento do lote.

O produtor é incentivado pelo Governo do Estado, pelo programa de incentivo financeiro Leitão Vida, em que parte do ICMS que a cadeia gera no estado retorna ao produtor. Para fazer jus a este benefício financeiro, o produtor deve cumprir determinados requisitos, como por exemplo ser associado a uma entidade setorial, assim como comprovar certas práticas produtivas, tais como gerenciamento adequado de dejetos, bem-estar animal, manter a sanidade do plantel (SEMAGRO/MS, 2021), entre outras, de acordo com os princípios preconizados pelo Programa MS Carbono Neutro.

O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviço nesta atividade é um diferimento, ou seja, há a postergação da tributação, havendo o pagamento deste tributo apenas após a transformação do suíno em produtos para o mercado.

Foram apuradas as receitas, custos e despesas com base nos relatórios financeiros da propriedade estudada, de acordo com o regime contábil que está

submetida. Estes dados foram utilizados para a obtenção do Resultado Operacional Líquido (NOPAT) e do Imobilizado Líquido, considerado como o capital investido.

3.3.2 Valor Econômico Agregado

Para a determinação do EVA, os cálculos de alguns indicadores financeiros são necessários, sendo eles: o Custo de Capital próprio (K_e); o Custo Médio Ponderado de Capital, ou WACC (*Weighted Average Cost Capital*); o Resultado Operacional Líquido (NOPAT); o Capital Próprio; e o Capital de Terceiros. O montante destes dois últimos será o Capital Investido (CI). Calculou-se o ROI, dividindo o NOPAT pelo CI.

O cálculo do Custo do Capital Próprio (K_e) foi realizado pelo modelo Capital Asset Price Model (CAPM). Este estudo selecionou o modelo CAPM por benchmarking de Assaf Neto (2021) devido à validade da metodologia para casos brasileiros. Este método utiliza indicadores econômicos representativos e consistentes (Estados Unidos da América - EUA) que referenciam o que a empresa espera dos resultados futuros, tornando-se o modelo proposto para calcular os custos de capital brasileiros. Assim, o K_e foi medido a partir da formulação básica das variáveis do CAPM com a Taxa de Risco Brasil e sua inflação, excluindo a inflação dos EUA na equação abaixo:

Equação 3

$$K_e = [R_f + \beta \cdot (R_m - R_f)] + INFBR - INFUSA + RISKBR$$

Em que:

R_f representa a taxa livre de risco global, determinada pela taxa de juros que é paga com títulos emitidos por séries históricas de dez anos do Tesouro do Governo dos Estados Unidos;

β representa o beta desalavancado de investimentos comparáveis no mercado global – especificamente do setor Agropecuário;

$(R_m - R_f)$ representa o prêmio pelo risco de mercado, dado pela diferença entre o retorno global do mercado e a taxa livre de risco global.

RiskBR representado pelo índice EMBI+, ou Risco-Brasil, o qual foi criado pelo banco JP Morgan com o objetivo de medir as oscilações de mercados emergentes (IPEADATA, 2023);

INFBRA e INFUSA representa a inflação anual de preços de bens e serviços do Brasil e dos EUA.

Assim, o Custo de Capital Próprio foi determinado após o levantamento de todos os índices que compõem o CAPM, conforme valores expressos na Tabela 4. Os Títulos do Tesouro Americano com prazos maiores que 10 anos determinaram a taxa livre de risco global.

Tabela 4 – Índices do modelo CAPM que definem o Custo do Capital Próprio.

Índices	Valor	Fonte
B desalavancado	0,7	Damodaran ¹
Rf - T-bonds >10 anos	4,16%	U.S. Department of the Treasury ²
Rm - S&P 500	10,19%	S&P Dow Jones ³
Prêmio de risco BR	2,16%	JP Morgan ⁴
Inflação BR	5,79%	Ipeadata ⁴ e Global-rates ⁵
Inflação EUA	6,45%	Global-rates ⁵
Ke	9,88%	

1 - <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>; 2 - <https://home.treasury.gov/>; 3 - <https://www.spglobal.com/spdji/pt/indices/equity/sp-500>; 4 - <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>; 5 - <https://www.global-rates.com>. Acessados em 11/08/2023.

Fonte: elaboração própria com dados da pesquisa.

Com o Custo de Capital Próprio definido, foi necessário determinar o WACC porque parte do capital investido é de capital de terceiros (financiamentos). O WACC é utilizado como medida de custo de oportunidade do investimento no negócio, sendo calculado pela média ponderada do Custo do Capital Próprio (Ke) e o custo de capital de fontes externas (Kd), tais como empréstimos e financiamentos (Assaf Neto, 2021). Assim, foi necessário identificar a proporção de cada tipo de capital sobre o valor total investido, conforme a equação ilustrada na Figura 3.

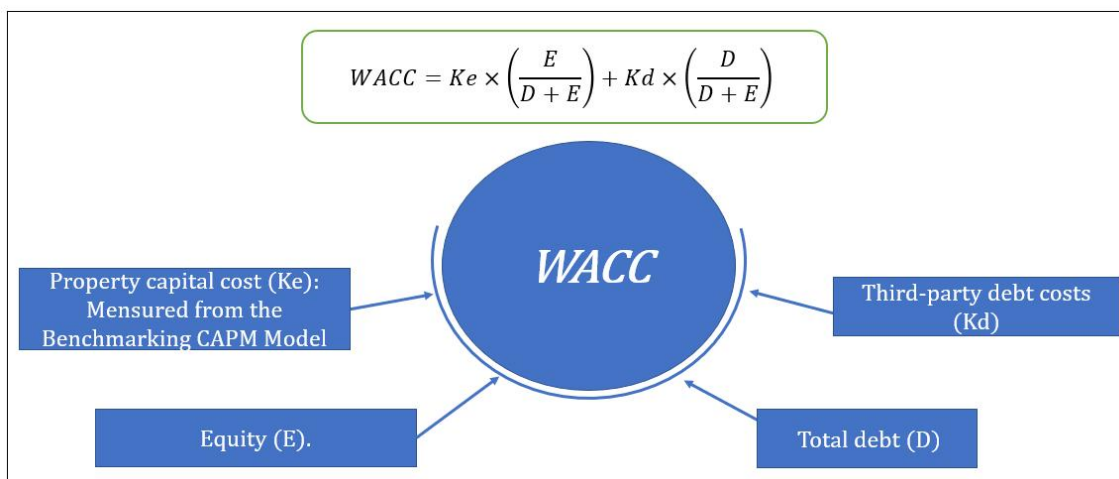


Figura 3 – Componentes do modelo de Custo Médio Ponderado de Capital (WACC).

Fonte: elaboração própria.

Deste modo, a taxa de WACC foi calculada com os valores anuais de Custo de Capital Próprio e Financiamento da unidade produtiva (Tabela 5).

Tabela 5 – WACC da produção de leitões em fase pós-desmame.

	Capital próprio	Capital de terceiros
Investimentos	0,13	6,29
Custo de capital	9,88%	7,50%
WACC	7,55%	

Fonte: elaboração própria com dados da pesquisa.

Por fim, avaliou-se o EVA o qual foi resultado do cálculo, subtraindo-se o Custo Médio Ponderado de Capital (WACC) do Retorno sobre Investimento (ROI) multiplicando o Capital Investido (CI) (Assaf Neto, 2021). Após o cálculo do VEA, o resultado representará a geração (ou não) de valor em cada unidade funcional, em quilos de ganho de peso (kg GP).

4. Resultados

Os resultados das emissões contidos no inventário de ciclo de vida foram convertidos em kg de CO₂ eq., para fins de avaliar qual a contribuição do produto avaliado na categoria de impacto Mudanças Climáticas. Estes resultados demonstram que a média de emissões de GEE foi de 10,09 kg de CO₂ eq./kg de GP (Tabela 6), no entanto dentre os lotes avaliados observou-se

que houve lotes com emissões entre 7,91 a 13,82 kg de CO₂ eq., lote 2 e 6 respectivamente. Desta forma, a maior emissão foi observada no lote 6, o qual teve uma taxa de mortalidade de 3,99%, o que influenciou negativamente o desempenho ambiental deste lote.

Um dos fatores de desempenho que influenciou nesta diferença de emissões entre os lotes foi que quanto maior o GP/animal/lote, menor foi a emissão total em kg de CO₂ eq. / kg GP, reforçando a premissa de que um melhor desempenho animal expressa menores emissões, corroborando com autores como Pietramale *et al.* (2021); Pelletier *et al.* (2010); Sonesson *et al.* (2016); Reckmann *et al.* (2015).

Tabela 6 – Emissões de GEE por fonte de emissão da produção de leitões em fase de pós-desmame.

Fonte de emissão	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5	Lote 6	Lote 7	Média
CO ₂ eq. respiração	3,00E-04	1,68E-04	2,46E-04	1,48E-04	1,40E-04	2,05E-04	1,75E-04	1,97E-04
CO ₂ eq. CH ₄ entérico	0,0251	0,0224	0,0294	0,0221	0,0227	0,0262	0,0230	0,0244
CO ₂ eq. process. de rações	0,3781	0,4019	0,2864	0,4385	0,3962	0,4651	0,4085	0,3964
CO ₂ eq. transporte de leitões	0,1742	0,1763	0,5107	0,0864	0,0764	0,1865	0,0767	0,1839
CO ₂ eq. transporte de rações	9,60E-03	0,0140	9,31E-03	1,48E-02	9,25E-03	0,0214	0,0203	0,0141
CO ₂ eq. kWh rações	6,11E-06	3,50E-06	3,61E-06	6,76E-06	6,78E-06	9,51E-06	7,18E-06	6,21E-06
CO ₂ eq. kWh granja	5,89E-06	4,13E-06	5,33E-06	4,26E-06	3,97E-06	5,45E-06	4,17E-06	4,74E-06
CO ₂ eq. aquecimento	0,6194	0,3860	0,6233	0,3664	0,3768	0,5087	0,4047	0,4693
CO ₂ eq. resíduo in natura	7,5636	6,5567	8,8122	8,2637	8,6227	12,0312	8,0006	8,5501
CO ₂ eq. dejetos do trat. e pós biodigestão	0,4217	0,3081	0,5115	0,3173	0,3408	0,4847	0,3440	0,3897
CO ₂ eq. digestato estocado	0,0749	0,0487	0,0738	0,0549	0,0572	0,1010	0,0609	0,0674
Total CO ₂ eq. / kg GP	9,2669	7,9142	10,8569	9,5643	9,9021	13,8250	9,3389	10,0955

Fonte: dados do estudo.

Ao analisar o potencial de aquecimento global (GWP) do dejetos da estrutura de alojamento, observou-se que esta fonte de emissão foi a que mais impactou nas emissões totais, 8,55 kg de CO₂ eq. / UF. No entanto, ao desconsiderar esta fonte de emissão, observou-se que cada kg de leitão desmamado emitiu 1,54 kg de CO₂ eq. / UF e, que 25,7% originou-se do

processamento de rações, 44% da criação dos animais e 29,7% do tratamento de dejetos. Resultados estes que diferenciam dos encontrados por Reckmann *et al.* (2013), os quais obtiveram proporções de 63% de GWP para a produção de ração, 30% para a criação dos suínos e 7% para o abate, tais valores foram estimados para o norte da Alemanha. No entanto, os achados destes autores podem ter sido superestimados para o processamento das rações, devido a longa distância de origem dos grãos (soja e milho) e, reduzidos quanto às emissões do manejo de dejetos, por considerar a reutilização do biogás para a produção de energia.

Ali *et al.* (2017) identificaram que cada leitão descrechado emitiu 33,1 kg de CO₂ eq. (1,37 kg de CO₂ eq./PV), diferentemente deste estudo que identificou uma emissão de 66,53 kg de CO₂ eq. ao somar as emissões da origem dos leitões (Tabela 2) com as emissões da fase de creche. No entanto, Ali *et al.* (2017) não consideraram as emissões do tratamento de resíduos e, se neste estudo esta etapa do sistema também não fosse considerado, o volume emitido por animal seria de 50,71 kg de CO₂ eq.. Esta diferença entre os estudos se explica pela idade e peso dos leitões ao final da fase de creche, pois os autores consideraram 35 a 39 dias e 24kg de PV e, neste estudo a idade de saída foi 52 dias e 28 kg de PV final (Tabela 1).

Em geral, os lotes avaliados apresentaram baixo desempenho animal quando observado o GP em todo o período de alojamento (média de 52 dias). Este fato influenciou sobremaneira o valor recebido por cabeça ao fechamento do lote, já que os custos operacionais custeados pelo suinocultor integrado são compostos em maioria por custos fixos (cerca de 84%), ou seja, variam pouco de acordo com os dias de alojamento. O custo com energia elétrica é o mais que varia de acordo com os dias de alojamento, pois quanto mais o plantel permanece alojado maior será o gasto.

Os resultados das análises econômico-financeiras foram apresentados na Tabela 7. Quanto aos valores dos Resultado Operacional Líquido, o lote 7 foi o único a apresentar resultado satisfatório, indicando que foi possível cobrir todos os custos e obter um ROI positivo. Observou-se que apenas no lote 7 houve um discreto valor adicionado de R\$0,04 por cabeça de leitão pronto para a fase de crescimento. Os demais lotes avaliados não criaram valor econômico adicionado além do custo de capital considerado.

Tabela 7 – Resultados operacionais e desempenho econômico da produção de leitões em fase de pós-desmame.

Lote	GP (kg)	Receita / cbç (R\$)	CO / cbç (R\$)	NOPAT / cbç (R\$)	ROI / cbç (R\$)	EVA / cbç (R\$)	EVA/ kg GP (R\$)	EVA / cbç (US\$)	EVA / kg GP (US\$)
1	19,97	13,87	14,06	-0,19	-3%	-0,68	-0,03	-0,14	-0,01
2	22,91	13,17	14,11	-0,94	-15%	-1,43	-0,06	-0,29	-0,01
3	23,42	13,91	14,12	-0,21	-3%	-0,69	-0,03	-0,14	-0,01
4	23,00	13,46	14,02	-0,56	-9%	-1,05	-0,05	-0,21	-0,01
5	22,37	13,09	14,03	-0,94	-15%	-1,42	-0,06	-0,29	-0,01
6	24,53	12,53	14,04	-1,51	-24%	-2,00	-0,08	-0,40	-0,02
7	24,99	14,57	14,04	0,53	8%	0,04	1,79E-03	9,05E-03	3,62E-04

Fonte: dados do estudo.

GP – ganho de peso; cbç – cabeça; CO – custo operacional; NOPAT – Resultado Operacional Líquido; ROI – Retorno sobre o Investimento; EVA – Valor Econômico Agregado.

Contudo, ressalta-se que o peso vivo médio de entrada dos lotes foi de 5,16 kg, sendo uma condição que influencia o baixo desempenho do animal, a qual reflete tanto no desempenho econômico-financeiro como no ambiental, conforme a ACV realizada demonstrou. Além do peso de entrada na fase, outro fator que influenciou diretamente no custo de produção e, consequentemente no valor agregado, foi o tempo de alojamento e o GPD.

A Figura 4 mostra que ao analisar os indicadores de sustentabilidade, econômico e ambiental, separadamente, em relação ao desempenho animal observou-se que o EVA acompanha o tempo de alojamento até o lote 4. A partir do lote 5 observou-se que quanto maior o tempo de alojamento, mais negativo foi o EVA e somente no Lote 7 o ganho econômico torna-se positivo. Já a taxa de mortalidade mostrou-se divergente, pois até o lote 4 notou-se que quanto maior a taxa de mortalidade, menor o EVA e maiores foram as emissões. Porém, a partir do lote 5, apenas o EVA contrasta com a mortalidade, já as emissões passam a acompanhar este indicador de desempenho (Figura 4).

A avaliação de sustentabilidade de um sistema produtivo depende da união das 3 dimensões: a ambiental, a econômica e a social (Kruger *et al.*, 2022). Sob este ponto de vista, o trabalho em questão buscou atender as perspectivas ambientais e econômicas em um único indicador, a Ecoeficiência. Até o momento foram identificados os resultados de cada uma das esferas

separadamente, mas com a ecoeficiência é possível ponderar sobre ambas de forma combinada.

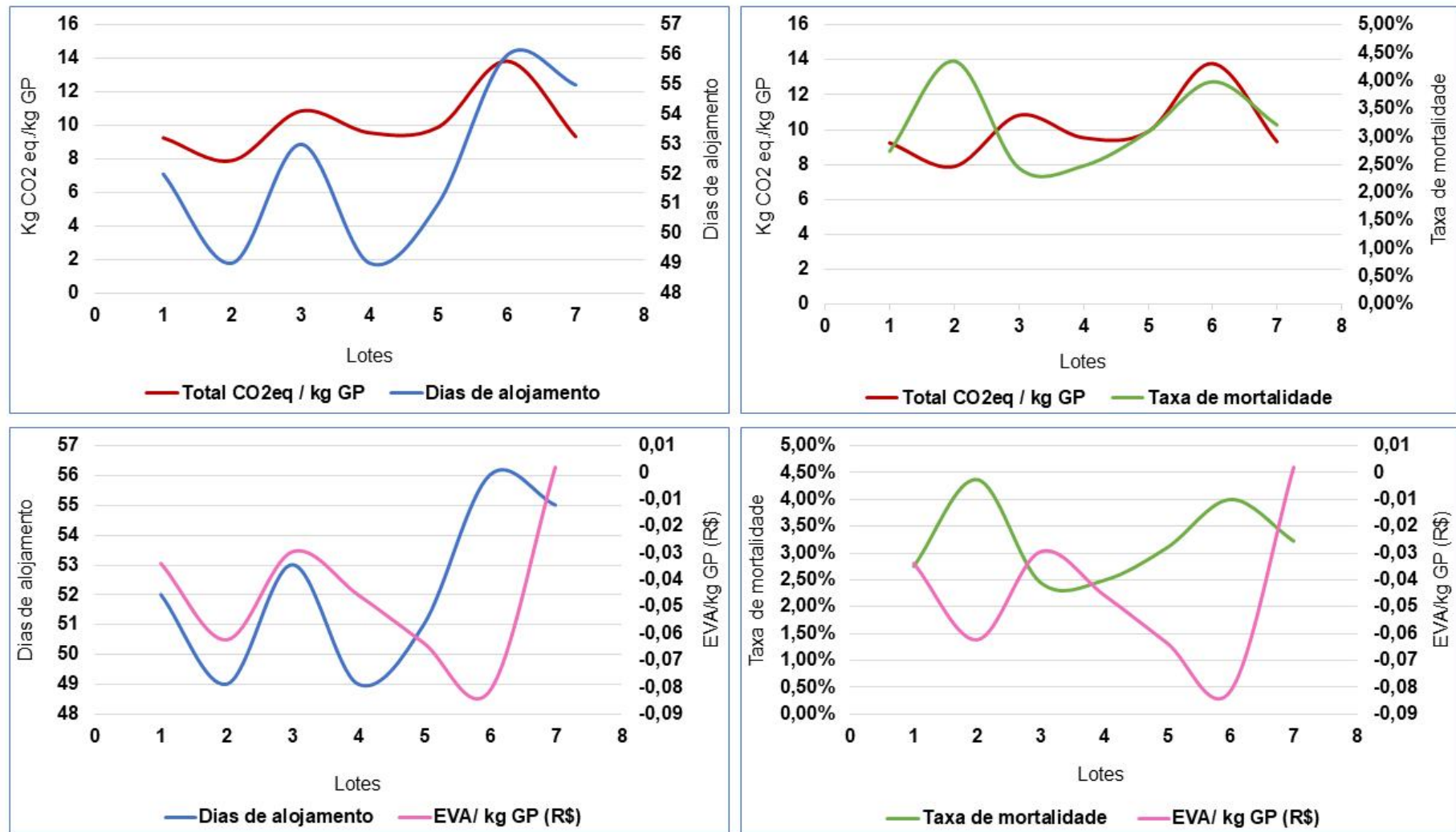


Figura 4. Contraste entre avaliação ambiental e econômica, separadamente, em relação aos indicadores de desempenho.

Deste modo, a Figura 5 apresenta uma perspectiva sobre o comportamento dos resultados de impacto ambiental, em CO₂ eq., e o ganho econômico, em EVA. Ficou claro que quando se tem um maior impacto ambiental, menor é o ganho de valor sobre o produto, chegando a um EVA positivo no lote 7, conforme está expresso no gráfico da Figura 5. Os resultados sugerem que sempre que um empreendimento conquista um bom desempenho econômico, ele tem uma redução sobre os impactos ambientais, corroborando com as afirmações de Mickwitz *et al.* (2006) (in Pedroso *et al.*, 2012).

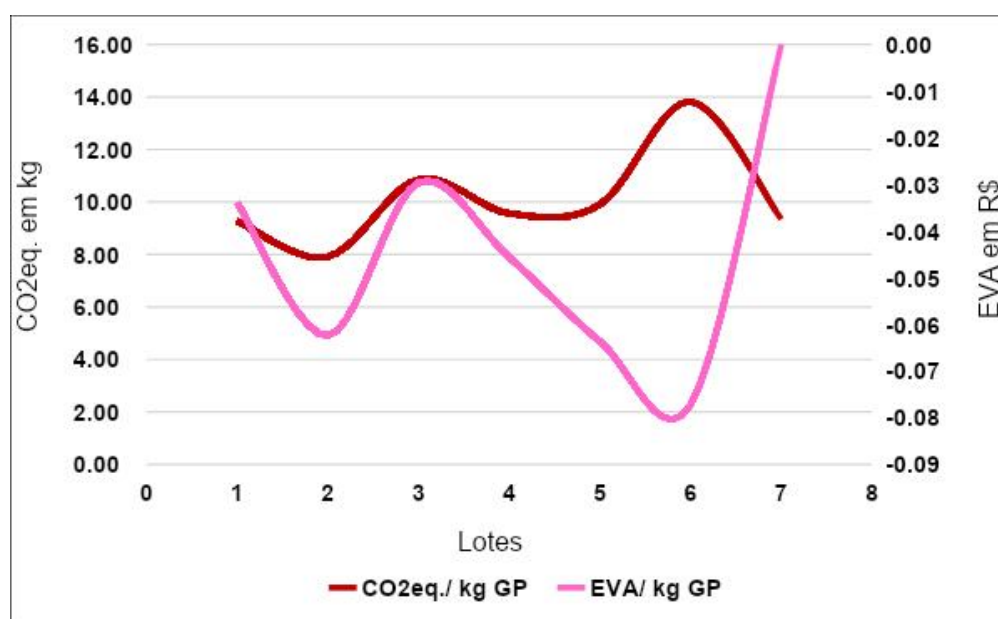


Figura 5 – Relação entre emissões de GEE e valor econômico agregado da produção de leitões pós-desmamados.

Fonte: elaboração própria com dados do estudo.

Prates e Bandeira (2011) asseguraram que a identificação de pontos críticos do processo produtivo tende a refletir em criação de valor, pois significa produzir mais com menor uso recursos. Os resultados revelados neste estudo, indicam que no aspecto ambiental, a eficiência produtiva se comporta da mesma maneira, pois quanto menor a emissão, maior é a tendência de ganhos econômico-financeiros (Figura 5).

A avaliação da Ecoeficiência do sistema de produção apresentou resultados negativos para todos os lotes, exceto para o lote 7. No entanto, o resultado foi muito próximo a zero – 0,0002 R\$ / kg CO₂ eq. – diante da demanda de recursos necessários para a produção de 1 kg de ganho de peso.

Esta ineficiência do processo produtivo apresentada nos lotes de 1 a 6, validam os achados de Alencar *et al.* (2019), os quais identificaram ecoineficiência⁶ na suinocultura em diversos estados brasileiros. Entretanto, estes autores observaram que, dentre os estados avaliados, o Mato Grosso do Sul apresentou o melhor desempenho econômico-ambiental, mesmo com uma ecoeficiência negativa.

Tabela 8 – Avaliação da Ecoeficiência da produção de leitões em fase de pós-desmame.

Lote	EVA/ kg GP (R\$)	CO ₂ eq./ kg GP (kg)	Ecoeficiência (\$/ kg CO ₂ eq.)
1	-0,0339	9,2669	-0,0037
2	-0,0624	7,9142	-0,0079
3	-0,0296	10,8569	-0,0027
4	-0,0456	9,5643	-0,0048
5	-0,0636	9,9021	-0,0064
6	-0,0815	13,8250	-0,0059
7	0,0018	9,3389	0,0002

Fonte: dados do estudo.

Os resultados de Ecoeficiência foram apresentados em moeda corrente brasileira – o Real (R\$) – apenas para melhor compreensão em moeda local, no entanto, para publicação deste trabalho serão apresentados os valores em dólar americano conforme exige o método EVA.

Sob a perspectiva da avaliação conjunta, econômica e ambiental, a ecoeficiência mostra-se uma ferramenta de apoio à tomada de decisão. Além disso, a utilização da Avaliação de Ciclo de Vida na análise de Ecoeficiência, possibilita ao suinocultor identificar os pontos críticos passíveis de melhorias na conquista da ecoeficiência da sua atividade.

Por fim, observa-se que atualmente, o maior desafio da suinocultura sustentável é aliar um desempenho ambiental eficiente aos resultados financeiros, a fim de promover valor econômico agregado ao suinocultor. A obtenção de um EVA positivo deve ser uma busca de longo prazo da atividade, com o objetivo de reinvestimento no negócio no intuito de custear tecnologias e

⁶ Termo apresentado por Alencar *et al.* (2019).

manejos mitigadores de impactos ambientais, proporcionando assim a esperada ecoeficiência da produção.

5. Conclusões

Este estudo indica ecoeficiência positiva em apenas um lote avaliado, porém constatou-se tendência propícia a alcançar melhores resultados com a melhoria de alguns indicadores produtivos. Dentre estes, observou-se que a combinação dos indicadores ganho de peso e dias na fase, como um marcador de desempenho, tem potencial de melhorar a ecoeficiência produtiva. Neste sentido, encontrar o ponto de equilíbrio entre estes dois indicadores deve ser o objetivo da produção de leitões desmamados.

Avaliar os aspectos ambientais e econômicos separadamente não é suficiente para aferir a sustentabilidade de um negócio. Por meio deste estudo concluiu-se que é preciso considerar essas duas dimensões numa mesma conjuntura para obter um indicador mais preciso de sustentabilidade, mesmo que o aspecto social não tenha sido considerado. Cabe ressaltar, que os resultados mostraram que há tendência de maior agregação de valor ao produtor na medida que se alcança melhores resultados ambientais e produtivos.

Por meio dos resultados destas análises sugere-se que um número maior de lotes de produção seja observado, em prol de uma análise temporal que aperfeiçoaria o entendimento de aspectos de ecoeficiência, imperceptíveis à rotina administrativa de empreendimentos agropecuários. Mais dados produtivos de lotes podem levar a uma compreensão mais profunda das variáveis zootécnicas que afetam os resultados financeiros e ambientais da produção de leitões em fase de creche.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELLA, G. M. *et al.* A novel approach for developing composite eco-efficiency indicators: The case for US food consumption. **Journal of Cleaner Production**, v. 299, p. 126931, 2021.

ALENCAR, P. A. Ecoeficiência e preço sombra das emissões de gases de efeito estufa na suinocultura brasileira. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 377-408, 2019.

ALI, B. M. *et al.* A stochastic bio-economic pig farm model to assess the impact of innovations on farm performance. **Animal**, v. 12, n. 4, p. 819-830, 2018.

ANDRETTA, I. *et al.* Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. **Animal**, v. 12, n. 9, p. 1990-1998, set. 2018.

APHA - American Public Health Association, 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ed. Washington, 1.360p.

ASSAF NETO, A. **Mercado Financeiro**. 14. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

ASSAF NETO, A. **Valuation - Métricas de Valor e Avaliação de Empresas**. Bueri (SP): Grupo GEN, 312 p. *E-book*. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040**: Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Structure. Rio de Janeiro, 2014a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14044**: Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. Rio de Janeiro, 2014b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14045**: Environmental management - Eco-efficiency Assessment of Product Systems -Principles, Requirements and Guidelines. Rio de Janeiro, 2014c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual 2021**. Disponível em: <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>. Acesso em mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual 2022**. Disponível em: <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>. Acesso em jul. 2023.

BAUM, R.; BIEŃKOWSKI, J. Eco-efficiency in measuring the sustainable production of agricultural crops. **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1418, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. **Plano Setorial para adaptação à mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária com vistas ao Desenvolvimento Sustentável**. 1ª Ed. Visão estratégica para um novo ciclo / Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Brasília-DF: MAPA, 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Fator médio - Inventários corporativos**. Brasília-DF: MCTI, 2021.

BROWN-BRANDL, T. *et al.* Heat and moisture production of modern swine. Iowa State University – Digital Repository. 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/212816528.pdf>. Acesso em abr. 2023.

CHERUBINI, Edivan *et al.* Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 68-77, 2015a.

CHERUBINI, Edivan *et al.* The finishing stage in swine production: influences of feed composition on carbon footprint. **Environment, Development and Sustainability**, v. 17, p. 1313-1328, 2015b.

COLTRAIN, D. *et al.* **Value added: opportunities and strategies**. Arthur Capper Cooperative Center, Department of Agricultural Economics, Kansas State University. Kansas City, 2000.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo**. 2021. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>. Acesso em nov. 2022.

COP26 - Climate Change Conference of the Parties. COP26, 2021. Disponível em: <https://ukcop26.org/>. Acesso em nov. 2022.

CUCAGNA, M. E. *et al.* Value adding in the agri-food value chain. **International food and agribusiness management review**, v. 21, n. 3, p. 293-316, 2018.

DAMMGEN, U.; HUTCHINGS, N. J. Emissions of gaseous nitrogen species from manure management: a new approach. **Environmental Pollution**, v. 154, n. 3, p. 488-497, 2008.

DAMODARAN, A. **Avaliação de investimentos: ferramentas e técnicas para a determinação do valor de qualquer ativo**. 2ª Ed. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2014.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Environmental performance of pig supply chains: Guidelines for assessment**. 1ª Versão. Roma, 2018. 172 p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Meat market review: overview of global meat market developments in 2020**. Summary version. Roma, 2021. 64 p.

GOPALAN, P. *et al.* Anaerobic digestion of swine effluent: impact of production stages. **Biomass and Bioenergy**, v. 48, p. 121-129, 2013.

GRASSAUER, F. *et al.* Eco-efficiency of farms considering multiple functions of agriculture: Concept and results from Austrian farms. **Journal of Cleaner Production**, v. 297, p. 126662, 2021.

HAMELIN, L. *et al.* Environmental consequences of future biogas technologies based on separated slurry. **Environmental science & technology**, v. 45, n. 13, p. 5869-5877, 2011.

HAMELIN, L. *et al.* Life Cycle Assessment of Biogas from Separated Slurry. Environmental project no. 1329. Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University. 2010. 462 p. Disponível em <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2010/978-87-92668-03-5/pdf/978-87-92668-04-2.pdf>. Acesso em ago. 2022.

HAQUE, M. A.; LIU, Z. Environmental footprint assessment of representative swine diets in the USA. In: **2019 ASABE Annual International Meeting**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2019. p. 1.

HUTCHINGS, N. J. *et al.* Modelling the potential of slurry management technologies to reduce the constraints of environmental legislation on pig production. **Journal of environmental management**, v. 130, p. 447-456, 2013.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Meeting Report. Washington, 2006a. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/meeting/pdfiles/Washington_Report.pdf. Acesso jan. 2023.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2, Energy. Published: IPCC, Switzerland. 2006b. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Acesso em jan. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – Ipeadata. Dados macroeconômicos e regionais. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em ago. 2023.

KRUGER, S. D. *et al.* Performance measurement model for sustainability assessment of the swine supply chain. **Sustainability**, v. 14, n. 16, p. 9926, 2022.

LASO, J. *et al.* Finding an economic and environmental balance in value chains based on circular economy thinking: An eco-efficiency methodology applied to the fish canning industry. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 133, p. 428-437, 2018.

LIJÓ, L. *et al.* Eco-efficiency assessment of farm-scaled biogas plants. **Bioresource technology**, v. 237, p. 146-155, 2017.

MARTINELLI, G. *et al.* Assessing the eco-efficiency of different poultry production systems: An approach using life cycle assessment and economic value added. **Sustainable Production and Consumption**, v. 24, p. 181-193, 2020.

MCAULIFFE, G. A. *et al.* A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 56, p. 12-22, 2016.

MICKWITZ, P. *et al.* Regional eco-efficiency indicators—a participatory approach. **Journal of cleaner Production**, v. 14, n. 18, p. 1603-1611, 2006.

MISHRA, A. *et al.* Factors affecting financial performance of new and beginning farmers. **Agricultural Finance Review**, v. 69, n. 2, p. 160-179, 2009.

MONTEIRO, A. N. T. R. *et al.* The impact of feeding growing-finishing pigs with reduced dietary protein levels on performance, carcass traits, meat quality and environmental impacts. **Livestock Science**, v. 198, p. 162-169, 2017.

MÜLLER, Karin *et al.* Eco-efficiency as a sustainability measure for kiwifruit production in New Zealand. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 333-342, 2015.

PEDROSO, A. *et al.* processo ou ações de ecoeficiência em empresas da cadeia produtiva agroindustrial da suinocultura de Toledo-paraná, Brasil. **Capital Científico**, v. 10, n.1, 2012.

PELLETIER, N. *et al.* Life cycle assessment of high-and low-profitability commodity and deep-bedded niche swine production systems in the Upper Midwestern United States. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 9, p. 599-608, 2010.

PIETRAMALE, R. T. R. *et al.* How much the reproductive losses of sows can be impacting the carbon footprint in swine production? **Livestock Science**, v. 250, p. 104594, 2021.

PIETRAMALE, R. T. R. **Impacto dos índices reprodutivos na Ecoeficiência da Produção de Suínos Terminados em Sistemas Confinados**. 2020. 98 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2020.

PRATES, C. C.; BANDEIRA, D. L. Aumento de eficiência por meio do mapeamento do fluxo de produção e aplicação do Índice de Rendimento Operacional Global no processo produtivo de uma empresa de componentes eletrônicos. **Gestão & Produção**, v. 18, p. 705-718. 2011.

RECKMANN, K. *et al.* Life Cycle Assessment of pork production: A data inventory for the case of Germany. **Livestock Science**, v. 157, n. 2-3, p. 586-596, 2013.

RECKMANN, K.; KRIETER, J. Environmental impacts of the pork supply chain with regard to farm performance. **The Journal of Agricultural Science**, v. 153, n. 3, p. 411-421, 2015.

RIGOLOT, C. *et al.* Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part I: animal excretion and enteric CH₄, effect of feeding and performance. **Animal**, v. 4, n. 8, p. 1401-1412, 2010.

ROSTAGNO, H. S., *et al.* **Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos**. Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais. 4ª ed. Viçosa, MG, 2017. 488 p.

SEBRAE. Serviço de Apoio às Micro e pequenas empresas. **Mapeamento da Suinocultura Brasileira**. 1ª Ed. Associação Brasileira de Criadores de Suínos, 2016. *E-book*. 378 p.

SHARMA, A. K.; KUMAR, S. Economic value added (EVA) - literature review and relevant issues. **International journal of economics and finance**, v. 2, n. 2, p. 200-220, 2010.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. **Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal**. 6. ed. São Paulo: Sindirações, 2023.

SOMMER, S. G.; P. *et al.* Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 69, p. 143-154, 2004.

SONESSON, U. G. *et al.* Paths to a sustainable food sector: integrated design and LCA of future food supply chains: the case of pork production in Sweden. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, p. 664-676, 2016.

STĘPIEŃ, S. *et al.* Eco-efficiency of small-scale farming in Poland and its institutional drivers. **Journal of cleaner production**, v. 279, p. 123721, 2021.

TALLAKSEN, J. *et al.* Reducing life cycle fossil energy and greenhouse gas emissions for Midwest swine production systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 246, p. 118998, 2020.

VINAYA KUMAR, H. M. *et al.* Assessing decision-making and economic performance of farmers to manage climate-induced crisis in Coastal Karnataka (India). **Climatic change**, v. 142, p. 143-153, 2017.

WBCSD - The World Business Council for Sustainable Development. Measuring ecoefficiency: a guide to reporting company performance. Geneva: WBC.

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Conclusões Gerais

Este estudo avaliou a Ecoeficiência de um sistema de suinocultura industrial na fase pós-desmame. Para tanto, foi necessário analisar os desempenhos ambientais e econômicos do sistema. Diante dos resultados já expostos, ressaltam-se os seguintes pontos:

- O período de adaptação dos leitões foi o que se apresentou mais sensível e foi o que mais impactou nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), devido ao baixo desempenho dos animais nesta etapa. Enquanto o período que os leitões estavam recebendo a ração Inicial I (R3) foi o de maior eficiência, quanto ao ganho de peso e no uso de recursos, resultando em menores emissões de GEE.
- O dejetos *in natura* foi a maior fonte de emissão de GEE do sistema produtivo, sendo necessário o desenvolvimento de melhorias no manejo de resíduos nesta etapa em prol da mitigação dos impactos ambientais.
- O sistema de tratamento via biodigestor seguido de duas lagoas de estabilização, utilizado pela granja avaliada, é eficiente na redução do potencial de emissão de GEE do resíduo após o biodigestor.
- A destinação do biogás gerado pelo biodigestor para a produção de energia é favorável sob o ponto de vista ambiental e econômico.
- A combinação dos indicadores ganho de peso e dias na fase tem potencial de melhorar a ecoeficiência produtiva, tornando estes parâmetros zootécnicos passíveis de otimização no manejo produtivo.

Por fim, considerando que no estado do Mato Grosso do Sul, a união entre o governo estadual, associações do setor e produtores rural busca tornar a suinocultura estadual cada vez mais sustentável, este estudo poderá contribuir com evidências e discussões para avaliar e minimizar as emissões com potencial de efeito estufa deste setor, as quais recentemente passaram a ser reguladas pela Resolução SEMADESC/MS nº 23, de 06 de junho de 2023.

De forma geral, a pesquisa agrega contribuições à Avaliação de Ciclo de Vida e de Ecoeficiência da cadeia suinícola do Mato Grosso do Sul e do Brasil, sobretudo quanto a aplicação destas abordagens no elo da produção de leitões

em fase de creche, gerando informações relevantes e necessárias na busca pela sustentabilidade do setor suinícola.

2. Limitações e sugestões de pesquisas futuras

A Avaliação de Ciclo de Vida realizada apresenta limitações quanto a algumas entradas do sistema que foram desconsideradas, devido à escassez de informações, tais como: idade dos leitões; medicamentos e vacinas; materiais químicos de limpeza e desinfecção; construção da estrutura e instalações.

Quanto à saída do sistema, não foi avaliado o impacto ambiental relacionado a outros componentes químicos impactantes, como ao fósforo (P) e potássio (K), mas somente as emissões de GEE. Recomenda-se que estudos futuros incluam estes elementos químicos, no intuito de indicar com maior precisão o potencial de aproveitamento das águas residuais do tratamento como biofertilizante em solos do MS.

Finalmente, torna-se necessário obter dados produtivos e financeiros de mais lotes nos anos subsequentes, a fim de gerar uma série temporal que possibilite maiores comparações e inferências sobre a Ecoeficiência da produção de leitões em fase de creche.

REFERÊNCIAS GERAIS

ABDELLA, G. M. *et al.* A novel approach for developing composite eco-efficiency indicators: The case for US food consumption. **Journal of Cleaner Production**, v. 299, p. 126931, 2021.

ALENCAR, P. A. Ecoeficiência e preço sombra das emissões de gases de efeito estufa na suinocultura brasileira. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 377-408, 2019.

ALI, B. M. *et al.* A stochastic bio-economic pig farm model to assess the impact of innovations on farm performance. **Animal**, v. 12, n. 4, p. 819-830, 2018.

AMARAL, A. C. *et al.* Produção de biogás e energia elétrica com biodigestor de lagoa coberta e CSTR a partir de dejetos suínos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS, 2019, Florianópolis, SC. Anais... Concórdia: Sbera/Embrapa, 2019. p. 401-403.

ANDRETTA, I. *et al.* Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. **Animal**, v. 12, n. 9, p. 1990-1998, set. 2018.

APHA, American Public Health Association, 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ed. Washington, 1.360p.

ARMÔA, M. MS oficializa compromisso de se tornar estado carbono neutro em 2030 e vai para a COP26 com metas ousadas. SEMADESC, nov. 2021. Disponível em: <https://www.semagro.ms.gov.br/ms-oficializa-compromisso-de-se-tornar-estado-carbono-neutro-em-2030-e-vai-para-cop-26-com-metas-ousadas/>. Acesso em nov. 2022.

ARMÔA, M. Suinocultura de MS cresce acima da média nacional e amplia produção com biossegurança e sustentabilidade. SEMADESC, 14 jul. 2020. Disponível em <https://www.semadesc.ms.gov.br/suinocultura-de-ms-cresce-acima-da-media-nacional-e-amplia-producao-com-biosseguranca-e-sustentabilidade/>. Acesso em out. 2022.

ASSAF NETO, A. **Mercado Financeiro**. 14. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

ASSAF NETO, A. **Valuation - Métricas de Valor e Avaliação de Empresas**. Bueri (SP): Grupo GEN, 312 p. *E-book*. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040**: Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Structure. Rio de Janeiro, 2014a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14044**: Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. Rio de Janeiro, 2014b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14045:** Environmental management - Eco-efficiency Assessment of Product Systems -Principles, Requirements and Guidelines. Rio de Janeiro, 2014c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual 2020.** Disponível em: <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>. Acesso em mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual 2021.** Disponível em: <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>. Acesso em mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual 2022.** Disponível em: <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>. Acesso em jul. 2023.

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

BASSET-MENS, C.; VAN DER WERF, H. M. G. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 105, n. 1-2, p. 127-144, 2005.

BAUM, R.; BIENKOWSKI, J. Eco-efficiency in measuring the sustainable production of agricultural crops. **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1418, 2020.

BENNEMANN, P. E. Gestão operacional nas centrais de inseminação artificial. In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*. p. 362-364.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. **Plano Setorial para adaptação à mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária com vistas ao Desenvolvimento Sustentável**. 1ª Ed. Visão estratégica para um novo ciclo / Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Brasília-DF: MAPA, 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Fator médio - Inventários corporativos**. Brasília-DF: MCTI, 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**, Brasília-DF: MCTI, 2021.

BROWN-BRANDL, T. *et al.* Heat and moisture production of modern swine. Iowa State University – Digital Repository. 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/212816528.pdf>. Acessado em abr. 2023.

CHENG, D. L. *et al.* Microalgae biomass from swine wastewater and its conversion to bioenergy. **Bioresource technology**, v. 275, p. 109-122, 2019.

CHERUBINI, E. *et al.* Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 68-77, 2015a.

CHERUBINI, Edivan *et al.* The finishing stage in swine production: influences of feed composition on carbon footprint. **Environment, Development and Sustainability**, v. 17, p. 1313-1328, 2015b.

COLTRAIN, D. *et al.* **Value added: opportunities and strategies**. Arthur Capper Cooperative Center, Department of Agricultural Economics, Kansas State University. Kansas City, 2000.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo**. 2021. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>. Acesso em nov. 2022.

COP26 - Climate Change Conference of the Parties. COP26, 2021. Disponível em: <https://ukcop26.org/>. Acesso em nov. 2022.

CUCAGNA, M. E. *et al.* Value adding in the agri-food value chain. **International food and agribusiness management review**, v. 21, n. 3, p. 293-316, 2018.

DAEMMGEN, U. *et al.* Enteric methane emissions from German pigs. **Landbauforschung Völkenrode**, v. 62, n. 3, p. 83-96, 2012.

DAMMGEN, U.; HUTCHINGS, N. J. Emissions of gaseous nitrogen species from manure management: a new approach. **Environmental Pollution**, v. 154, n. 3, p. 488-497, 2008.

DAMODARAN, A. **Avaliação de investimentos: ferramentas e técnicas para a determinação do valor de qualquer ativo**. 2ª Ed. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2014.

DIAS, A. C. *et al.* Manual Brasileiro de Boas Práticas Agropecuárias na Produção de Suínos. Associação Brasileira de Criadores de Suínos. 1ª Ed. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. Disponível em: <https://abcs.org.br/wp-content/uploads/2021/02/MANUAL-BRASILEIRO-DE-BOAS-PR%C3%81TICAS-AGROPECU%C3%81RIAS-NA-PRODU%C3%87%C3%83O-DE-SU%C3%8DNOS.pdf>. Acesso em dez. 2022.

EMBRAPA Swine and Poultry. Calculadora BiogásFORT®. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/biogasfert/calculadora>. Acesso em jul. 2023.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050**. Summary version. Roma, 2018a. 64 p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Environmental performance of pig supply chains: Guidelines for assessment**. 1ª Versão. Roma, 2018b. 172 p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Meat market review: overview of global meat market developments in 2020**. Summary version. Roma, 2021. 64 p.

FERREIRA, A. H. Integração de Sistemas de Produção: uso de dejetos de suínos na produção de forragens para bovinos. In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*. p. 836-844.

GARCIA-LAUNAY, F. *et al.* Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. **British Journal of Nutrition**, v. 120, n. 11, p. 1298-1309, 2018.

GELINSKI NETO, F., Santa Catarina's contribution to the reduction of greenhouse gases: the biogas law. **Economy Journal from Santa Catarina**, v.3, p. 56-73. 2019.

GOPALAN, P. *et al.* Anaerobic digestion of swine effluent: impact of production stages. **Biomass and Bioenergy**, v. 48, p. 121-129, 2013.

GRASSAUER, F. *et al.* Eco-efficiency of farms considering multiple functions of agriculture: Concept and results from Austrian farms. **Journal of Cleaner Production**, v. 297, p. 126662, 2021.

GURNET, R. R. Granjas de reprodutores suídeos certificadas (GRSC): legislação e aplicação. In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*. p. 610-614.

GÜRTLER, H. *et al.* **Fisiologia Veterinária**. Ed. 4, Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1984.

HAMELIN, L. *et al.* Environmental consequences of future biogas technologies based on separated slurry. **Environmental science & technology**, v. 45, n. 13, p. 5869-5877, 2011.

HAMELIN, L. *et al.* Life Cycle Assessment of Biogas from Separated Slurry. Environmental project no. 1329. Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University. 2010. 462 p. Disponível em <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2010/978-87-92668-03-5/pdf/978-87-92668-04-2.pdf>. Acesso em ago. 2022.

HAQUE, M. A.; LIU, Z. Environmental footprint assessment of representative swine diets in the USA. In: **2019 ASABE Annual International Meeting**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2019. p. 1.

HIGARASHI, M. M. *et al.* Greenhouse gases emissions from deep pit stored swine manure in Southern Brazil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS, 2013, São Pedro. Anais... São Pedro: SBERA/Embrapa, 2013.

HUTCHINGS, N. J. *et al.* Modelling the potential of slurry management technologies to reduce the constraints of environmental legislation on pig production. **Journal of environmental management**, v. 130, p. 447-456, 2013.

INOUE, K. R. A. *et al.* Potential of reduction in the emission of methane and nitrous oxide from swine wastewater after treated by two different systems. **Engenharia Agrícola**, v. 36, p. 1198-1205, 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – Ipeadata. Dados macroeconômicos e regionais. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em ago. 2023.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: IPCC, Switzerland, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>. Acesso em mai. 2023.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Meeting Report. Washington, 2006a. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/meeting/pdfiles/Washington_Report.pdf. Acesso jan. 2023.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4, Emissions on livestock and manure management. Published: IPCC, Switzerland, 2006c. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso jan. 2023.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Meeting Report. Washington, 2006a. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/meeting/pdfiles/Washington_Report.pdf. Acesso jan. 2023.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2, Energy. Published: IPCC, Switzerland. 2006b. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Acesso em jan. 2023.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2, Energy. Published: IPCC, Switzerland. 2006b. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Acesso em jan. 2023.

JEONG, D. *et al.* A case study of CO₂ emissions from beef and pork production in South Korea. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 65, n. 2, p. 427, 2023.

KAPARAJU, P.; RINTALA, J. Mitigation of greenhouse gas emissions by adopting anaerobic digestion technology on dairy, sow and pig farms in Finland. **Renewable Energy**, v. 36, n. 1, p. 31-41, 2011.

KRUGER, S. D. *et al.* Performance measurement model for sustainability assessment of the swine supply chain. **Sustainability**, v. 14, n. 16, p. 9926, 2022.

LASO, J. *et al.* Finding an economic and environmental balance in value chains based on circular economy thinking: An eco-efficiency methodology applied to the fish canning industry. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 133, p. 428-437, 2018.

LIJÓ, L. *et al.* Eco-efficiency assessment of farm-scaled biogas plants. **Bioresource technology**, v. 237, p. 146-155, 2017.

LIPPI, I. C. C. *et al.* Effects of probiotic supplementation for piglets in a nursery: a meta-analysis of controlled randomized studies. **Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences**, v. 46, n. 1, p. 58-66, 2022.

LIPPI, I. C. C. *et al.* Global and Brazilian Scenario of Guidelines and Legislation on Welfare in Pig Farming. **Animals**, v. 12, n. 19, p. 2615, 2022.

MACHADO, G.; DALLANORA, D. Evolução Histórica de Sistemas de Produção de Suínos. In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*. p. 95-105.

MARAVEAS, C. *et al.* Application of bio and nature-inspired algorithms in agricultural engineering. **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 30, n. 3, p. 1979-2012, 2023.

MARTINELLI, Gabrielli *et al.* Assessing the eco-efficiency of different poultry production systems: An approach using life cycle assessment and economic value added. **Sustainable Production and Consumption**, v. 24, p. 181-193, 2020.

MCAULIFFE, G. A. *et al.* A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 56, p. 12-22, 2016.

MELSE, R. W.; VERDOES, N. Evaluation of four farm-scale systems for the treatment of liquid pig manure. **Biosystems Engineering**, v. 92, n. 1, p. 47-57, 2005.

MICKWITZ, P. *et al.* Regional eco-efficiency indicators—a participatory approach. **Journal of cleaner Production**, v. 14, n. 18, p. 1603-1611, 2006.

MISHRA, A. *et al.* Factors affecting financial performance of new and beginning farmers. **Agricultural Finance Review**, v. 69, n. 2, p. 160-179, 2009.

MOLINA-MORENO, V. *et al.* Design of indicators of circular economy as instruments for the evaluation of sustainability and efficiency in wastewater from pig farming industry. **Water**, v. 9, n. 9, p. 653, 2017.

MONTEIRO, A. N. T. R. *et al.* The impact of feeding growing-finishing pigs with reduced dietary protein levels on performance, carcass traits, meat quality and environmental impacts. **Livestock Science**, v. 198, p. 162-169, 2017.

MÜLLER, K. *et al.* Eco-efficiency as a sustainability measure for kiwifruit production in New Zealand. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 333-342, 2015.

NAGARAJAN, D. *et al.* Current advances in biological swine wastewater treatment using microalgae-based processes. **Bioresource technology**, v. 289, p. 121718, 2019.

O Presente Rural. Integradoras começaram nos anos 1990 e dominam até hoje o modelo de produção em Mato Grosso do Sul. mai. 2023. p. 26-27. Disponível em: <https://www.flip3d.com.br/pub/opresenterural/?numero=229&edicao=5486>. Acesso em ago. 2023.

OLIVEIRA, J. D. *et al.* What is the contribution of piglet waste in the first week after weaning to greenhouse gas emissions? **Engenharia na Agricultura**, v. 30, n.9, p. 1-9, 2022.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. Generation and use of biogas in pig production units. Concórdia: Embrapa Poultry and Swine, *E-book*. 2006. 42p.

ONAT, N. C. *et al.* Systems thinking for life cycle sustainability assessment: A review of recent developments, applications, and future perspectives. **Sustainability**, v. 9, n. 5, p. 706, 2017.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Transformando nosso mundo: A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável das Nações Unidas**. Nova Iorque, ONU, 2015.

PEDERSEN, S. Heat and moisture production in growing-finishing pigs and broilers. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, 2018.

PEDROSO, A. *et al.* Processo ou ações de ecoeficiência em empresas da cadeia produtiva agroindustrial da suinocultura de toledo-paraná, brasil. **Capital Científico**, v. 10, n.1, 2012.

PELLETIER, N. *et al.* Life cycle assessment of high-and low-profitability commodity and deep-bedded niche swine production systems in the Upper Midwestern United States. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 9, p. 599-608, 2010.

PERES, P. Produção sustentável incentivada pelo governo faz suinocultura viver melhor momento em MS. SEMADESC, fev. 2021. Disponível em: <https://www.semagro.ms.gov.br/producao-sustentavel-incentivada-pelo-governo-faz-suinocultura-viver-melhor-momento-em-ms/>. Acesso em out. 2022.

PHILIPPE, F.-X.; NICKS, B. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 199, p. 10-25, 2015.

PIETRAMALE, R. T. R. *et al.* How much the reproductive losses of sows can be impacting the carbon footprint in swine production? **Livestock Science**, v. 250, p. 104594, 2021.

PIETRAMALE, R. T. R. **Impacto dos índices reprodutivos na Ecoeficiência da Produção de Suínos Terminados em Sistemas Confinados**. 2020. 98 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2020.

PINHEIRO, R. Primeira semana pós-desmame: desafios e relevância. In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*. p. 628-632.

PIVA, J. H.; GONÇALVES, M. D. O sistema *wean-to-finish*. In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*, p. 863-844.

PLUSKE, J. R. *et al.* Associations between gastrointestinal-tract function and the stress response after weaning in pigs. **Animal Production Science**, v. 59, n. 11, p. 2015-2022, 2019.

PRATES, C. C.; BANDEIRA, D. L. Aumento de eficiência por meio do mapeamento do fluxo de produção e aplicação do Índice de Rendimento Operacional Global no processo produtivo de uma empresa de componentes eletrônicos. **Gestão & Produção**, v. 18, p. 705-718. 2011.

RECKMANN, K. *et al.* Life Cycle Assessment of pork production: A data inventory for the case of Germany. **Livestock Science**, v. 157, n. 2-3, p. 586-596, 2013.

RECKMANN, K.; KRIETER, J. Environmental impacts of the pork supply chain with regard to farm performance. **The Journal of Agricultural Science**, v. 153, n. 3, p. 411-421, 2015.

RIGOLOT, C. *et al.* Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part I: animal excretion and enteric CH₄, effect of feeding and performance. **Animal**, v. 4, n. 8, p. 1401-1412, 2010.

RIGOLOT, C. *et al.* Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. **Animal**, v. 4, n. 8, p. 1413-1424, 2010.

ROHR, S. A. Biodigestores, créditos de carbono e mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). In: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de Suínos: Teoria e Prática**. 1ª Ed. Integral Soluções em Produção Animal, 2014. *E-book*. p. 821-826.

ROSTAGNO, H. S., *et al.* **Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos**. Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais. 4ª ed. Viçosa, MG, 2017. 488 p.

RUIZ, U. S. *et al.* Enzyme complex supplementation in different nutrient levels diets on pigs feces excretion and anaerobic digestion. **Scientia Agricola**, v. 74, p. 180-188, 2017.

SAVIOTTI, B. *et al.* **Suinocultura de Baixa Emissão de Carbono: Tecnologias de Produção mais limpa e Aproveitamento econômico dos Resíduos da Produção de Suínos**. 1ª Ed. MAPA, 2016. *E-book*. 96 p.

SEBRAE. Serviço de Apoio às Micro e pequenas empresas. **Mapeamento da Suinocultura Brasileira**. 1ª Ed. Associação Brasileira de Criadores de Suínos, 2016. *E-book*. 378 p.

SEMADESC/MS. Resolução nº 23, 06 de Junho 06 de 2023. Departamento de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação do Mato Grosso do Sul – Brasil.

SHARMA, A. K.; KUMAR, S. Economic value added (EVA)-literature review and relevant issues. **International journal of economics and finance**, v. 2, n. 2, p. 200-220, 2010.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. **Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal**. 6. ed. São Paulo: Sindirações, 2023.

SOMMER, S. G.; P. *et al.* Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 69, p. 143-154, 2004.

SOMMERFELT, I. M. *et al.* Environmental temperature effect on the gestation sows and related economic impacts. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 9, n. 3, p. 450-464, 2015.

SONESSON, U. G. *et al.* Paths to a sustainable food sector: integrated design and LCA of future food supply chains: the case of pork production in Sweden. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, p. 664-676, 2016.

STĘPIEŃ, S. *et al.* Eco-efficiency of small-scale farming in Poland and its institutional drivers. **Journal of cleaner production**, v. 279, p. 123721, 2021.

TALLAKSEN, J. *et al.* Reducing life cycle fossil energy and greenhouse gas emissions for Midwest swine production systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 246, p. 118998, 2020.

THOMA, G. *et al.* National life cycle carbon footprint study for production of US swine. National Pork Board, Des Moines, IA. Disponível em: <https://porkcdn.s3.amazonaws.com/sites/all/files/documents/NPB%20Scan%20Final%20-%20May%202011.pdf>. Acesso em ago. 2023.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. **Methane recovery in animal manure management systems**. Clean Development Mechanism, version 19.0. 2012. Disponível em: <http://cdm.unfccc.int/about/index.html>. Acesso jul. 2023.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, **CDM Methodologies Booklet** - 14th edition Information updated as of EB 116 - December 2022. Disponível em https://cdm.unfccc.int/methodologies/documentation/meth_booklet.pdf. Acesso em jul. 2023.

USDA – United State Department of Agriculture. **Livestock and Poultry: World Markets and trade**. 2023. Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/livestock-and-poultry-world-markets-and-trade>. Acesso jul. 2023.

VALENTIM, J. K. *et al.* Meta-analysis of relationship between weaning age and daily weight gain of piglets in the farrowing and nursery phases. **South African Journal of Animal Science**, v. 51, n. 3, p. 332-338, 2021.

VINAYA KUMAR, H. M. *et al.* Assessing decision-making and economic performance of farmers to manage climate-induced crisis in Coastal Karnataka (India). **Climatic change**, v. 142, p. 143-153, 2017.

WANG, L. *et al.* Organic matter, a critical factor to immobilize phosphorus, copper, and zinc during composting under various initial C/N ratios. **Bioresource technology**, v. 289, p. 121745, 2019.

WBCSD - The World Business Council for Sustainable Development. **Measuring ecoefficiency: a guide to reporting company performance**. Geneva: WBC.

WILFART, A. *et al.* ECOALIM: a dataset of environmental impacts of feed ingredients used in French animal production. **PloS one**, v. 11, n. 12, p. e0167343, 2016.

ZHANG, Wanqin *et al.* Anaerobic digestion characteristics of pig manures depending on various growth stages and initial substrate concentrations in a scaled pig farm in Southern China. **Bioresource technology**, v. 156, p. 63-69, 2014.