

Avaliação da Ecoeficiência da Produção de Leitões: Uma Abordagem de Valor Econômico Adicionado ao GWP

(versão em português do original)

Carolina Obregão da Rosa

Programa de Pós Graduação em Agronegócios, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Brasil

carolinarosa@ufgd.edu.br

Rita Therezinha Rolim Pietramale

Programa de Pós Graduação em Zootecnia, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Brasil

rolimpiezoo@gmail.com

Juliana Dias de Oliveira

Programa de Pós Graduação em Zootecnia, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Brasil

juliana.oli1997@hotmail.com

Clandio Favarini Ruviaro *

Programa de Pós Graduação em Agronegócios, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), CEP 79804-970, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil

clandioruviaro@ufgd.edu.br

*corresponding author

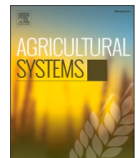
Agricultural Systems 229 (2025) 104404



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Agricultural Systems

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agsy



Research Paper

Eco-efficiency evaluation of piglet production: An economic value added approach to GWP

Carolina Obregão da Rosa^a, Rita Therezinha Rolim Pietramale^a, Juliana Dias de Oliveira^b, Clandio Favarini Ruviaro^{c,*}

^a Agribusiness Postgraduate Program, Federal University of Grande Dourados (UFGD), Brazil

^b Animal Science Postgraduate Program, Federal University of Grande Dourados (UFGD), Brazil

^c Agribusiness Postgraduate Program, Federal University of Grande Dourados (UFGD), CEP 79804-970, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brazil

Avaliação da Ecoeficiência da Produção de Leitões: Uma Abordagem de Valor Econômico Adicionado ao GWP

RESUMO

CONTEXTO: A suinocultura é um contribuinte essencial para o desenvolvimento rural e regional em diversos estados brasileiros. No entanto, o setor enfrenta desafios significativos de sustentabilidade. Avaliações integradas do desempenho ambiental e econômico são, portanto, cruciais para apoiar práticas de produção mais sustentáveis. **OBJETIVO:** Este estudo avalia a ecoeficiência de sistemas de produção de leitões desmamados em resposta à crescente ênfase na sustentabilidade e na eficiência do uso de recursos nas cadeias de valor pecuárias. **MÉTODOS:** O desempenho ambiental foi avaliado utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), com foco no potencial de mudança climática e na identificação de pontos críticos ambientais. O desempenho econômico foi avaliado por meio da métrica de Valor Econômico Adicionado (EVA). A abordagem integrada ACV–EVA foi aplicada ao longo de um ciclo de produção de um ano em uma granja de desmame-crescimento, compreendendo sete lotes de produção. **RESULTADOS E CONCLUSÕES:** O sistema avaliado exibiu ineficiência ecológica. Alcançar um Valor Adicionado positivo é um objetivo estratégico de longo prazo fundamental, pois permite o reinvestimento em tecnologias e práticas de manejo que reduzem os impactos ambientais e melhoram a ecoeficiência geral. **SIGNIFICADO:** Indicadores de desempenho como ganho de peso e duração das fases de produção (dias em fase) demonstraram forte potencial para melhorar a ecoeficiência. Equilibrar esses indicadores deve ser uma prioridade na otimização da produção de leitões desmamados. Este estudo oferece novas percepções ao aplicar uma estrutura combinada ACV–EVA a uma fase de produção sub-representada na literatura.

Palavras-chave: bioeconomia, agronegócio, produção animal, valor adicionado, emissões.

1. Introdução

A crescente demanda global por alimentos, projetada para aumentar nas próximas décadas, exige mudanças nos sistemas de produção e uma colaboração internacional aprimorada para fomentar economias de baixo carbono (COP26, 2021). Dentro deste contexto, as cadeias de produção de proteína animal enfrentam o desafio de expandir a produção para atender à demanda crescente. Sistemas intensivos de produção de aves e suínos desempenham um papel crítico, pois atualmente representam as fontes de proteína animal mais amplamente consumidas em todo o mundo (ABPA, 2021; FAO, 2021).

A suinocultura brasileira tem experimentado um crescimento significativo tanto na produção quanto nas exportações, com um aumento de 46% no Valor Bruto da Produção nos últimos cinco anos, consolidando sua posição como um setor chave no agronegócio brasileiro (ABPA, 2022). Entre os principais estados produtores de suínos, Mato Grosso do Sul (MS) ocupa o sexto lugar em produção e o quinto em exportações (ABPA, 2022). O estado emergiu como um líder de crescimento; entre 2014 e 2020, sua produção de suínos cresceu 54,3%, superando a média nacional de 29,2%, o que ressalta sua importância estratégica para o agronegócio regional (Armôa, 2020). Dada essa relevância, é essencial aprimorar os sistemas de produção animal para aumentar a

eficiência dos recursos, reduzir os impactos ambientais e elevar o valor adicionado da produção. Indicadores de produtividade, como as taxas de conversão alimentar em sistemas confinados, têm melhorado nas últimas décadas, refletindo esses avanços (SEBRAE, 2016).

Contudo, a produção de suínos levanta preocupações em relação à geração de resíduos e às emissões de poluentes associadas, incluindo gases de efeito estufa (GEE). Na última década, numerosos estudos avaliaram os impactos ambientais da suinocultura, muitos deles utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para quantificar esses impactos por quilograma de carne suína (Monteiro et al., 2017; Andretta et al., 2018; Haque & Liu, 2019). Essa abordagem identifica eficazmente os “pontos críticos” dentro do ciclo de produção — como manejo de resíduos e eficiência alimentar — que são cruciais para minimizar as emissões.

Apesar da vasta literatura sobre impactos ambientais em avaliações de sustentabilidade, relativamente poucos estudos abordam a perspectiva econômica. Em particular, há escassez de pesquisas que quantificam o valor adicionado gerado pela suinocultura, um elemento chave para o reinvestimento e a sustentabilidade de longo prazo do negócio. A literatura econômica e financeira (Assaf Neto, 2021; Damodaran, 2014) enfatiza que, diferentemente das medidas tradicionais de desempenho financeiro (por exemplo, retorno sobre o patrimônio líquido, lucro operacional líquido após impostos [NOPAT], retorno sobre o investimento, relação custo-benefício, entre outras), o Valor Econômico Adicionado (EVA) mede a extensão em que uma atividade produtiva excede o custo de oportunidade do capital investido, gerando assim valor econômico real para proprietários ou acionistas (Cucagna e Goldsmith, 2018). Em essência, o EVA ajusta o valor contábil de um negócio para refletir seu verdadeiro valor de mercado, subtraindo do lucro operacional líquido o custo de financiamento de projetos ao custo médio ponderado de cada componente do capital investido. Essa métrica, portanto, fornece uma medida clara do valor gerado acima do custo de oportunidade (Damodaran, 2014; Martinelli et al., 2020).

A avaliação da ecoeficiência emergiu como uma abordagem promissora para preencher a lacuna entre as avaliações ambientais e econômicas na agricultura. Nas últimas décadas, essa abordagem tem sido amplamente adotada em avaliações de sustentabilidade, pois integra ACV e EVA para avaliar a ecoeficiência de um produto ou serviço (John et al., 2020; Martinelli et al., 2020; ISO 14045, 2012; WSCDB, 2000). Várias metodologias de ecoeficiência foram desenvolvidas em diversos setores, dependendo dos objetivos específicos da análise e das unidades de tomada de decisão envolvidas (John et al., 2020). Neste estudo, a abordagem escolhida se alinha aos nossos objetivos porque a ACV é orientada para o produto e foca no desempenho ambiental, abordando a crescente necessidade de avaliar as emissões globais associadas a diferentes produtos (FAO, 2018). Simultaneamente, o EVA serve como uma medida apropriada para avaliar o valor econômico do sistema-produto (Cucagna e Goldsmith, 2018). Nesse contexto, um resultado de ecoeficiência mais alto indica um desempenho econômico superior por unidade de impacto ambiental (Martinelli et al., 2020).

Em alinhamento com os esforços globais de sustentabilidade, este estudo não apenas avalia o desempenho ambiental e econômico da suinocultura, mas também contribui para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, particularmente o Objetivo 12 (Consumo e Produção Responsáveis) por

meio do uso otimizado de recursos e o Objetivo 13 (Ação Climática) pela mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

Entre os estudos limitados sobre ecoeficiência na produção de suínos, Pietramale (2020) e Alencar et al. (2019) abordaram o tema com um foco restrito — Pietramale (2020) examinou as fases reprodutiva e de maternidade, enquanto Alencar et al. (2019) realizaram uma análise mais ampla baseada em dados secundários. Em contraste, na indústria avícola, Martinelli et al. (2020) avaliaram a ecoeficiência de diferentes sistemas de produção no sul do Brasil, correlacionando os resultados do EVA com os da ACV. Apesar dessas contribuições, as avaliações de ecoeficiência na produção animal permanecem escassas, particularmente na suinocultura.

Além disso, a fase pós-desmame na produção brasileira de leitões é amplamente sub-representada em estudos de ecoeficiência, apesar de seu papel crítico como transição entre o desmame e o peso de mercado. Durante essa fase, os leitões passam por rápido crescimento e significativas mudanças fisiológicas, necessitando de condições ótimas de bem-estar (Pluske et al., 2019). As práticas de manejo e as formulações de ração durante esse período podem influenciar consideravelmente tanto o desempenho ambiental quanto o econômico dos sistemas suinícolas (Ruiz et al., 2017).

Dada a importância da suinocultura para o desenvolvimento rural e regional em vários estados brasileiros, estudos integrados que vinculam o desempenho ambiental e econômico são essenciais. Eles promovem o crescimento racional e sustentável da cadeia produtiva e apoiam políticas de incentivo para produtores que atendam aos requisitos dos ODS. Portanto, este estudo tem como objetivo avaliar a ecoeficiência dos processos de produção em granjas especializadas na produção de leitões pós-desmame, medindo a ecoeficiência como a razão entre o valor adicionado do produto e o potencial de aquecimento global por quilograma de ganho de peso durante esta fase.

2. Materiais e Métodos

Este estudo analisou a ecoeficiência da produção confinada de leitões desmamados (de 5 a 30 kg), com cada fase de produção durando entre 45 e 50 dias. As estimativas de impacto ambiental foram obtidas utilizando dados de emissões de gases de efeito estufa de uma Avaliação do Ciclo de Vida do processo de produção. O desempenho econômico foi avaliado utilizando a métrica de Valor Econômico Adicionado. Um total de sete ciclos de produção, representando o ano de produção de 2021, foram analisados.

2.1 Caracterização do local de estudo

Dados e materiais para análises laboratoriais foram obtidos de um grupo de granjas na região sul de Mato Grosso do Sul — uma importante área produtora de suínos onde os sistemas integrados de produção de carne suína são predominantes. Essas granjas compreendem duas unidades de produção, cada uma com quatro galpões localizados a aproximadamente 32 km da fábrica de ração. Cada galpão de alvenaria, medindo 12,4 x 85 m e projetado para abrigar até 2.700 animais, é equipado com cortinas laterais, fundações de concreto, iluminação LED e sistemas automatizados para distribuição de água e ração. Os galpões apresentam ventilação por pressão negativa e pisos plásticos suspensos com perfurações para evitar o contato direto entre os animais e o esterco. Fossas de armazenamento sob os pisos coletam esterco, urina, água e resíduos de ração, enquanto o tratamento dos resíduos é realizado em lagoas de estabilização revestidas com

geomembrana; a primeira lagoa é coberta por um biodigestor, e as duas subsequentes permanecem descobertas.

2.2 Ecoeficiência

A avaliação da ecoeficiência do sistema de produção foi realizada de acordo com a ISO 14045 (ABNT, 2014c), enquanto a avaliação ambiental aderiu às normas ISO 14040 e ISO 14044 (ABNT, 2014ab). O processo de avaliação envolveu a definição do objetivo e escopo do sistema, o desenvolvimento do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) e a realização de uma Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) para estimar o potencial de aquecimento global. Posteriormente, o desempenho econômico foi avaliado utilizando a métrica EVA, com os resultados econômicos integrados aos achados ambientais para determinar a ecoeficiência geral do sistema.

2.2.1 Objetivo e escopo

A ecoeficiência da produção de leitões desmamados foi avaliada analisando o EVA em relação ao desempenho ambiental do processo. Ambas as métricas foram calculadas utilizando uma unidade funcional de 1 kg de peso vivo de leitão. Esta metodologia adere às diretrizes estabelecidas pelo Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD, 2000) e é suportada por estudos anteriores (Martinelli et al., 2020; Pietramale, 2020).

2.2.2 Avaliação Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida

O objetivo desta Avaliação do Ciclo de Vida foi estimar as emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) produzidas durante a produção de suínos na fase pós-desmame. Essa avaliação considerou fatores como a dieta animal e o tratamento de efluentes dentro de um sistema confinado, climatizado e automatizado. Uma unidade funcional (UF) de 1 kg de peso vivo (PV) de leitão, representando leitões prontos para a fase de crescimento-terminação, foi empregada. Consequentemente, a ACV adotou uma abordagem "do berço ao portão da fazenda", incorporando todas as entradas e saídas no inventário do ciclo de vida durante um período de produção de um ano.

Sistema de Produto, Limites do Sistema e Alocação: O sistema de produto avaliado faz parte de uma configuração de produção verticalmente integrada. Além das métricas de produção animal — incluindo peso vivo inicial (PVI), peso vivo final (PVF), ganho de peso (GP) em quilogramas de peso vivo, dias em ração, consumo médio de ração, tempo gasto na fase de desmame-crescimento e taxa de mortalidade — dados sobre a produção de quatro tipos de ração utilizados no programa alimentar foram essenciais. Essas rações foram formuladas e fornecidas por uma empresa brasileira especializada em nutrição suína, com base no teor médio nacional de proteína bruta (PB) de milho e farelo de soja do Compêndio Brasileiro de Alimentos para Animais (SINDIRAÇÕES, 2023) e nas porcentagens de PB para farinha de carne e farinha de biscoito das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno et al., 2017).

Os limites do sistema abrangeram todas as entradas e saídas para cada etapa de produção. Começou com a produção de ração — que incluiu o consumo de combustível para transporte, cultivo de culturas, produção de fertilizantes, sementes, agroquímicos e emissões de óxido nitroso de fertilizantes agrícolas, bem como o processamento na

fábrica de ração — e se estendeu pelas fases de criação de leitões, contabilizando o fornecimento de ração, o uso de energia e o transporte associado ao sistema de produção. Os limites concluíram com o sistema de tratamento de resíduos, incorporando potenciais emissões relacionadas a carbono e nitrogênio, potencial de produção de biogás e geração de eletricidade, conforme ilustrado na Figura 1.

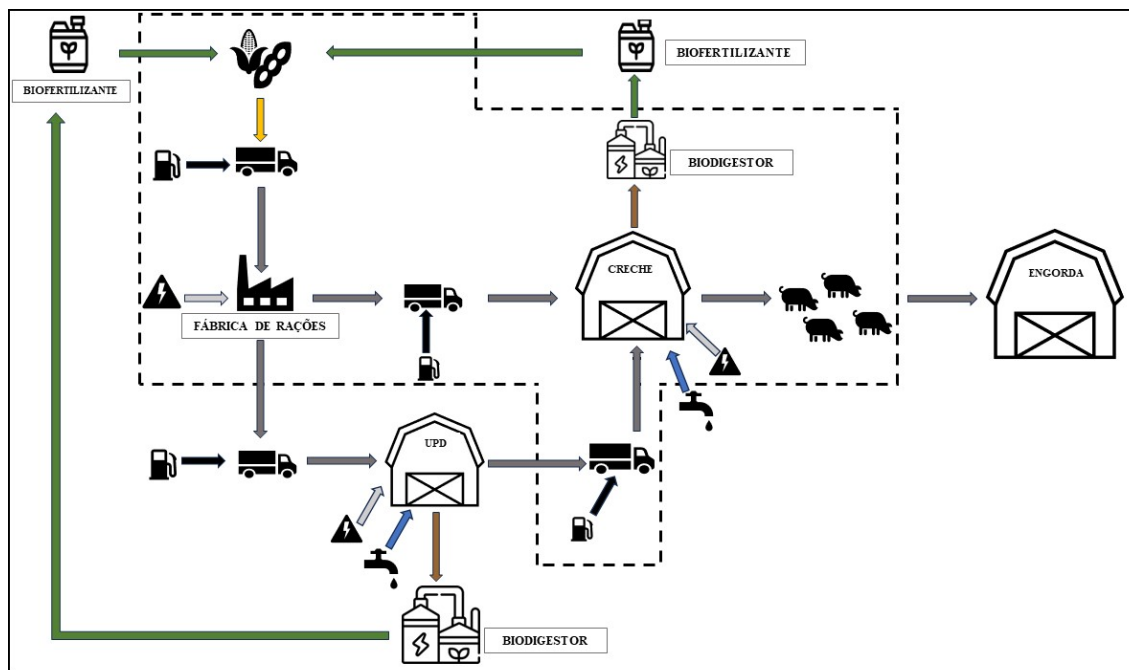


Figura 1: Limites de produção do sistema avaliado - criação de leitões durante a fase pós-desmame.

O procedimento de alocação empregado neste estudo foi a alocação por massa, com a unidade funcional (UF) definida como 1 kg de ganho de peso (GP).

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 2: Método de alocação aplicado no Inventário do Ciclo de Vida da produção de leitões pós-desmame.

Inventário do Ciclo de Vida: A construção do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) e a subsequente Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) foram divididas em três fases, conforme ilustrado na Figura 1: (i) Produção de Ração; (ii) Criação de Animais; e (iii) Sistema de Tratamento de Resíduos. Os dados coletados nessas etapas foram integrados à estrutura do ICV.

Para os processos de produção de ração, os cálculos foram realizados com base no arranjo de uma fábrica de ração suína regional. Dados sobre o cultivo de grãos (anteriores ao processamento da ração) foram obtidos do banco de dados Ecoinvent® versão 3.8 e processados utilizando o software SimaPro® (versão PhD 9.2.0.2). O método ReCiPe, conforme recomendado por Laso et al. (2018), foi empregado para analisar o processo de produção de ração.

As emissões de carbono (C) e nitrogênio (N) durante a criação dos animais foram estimadas com base nas quantidades de ração ingerida, processada e excretada pelos animais.

As emissões associadas ao transporte de ração e animais foram calculadas utilizando dados primários sobre as distâncias de viagem entre a origem dos leitões e a granja de desmame-crescimento, bem como entre a granja de desmame-crescimento e a fábrica de ração. As emissões de CO₂ do diesel foram calculadas utilizando fatores de emissão fornecidos pela CETESB (2021), que seguem a metodologia de Potencial de Aquecimento Global (GWP) delineada pelo IPCC (2006a). Para caminhões pesados a diesel com eficiência de combustível média de 3,3 km/l, o fator de emissão de CO₂ foi determinado em 2,603 kg/l para veículos fabricados entre 2005 e 2018.

O consumo de energia elétrica da granja foi calculado por quilograma de ganho de peso (GP) de leitão para cada tipo de ração durante o período de estudo, aplicando um fator de emissão de 0,000126 kg de CO₂ equivalente por kWh (MCTI, 2021).

Durante a fase de criação dos animais, as emissões relacionadas ao aquecimento da granja foram estimadas para os primeiros 12 dias de alojamento (aplicável apenas às rações 1 e 2). O uso de lenha foi quantificado em metros cúbicos por quilograma de GP, convertido em unidades de energia (MJ), e as emissões correspondentes de CO₂ equivalente foram determinadas utilizando um fator de emissão de 0,0157 kg de CO₂ equivalente por MJ para lenha de eucalipto, com base no banco de dados Ecoinvent®.

As estimativas de emissão do tratamento de resíduos foram derivadas de amostras coletadas de dois lotes avaliados. Cada amostra de lote foi distribuída em quatro períodos correspondentes às dietas dos animais para os quatro tipos de ração utilizados. A amostragem foi realizada em quatro pontos dentro do sistema de tratamento de resíduos: a entrada do biodigestor, a lagoa secundária pós-biodigestor, a entrada da lagoa terciária e o efluente armazenado na lagoa terciária.

As análises de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e pH seguiram as metodologias APHA (2012). Análises adicionais em amostras secas foram realizadas por um laboratório agrônomo em Maracaju-MS, auditado pelo Laboratório Federal de Defesa Agropecuária (LFDA – SP).

Após as análises laboratoriais, os resultados foram empregados em modelos para estimar as emissões de carbono (C) e nitrogênio (N), seguindo a metodologia proposta por Cherubini et al. (2015) no Brasil, que incorpora achados de vários estudos renomados (Sommer et al., 2004; IPCC, 2006a,b; Dämmgen & Hutchings, 2008; Hamelin et al., 2010; Hutchings et al., 2013). As emissões de gases de efeito estufa (GEE) do esterco foram estimadas utilizando o método Tier 2 delineado no IPCC (2006a, v.4, Capítulo 10).

Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV): Após a conclusão do inventário, uma Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida foi conduzida aplicando fatores de caracterização às emissões do ICV, padronizando assim os grupos de emissões em uma métrica comum (kg de CO₂ equivalente) de acordo com as diretrizes da FAO (2018). O método ReCiPe foi selecionado para a avaliação, pois oferece uma estrutura robusta para avaliar impactos ambientais, harmonizando dados específicos de sistemas de produção animal (Laso et al., 2018).

2.3 Valoração do Sistema de Produto

Receitas, custos e despesas foram derivados dos relatórios financeiros e contábeis das granjas estudadas durante um período de um ano. Esses dados foram utilizados para calcular o Lucro Operacional Líquido Após Impostos (NOPAT) e o Ativo Fixo Líquido, que juntos foram considerados o capital investido.

O cálculo do Valor Econômico Adicionado (EVA) exigiu diversos indicadores financeiros, incluindo o Custo de Capital Próprio (Ke), o Custo Médio Ponderado de Capital (WACC), NOPAT, Patrimônio Líquido e Dívida. A soma do Patrimônio Líquido e da Dívida constitui o Capital Investido (CI). O Retorno sobre o Investimento (ROI) foi então calculado como a razão entre NOPAT e CI.

O Custo de Capital Próprio (K_e) foi determinado utilizando o Modelo de Precificação de Ativos Financeiros (CAPM), que foi selecionado com base em *benchmarking* de Assaf Neto (2021) por sua comprovada adequação em contextos brasileiros. Este método incorpora indicadores econômicos representativos e consistentes dos Estados Unidos (EUA) para estimar o desempenho futuro da empresa, tornando-o o modelo preferido para o cálculo dos custos de capital no Brasil. Assim, K_e foi calculado utilizando a fórmula padrão do CAPM, incorporando a Taxa de Risco Brasil e a inflação doméstica, enquanto excluía a inflação dos EUA, conforme delineado na equação abaixo:

Equação 1

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

Onde:

R_f representa a taxa global livre de risco, determinada pela taxa de juros paga sobre títulos emitidos por séries históricas de dez anos do Tesouro dos EUA.

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

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

$RiskBR$ representado pelo índice EMBI+, ou Risco Brasil, que foi criado pelo JP Morgan com o objetivo de medir as flutuações dos mercados emergentes (IPEADATA, 2023);

$INFBR$ e **$INFUSA$** representam a inflação anual dos preços de bens e serviços no Brasil e nos EUA.

Assim, o Custo de Capital Próprio foi determinado compilando todos os índices necessários para o CAPM, conforme detalhado na Tabela 1. A taxa global livre de risco foi derivada de títulos do Tesouro dos EUA com vencimentos superiores a 10 anos.

Tabela 1 – Índices do Modelo CAPM Utilizados para Determinar o Custo de Capital Próprio (K_e)

Índices	Valores	Fonte
B desalavancado	0,7	Damodaran ¹
R_f - T-bonds >10 years	4,16%	U.S. Department of the Treasury ²
R_m - S&P 500	10,19%	S&P Dow Jones ³
Prêmio de risco BR	2,16%	JP Morgan ⁴
BR inflação	5,79%	Ipeadata ⁴ e Global-rates ⁵
EUA inflação	6,45%	Global-rates ⁵
K_e	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>. Accessed on 08/11/2023.

Com o Custo de Capital Próprio definido, foi necessário determinar o Custo Médio Ponderado de Capital (WACC) devido à presença de capital de terceiros (financiamento) no capital investido. O WACC representa o custo de oportunidade de investir no negócio e é calculado como a média ponderada do Custo de Capital Próprio (K_e) e do custo de capital externo (K_d), como empréstimos e financiamentos (Assaf Neto, 2021). Para calcular o WACC, a proporção de cada tipo de capital em relação ao valor total investido foi determinada e convertida para dólares americanos a uma taxa de câmbio de 4,94, em 22 de agosto de 2023, conforme mostrado na Figura 3.

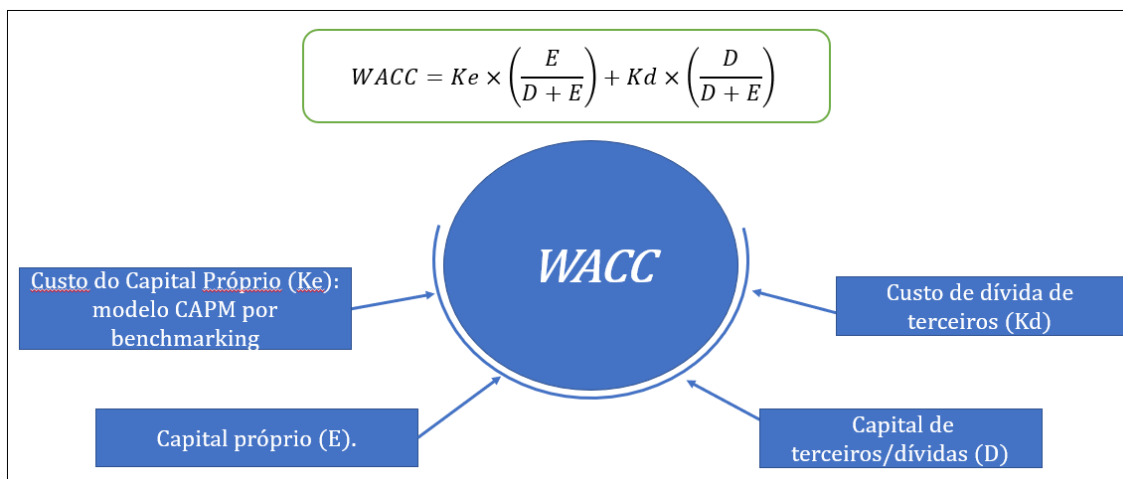


Figura 3: Componentes da Fórmula do Custo Médio Ponderado de Capital (WACC) e suas interrelações.

Portanto, o WACC foi calculado utilizando os valores anuais do Custo de Capital Próprio e Dívida da unidade de produção (Tabela 2).

Tabela 2 – Custo Médio Ponderado de Capital (WACC) para a produção de Leitões Pós-desmame (em US).

	Capital Próprio	Capital de Terceiros
Investimentos	US\$ 0,03	US\$ 1,27
Custo de capital	9,88%	7,50%
WACC	7,55%	

Finalmente, o EVA foi calculado subtraindo o Custo Médio Ponderado de Capital (WACC) do Retorno sobre o Investimento (ROI) e, em seguida, multiplicando a diferença pelo Capital Investido (CI) (Assaf Neto, 2021). O EVA resultante indica o valor líquido gerado — ou perdido — por unidade funcional, expresso em quilogramas de ganho de peso (kg GP).

2.4 Quantificação da ecoeficiência

O indicador de ecoeficiência para o sistema avaliado foi estabelecido correlacionando o valor do sistema de produto com os resultados da avaliação ambiental. Nesta estrutura, a ecoeficiência é definida como a razão entre o desempenho econômico e o impacto ambiental potencial, conforme ilustrado na Equação 2.

Equação 2

$$Eco - efficiency = \frac{EVA}{GWP}$$

Onde:

EVA = valor econômico adicionado, em dólares americanos por quilograma de ganho de peso; e,

GWP = potencial de aquecimento global, em CO₂ eq. por quilograma de ganho de peso.

A ISO 14045 estabelece os padrões para a realização de avaliações de ecoeficiência, especificando que as comparações dos resultados da avaliação devem ser baseadas nos indicadores de impacto ambiental definidos dentro do escopo (ABNT, 2014c). Por exemplo, ao avaliar o potencial de aquecimento global em conjunto com uma abordagem econômica utilizando o valor adicionado, o indicador de ecoeficiência é expresso como \$EVA/kg CO₂eq, representando o valor econômico gerado em relação às contribuições para o aquecimento global (Martinelli et al., 2020).

3. Resultados e Discussões

3.1 Avaliação ambiental

As emissões no Inventário do Ciclo de Vida foram convertidas em quilogramas de CO₂ eq. para avaliar a contribuição do sistema de produto para a categoria de impacto de Mudança Climática. Os resultados indicam que as emissões médias de GEE foram de 10,07 kg de CO₂ eq. por quilograma de ganho de peso (Tabela 3). No entanto, variações entre os lotes foram observadas, com emissões variando de 7,91 kg de CO₂ eq. no lote 2 a 13,82 kg de CO₂ eq. no lote 6. As maiores emissões no lote 6 correlacionaram-se com uma taxa de mortalidade de 3,99%, o que afetou adversamente seu desempenho ambiental. Rudolph et al. (2018) sugerem que taxas de mortalidade mais altas exacerbam as perdas produtivas, consequentemente prejudicando o desempenho ambiental das operações de criação de animais.

Tabela 3 – Emissões de GEE por fonte de emissão da produção de leitões pós-desmame

Fonte de emissão	Média
CO ₂ eq. processamento ração	0,3964
CO ₂ eq. transporte dos leitões	0,1839
CO ₂ eq. Transporte ração	0,0141
CO ₂ eq. kWh ração	6,21E-06
CO ₂ eq. kWh alojamento	4,74E-06
CO ₂ eq. aquecimento	0,4693
CO ₂ eq dejetos fresco	8,5501
CO ₂ eq tratamento de dejetos e pós-biodigestão	0,3897
CO ₂ eq digestato armazenado	0,0674
Total CO₂eq / kg GP*	10,0708

*GP=ganho de peso

Diferenças no desempenho animal — especificamente o ganho de peso por lote — influenciaram significativamente a variabilidade das emissões. Um maior ganho de peso por lote foi associado a menores emissões por quilograma de ganho de peso, reforçando a ligação entre o desempenho animal aprimorado e a redução das emissões. Este achado é consistente com estudos anteriores, que demonstram que a melhoria das métricas de produtividade, como o ganho de peso, pode mitigar a pegada ambiental da

produção suínola (Pietramale et al., 2021; Pelletier et al., 2010; Sonesson et al., 2016; Reckmann et al., 2015). Além disso, intervenções combinadas no tratamento de resíduos poderiam reduzir as emissões associadas em até um quinto até 2050, conforme destacado por Gao e Cabrera Serrenho (2023).

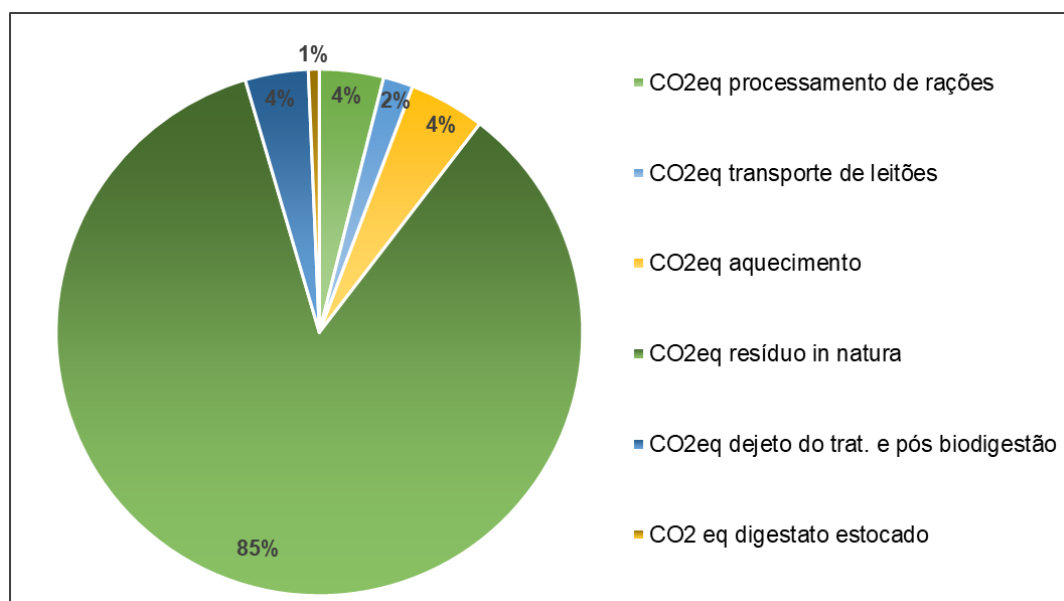


Figura 4 - Participação das principais fontes de emissões de GEE no sistema avaliado.

Ao analisar o Potencial de Aquecimento Global (GWP) das emissões de resíduos gerados pela estrutura de alojamento, esta fonte foi considerada a de maior impacto nas emissões totais, atingindo 8,55 kg CO₂ eq./UF (ver Figura 4). Excluindo esta fonte, cada leitão desmamado contribuiu com 1,54 kg CO₂ eq./UF, com as emissões distribuídas da seguinte forma: 25,7% do processamento de ração, 44% da criação animal e 29,7% do tratamento de resíduos. Esses achados contrastam com os reportados por Reckmann et al. (2013), que indicaram contribuições de GWP de 63% para a produção de ração, 30% para a criação de suínos e 7% para o abate no norte da Alemanha. Essa discrepância pode ser atribuída à reutilização de biogás para produção de energia, uma estratégia que provavelmente reduziu as emissões associadas ao manejo de esterco.

Em relação ao manejo de resíduos, o uso de biodigestores como método de tratamento resultou na evitação de aproximadamente 70% das emissões potenciais de gases de efeito estufa. Um resultado similar foi reportado por Ankathi et al. (2023), que verificaram que cerca de 71% das emissões foram evitadas quando biodigestores foram usados para tratar resíduos de produção de alimentos e animais.

Ali et al. (2017) reportaram que cada leitão desmamado emitiu 33,1 kg CO₂ eq. (equivalente a 1,37 kg CO₂ eq./PV), em contraste com os 66,53 kg CO₂ eq. por leitão observados neste estudo ao combinar as emissões da origem dos leitões (Tabela 2) com as da fase de desmame-crescimento. É importante notar que Ali et al. (2017) não consideraram as emissões provenientes do tratamento de resíduos; sem esta etapa, as emissões em nosso estudo totalizariam 50,71 kg CO₂ eq. por leitão. Essa discrepância pode ser explicada por diferenças na idade e peso dos leitões ao final da fase de desmame-crescimento. Especificamente, Ali et al. avaliaram leitões com 35–39 dias de idade e peso médio de 24 kg PV, enquanto em nosso estudo a idade de desmame foi de 52 dias e o peso final foi de 28 kg PV (ver Tabela 1).

3.2 Avaliação da ecoeficiência do sistema de produção

A avaliação da sustentabilidade de um sistema de produção exige a integração de três dimensões: ambiental, econômica e social (Kruger et al., 2022). Este estudo enfatiza a combinação das perspectivas ambiental e econômica por meio de um único indicador — a ecoeficiência. Embora cada dimensão tenha sido avaliada separadamente, a métrica de ecoeficiência permite uma avaliação abrangente, proporcionando uma visão holística da sustentabilidade. Aqui, o objetivo foi aprimorar a ecoeficiência, criando valor por meio da redução das emissões de GEE, como igualmente buscado por ITEN et al. (2021).

No geral, os lotes avaliados demonstraram baixo desempenho animal, conforme indicado pelo modesto ganho de peso médio durante o período de alojamento de 52 dias. Esse baixo desempenho afetou consideravelmente o valor por animal ao final do lote, uma vez que os custos operacionais do suinocultor integrado são predominantemente fixos (aproximadamente 84%) e exibem variação mínima com a duração do alojamento. Entre os custos variáveis, as despesas com eletricidade mostraram o aumento mais significativo, pois períodos de alojamento mais longos levaram a um maior consumo de energia.

Os resultados da análise econômico-financeira, apresentados na Tabela 5, revelam que apenas o Lote 7 alcançou uma receita operacional líquida satisfatória, cobrindo todos os custos e gerando um ROI positivo. O Lote 7 também produziu um valor adicionado marginal de US\$ 0,01 por leitão ao final da fase de desmame-crescimento, enquanto os lotes restantes não geraram valor econômico além do custo de capital estabelecido.

Tabela 5 - Resultados operacionais e desempenho econômico da produção de leitões pós-desmame.

Lotes	GP (kg)	ROL / cbç (US\$)	CO / cbç (US\$)	NOPAT / cbç (US\$)	ROI	EVA / cbç (US\$)	EVA / kg GP (US\$)
1	19.97	2.81	2.85	-0.04	-3%	-0.14	-0.01
2	22.91	2.67	2.86	-0.19	-15%	-0.29	-0.01
3	23.42	2.82	2.86	-0.04	-3%	-0.14	-0.01
4	23.00	2.72	2.84	-0.11	-9%	-0.21	-0.01
5	22.37	2.65	2.84	-0.19	-15%	-0.29	-0.01
6	24.53	2.54	2.84	-0.31	-24%	-0.40	-0.02
7	24.99	2.95	2.84	0.11	8%	9.08E-03	3.62E-04

GP – ganho de peso; ROL – Receita Operacional Líquida; CO – custo operacional; NOPAT – Lucro Operacional Líquido Após Impostos; ROI – Retorno sobre o Investimento; EVA – Valor Econômico Adicionado.

É importante notar que, além da mortalidade específica da fase, o peso vivo médio na entrada do lote foi de apenas 5,16 kg. Este baixo peso de entrada contribuiu para a redução do desempenho animal, afetando adversamente os resultados econômicos, financeiros e ambientais, conforme indicado pelos resultados da ACV.

Além do peso de entrada, outros fatores que influenciam diretamente os custos de produção — e consequentemente, o valor adicionado — incluíram a duração do

alojamento e o ganho de peso diário. Conforme mostrado na Figura 5, ao avaliar os indicadores de sustentabilidade econômica e ambiental em relação ao desempenho animal, o Valor Econômico Adicionado correlacionou-se com a duração do alojamento até o lote 4. A partir do lote 5, períodos de alojamento prolongados foram associados a valores de EVA cada vez mais negativos, com ganhos econômicos tornando-se positivos apenas no lote 7.

Por outro lado, as taxas de mortalidade exibiram um padrão diferente. Até o lote 4, taxas de mortalidade mais altas foram associadas a um EVA mais baixo e a emissões mais elevadas. No entanto, após o lote 4, apenas o EVA manteve uma relação inversa com a mortalidade, enquanto as emissões se alinharam mais diretamente com este indicador de desempenho (ver Figura 5).

Wang et al. (2021) destacaram que melhorar a sobrevivência dos leitões durante a fase de desmame-crescimento é crucial para maximizar os ganhos econômicos. Da mesma forma, Sundrum (2024) argumenta que o aumento da produtividade animal leva a um melhor desempenho econômico e financeiro — um resultado alcançável apenas através de investimentos em técnicas avançadas de manejo e tecnologias de ponta na suinocultura. Essa melhoria é evidente no lote 7, que, apesar de não registrar a menor taxa de mortalidade (ver Figura 5), alcançou o maior ganho de peso durante a fase. Em contraste, os lotes 2 e 6, que experimentaram as maiores taxas de mortalidade, também registraram os menores valores de EVA, reforçando a conclusão de que a eficiência da criação aprimorada aumenta significativamente a lucratividade para os produtores de suínos (Martinsson e Hansson, 2021).

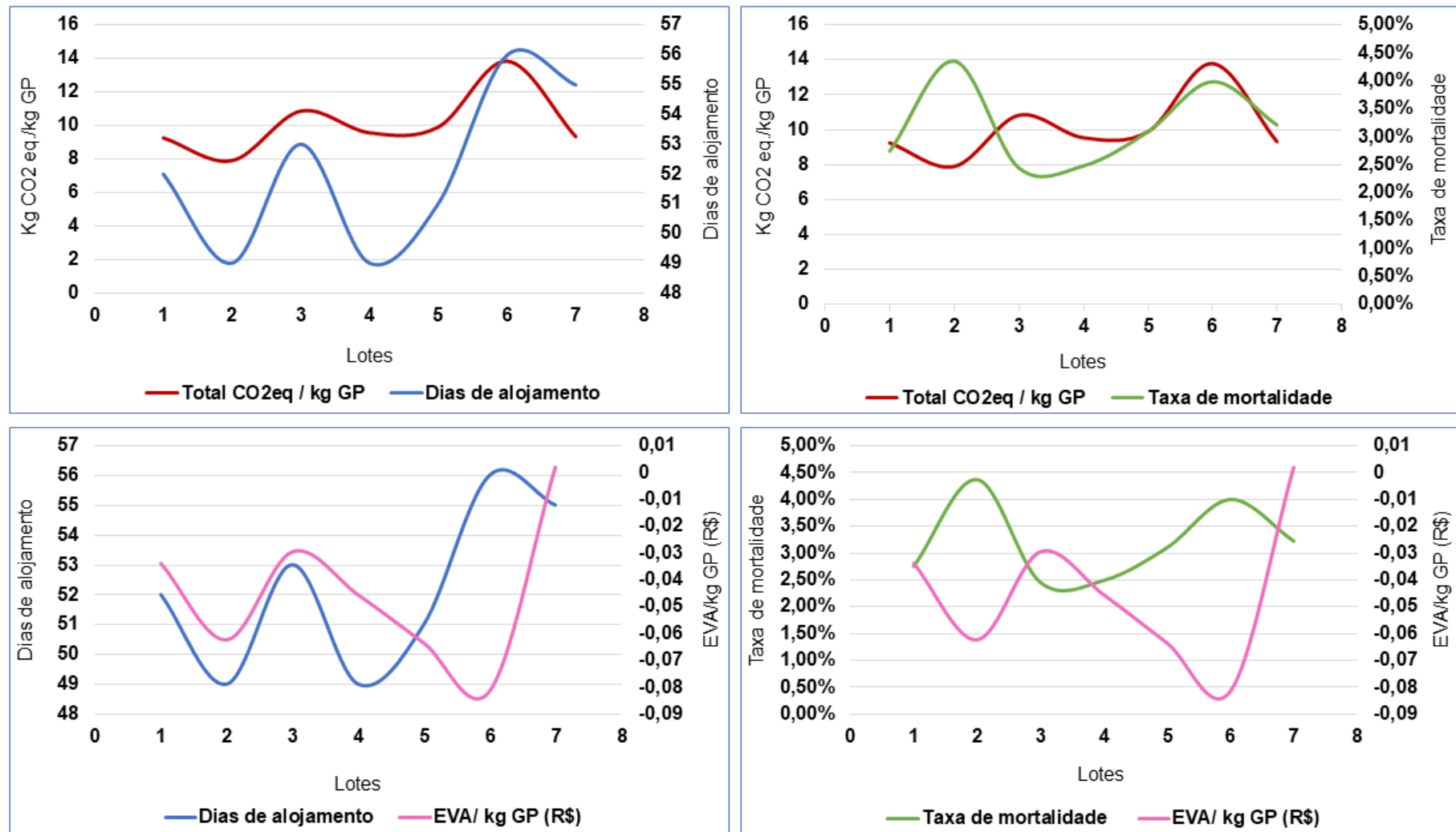


Figura 5. Comparação das Avaliações Ambientais e Econômicas em Relação aos Indicadores de Desempenho para a Produção de Leitões Pós-Desmame.

A Figura 6 oferece uma visão integrada da relação entre os impactos ambientais, medidos em CO₂ eq., e os ganhos econômicos, representados pelo EVA. A análise mostra claramente que impactos ambientais mais elevados estão associados a um valor econômico mais baixo, com um EVA positivo alcançado exclusivamente no lote 7 (ver Figura 5). Esses achados sugerem que um desempenho econômico robusto é acompanhado por uma correspondente redução nos impactos ambientais, uma relação que apoia as observações de Mickwitz et al. (2006) citadas por Pedroso et al. (2012). Além disso, esses resultados são consistentes com ITEN et al. (2021), que identificaram uma ligação direta entre a redução dos impactos ambientais e o aprimoramento dos valores de EVA.

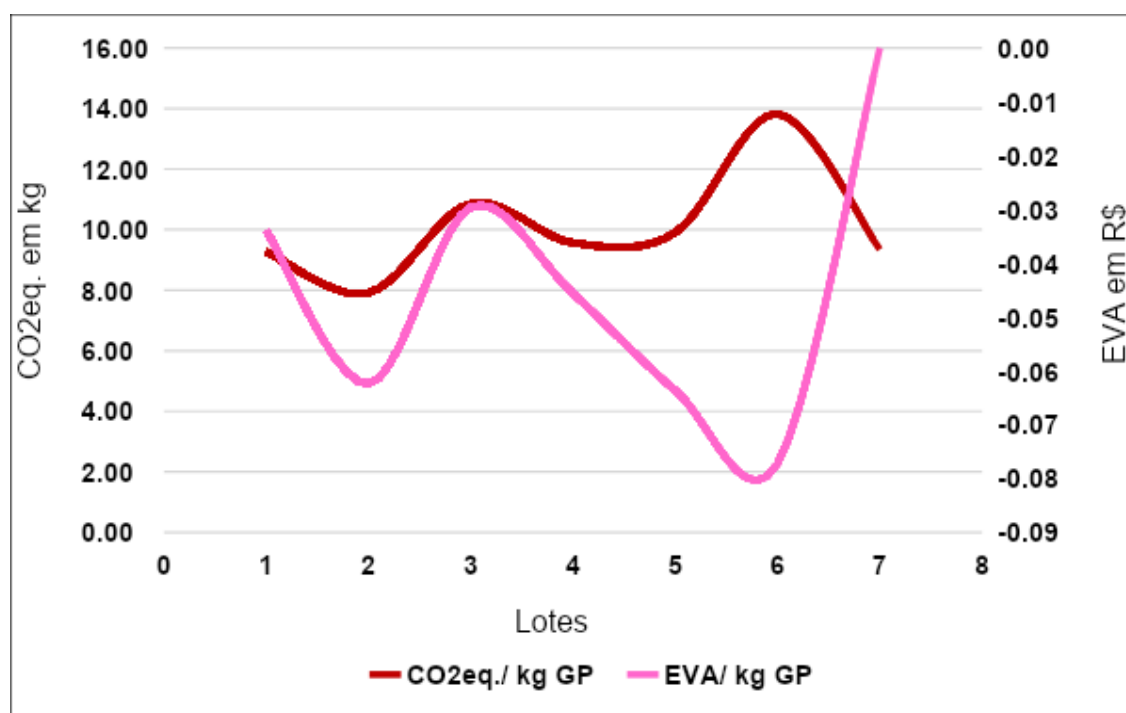


Figura 6 - Relação entre as emissões de GEE e o valor econômico adicionado da produção de leitões pós-desmame.

Prates e Bandeira (2011) afirmaram que a identificação de pontos críticos no processo de produção fomenta a criação de valor, permitindo maiores produções com menos recursos. Os resultados deste estudo indicam que, do ponto de vista ambiental, a eficiência produtiva segue um padrão similar: menores emissões correlacionam-se com uma maior probabilidade de alcançar ganhos econômicos (ver Figura 6).

A avaliação da ecoeficiência do sistema de produção revelou resultados negativos em todos os lotes, exceto no lote 7, que alcançou um resultado neutro. A ineficiência ecológica observada nos lotes 1 a 6 (Tabela 6) é consistente com os achados de Alencar et al. (2019), que reportaram ineficiência ecológica na suinocultura em vários estados brasileiros. Notavelmente, entre os estados avaliados, Mato Grosso do Sul demonstrou o melhor desempenho econômico-ambiental, embora ainda operasse dentro de uma estrutura geral de ineficiência ecológica.

Tabela 6 - Avaliação de Ecoeficiência da Produção de Leitões Pós-Desmame.

Lote	EVA/ kg GP (US\$)	CO ₂ eq./ kg GP (kg)	Ecoeficiência (US\$/ kg CO ₂ eq.)
1	-0.0069	9.2415	-0.0007
2	-0.0126	7.8916	-0.0016
3	-0.0060	10.8272	-0.0006
4	-0.0092	9.5420	-0.0010
5	-0.0129	9.8792	-0.0013
6	-0.0165	13.7986	-0.0012
7	0.0004	9.3158	0.0000
MD	-0.0091	10.0708	-0.0009
SD	0.0055	1.8615	0.0005

MD = média; SD = desvio padrão.

A ecoeficiência é uma ferramenta valiosa de apoio à tomada de decisões, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Ela provou ser especialmente eficaz para guiar sistemas de produção em áreas ecologicamente frágeis. Zhang et al. (2023) enfatizam que alinhar a estrutura industrial com a ecoeficiência é crucial para o desenvolvimento sustentável nessas regiões. Além disso, a aplicação da ACV dentro da estrutura de ecoeficiência permite que os suinocultores identifiquem as principais áreas de melhoria, facilitando assim o progresso em direção a operações mais sustentáveis. Por outro lado, a intervenção governamental por meio de políticas de incentivo à produção deve visar não apenas a fomentar a sustentabilidade, mas também a garantir a lucratividade dos produtores.

3.2 Ecoeficiência com a inclusão de Políticas Públicas de Incentivo (PPI)

Com base nos resultados de ecoeficiência da produção, onde seis das sete cargas analisadas exibiram valores negativos para NOPAT, ROI e EVA (Tabela 7), um programa de incentivo público implementado no estado onde as cargas foram produzidas foi incluído na análise. A política pública, conhecida como Leitão Vida, oferece benefícios financeiros aos suinocultores que estão associados a uma entidade setorial, demonstram eficiência produtiva, aplicam boas práticas de produção — incluindo manejo de resíduos e bem-estar animal de acordo com a IN 113, que garante a saúde animal e a gestão da qualidade — e cumprem os padrões de produção ambientalmente sustentável, conforme recomendado pelo Programa MS Carbono Neutro (Peres, 2021; Armôa, 2021).

No ano analisado, o programa Leitão Vida concedeu um incentivo financeiro médio de US\$0,36 por animal, levando a melhorias nos valores de NOPAT, ROI e EVA (Tabela 7). Esta iniciativa governamental apoia as unidades de produção, fomentando a inovação tecnológica e contribuindo significativamente para o desenvolvimento da suinocultura regional, servindo como modelo para outros estados produtores de suínos no país. A receita adicional por leitão produzido aumentou os resultados operacionais, levando a valores positivos de EVA para todos os lotes, exceto o lote 6 (Tabela 7). O apoio financeiro fornecido pelo programa Leitão Vida também melhorou a ecoeficiência dos lotes, com um aumento médio de US\$0,0007/kg CO₂eq por quilograma de ganho de peso do leitão (Tabela 7).

Tabela 7 - Ecoeficiência da Produção de Leitões Pós-Desmame com Políticas Públicas de Incentivo.

Lote	NOPAT/cbç (US\$)	ROI	EVA/cbç (US\$)	EVA/kg GP (US\$)	CO ₂ eq./kg GP (kg)	Ecoeficiência (US\$/kg CO ₂ eq.)
1	0,321	25%	0,223	0,0112	9,2415	0,0012
2	0,169	13%	0,071	0,0031	7,8916	0,0004
3	0,318	24%	0,220	0,0094	10,8272	0,0009
4	0,246	19%	0,148	0,0064	9,5420	0,0007
5	0,170	13%	0,072	0,0032	9,8792	0,0003
6	0,054	4%	-0,044	-0,0018	13,7986	-0,0001
7	0,467	36%	0,369	0,0148	9,3158	0,0016
MD	0.2492	19%	0.1511	0.0066	10.0708	0.0007
SD	0.1344	0.1033	0.1344	0.0056	1.8615	0.0005

MD = média; SD = desvio padrão.

Em um estudo realizado na China sobre políticas de regulação ambiental e incentivos à produção regional, Wang et al. (2021) destacaram a importância da proatividade dos produtores de suínos em relação às políticas públicas, sejam elas de incentivo ou regulatórias. Os autores atribuíram a disposição dos produtores em investir na produção sustentável às regulamentações ambientais e ao Plano Nacional de Desenvolvimento da Produção Suína da China, implementado entre 2016 e 2020. Esta política visava melhorar a eficiência da produção, aumentar os investimentos em avanços tecnológicos e aprimorar as qualificações dos produtores de suínos, particularmente em unidades de creche e terminação. Embora alguns estudos sugiram que as políticas regulatórias ambientais podem criar incertezas para os produtores, Wang et al. (2022) questionaram se essas políticas, quando combinadas com outras iniciativas governamentais, poderiam alcançar um equilíbrio entre sustentabilidade e lucratividade.

O programa Leitão Vida, ao exigir que os suinocultores regionais cumpram as recomendações do MS Carbono Neutro (Armôa, 2021), apoia o equilíbrio descrito por Wang et al. (2022). A inclusão do incentivo financeiro de US\$0,36 por cabeça dentro do programa Leitão Vida permitiu que o indicador de ecoeficiência atingisse valores positivos.

Atualmente, o maior desafio na suinocultura sustentável é equilibrar um desempenho ambiental eficaz com resultados financeiros positivos para aumentar o valor econômico gerado para os suinocultores. Esse equilíbrio cria condições mais favoráveis para atender às demandas sociais da indústria, que ainda podem exigir mais investimentos. Alcançar um Valor Econômico Adicionado (EVA) positivo deve ser um objetivo de longo prazo para o setor, pois permite o reinvestimento em tecnologias e práticas de manejo voltadas para a mitigação dos impactos ambientais, melhorando assim a ecoeficiência da produção.

No geral, os resultados sugerem que um forte desempenho econômico está associado a impactos ambientais reduzidos. Este achado alinha-se com as conclusões de Mickwitz et al. (2006), conforme citado por Pedroso et al. (2012) e Pérez Urdiales et al. (2012), e é ainda reforçado por estudos recentes de Emrouznejad et al. (2023), que analisam a ecoeficiência no contexto das metas NetZero e da análise de envoltória de dados.

4. Conclusões

A análise dos resultados e discussões apresentados neste estudo fornece *insights* importantes sobre a ecoeficiência da produção de leitões desmamados. Os achados indicam que as emissões médias de GEE variaram entre os lotes, com uma correlação direta entre o desempenho animal e as emissões. Lotes com maior ganho de peso exibiram menores emissões, alinhando-se com estudos anteriores que sugerem que melhorias nas métricas de produtividade podem mitigar a pegada ambiental da produção suinícola. A ecoeficiência, como um indicador integrado, provou ser uma ferramenta valiosa para identificar pontos críticos no processo de produção e promover a criação de valor por meio da redução das emissões de GEE.

Os resultados também demonstram que a implementação de políticas públicas de incentivo, como o programa Leitão Vida, pode aprimorar significativamente tanto o desempenho econômico quanto o ambiental. Os benefícios financeiros proporcionados pelo programa levaram a melhorias nos valores de NOPAT, ROI e EVA, destacando o papel das iniciativas governamentais no fomento à inovação tecnológica e na contribuição para o desenvolvimento sustentável da suinocultura.

Em conclusão, este estudo reforça a importância de uma abordagem integrada para a avaliação da sustentabilidade na produção suína, combinando eficiência produtiva, redução de emissões e políticas públicas de incentivo. A adoção de práticas de manejo mais eficientes e investimentos em tecnologias avançadas são essenciais para alcançar sistemas de produção de suínos cada vez mais sustentáveis.

Finalmente, este estudo enfrentou limitações devido à falta de informações detalhadas sobre os lotes analisados, como idade dos leitões, uso de medicamentos e vacinas, materiais de limpeza e desinfecção química, e as características construtivas das instalações. Esses dados forneceriam uma base mais abrangente para a avaliação do ciclo de vida e as estimativas de emissões de GEE. Adicionalmente, há a necessidade de coletar dados produtivos e financeiros de um número maior de lotes ao longo dos anos subsequentes para estabelecer uma série temporal, permitindo comparações e inferências mais robustas em relação à ecoeficiência da produção de leitões na fase pós-desmame.

5. Recomendações para pesquisas futuras

Estudos futuros devem abordar as seguintes áreas:

- **Investigação de Tecnologias de Manejo:** Dada a forte correlação entre eficiência produtiva e redução de emissões, pesquisas futuras devem focar no desenvolvimento e implementação de tecnologias de manejo que aprimorem ainda mais o desempenho animal, ao mesmo tempo em que reduzem as emissões de GEE. Estudos poderiam explorar o impacto de diferentes práticas de manejo, como alimentação de precisão e sistemas avançados de ventilação, na ecoeficiência da produção de suínos.
- **Análise de Políticas Públicas:** A implementação de políticas públicas de incentivo, como o programa Leitão Vida, provou ser eficaz na melhoria de indicadores econômicos e ambientais. Pesquisas futuras devem avaliar o impacto

de diferentes tipos de políticas públicas em várias regiões de produção, bem como examinar a eficácia de incentivos financeiros adicionais ou regulamentações ambientais mais rigorosas na promoção da suinocultura sustentável.

- **Estudos de Longo Prazo:** A realização de análises de longo prazo dos impactos econômicos e ambientais das práticas de produção de suínos pode fornecer *insights* valiosos sobre a sustentabilidade da cadeia produtiva. Pesquisas futuras devem focar no monitoramento de lotes ao longo de múltiplos ciclos de produção para avaliar a consistência dos resultados e identificar tendências da indústria.
- **Integração de Dimensões Sociais:** Embora este estudo tenha focado principalmente nos aspectos ambientais e econômicos, a sustentabilidade também depende de fatores sociais. Pesquisas futuras devem incorporar a análise de dimensões sociais, como bem-estar animal e condições de trabalho dos funcionários, para fornecer uma avaliação mais abrangente da sustentabilidade na produção de suínos.

AGRADECIMENTOS Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul - Chamada Fundect 18/2021 - MS Carbono Neutro.

REFERÊNCIAS

Abdella, G. M., et al. (2021). A novel approach for developing composite eco-efficiency indicators: The case for US food consumption. *Journal of Cleaner Production*, 299, 126931. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126931>

Alencar, P. A. (2019). Eco-efficiency and shadow price of greenhouse gas emissions in Brazilian pig farming. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 12(2), 377-408. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p377-408>

Ali, B. M., et al. (2018). A stochastic bio-economic pig farm model to assess the impact of innovations on farm performance. *Animal*, 12(4), 819-830. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002185>

Andretta, I., et al. (2018). Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. *Animal*, 12(9), 1990-1998. <https://doi.org/10.1017/S1751731118000446>

American Public Health Association. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22nd ed.). Washington, DC: APHA.

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

carbono-neutro-em-2030-e-vai-para-cop-26-com-metas-ousadas/ Accessed in december 2024.

Assaf Neto, A. (2021). Valuation - Value Metrics and Company Valuation. Bueri (SP): Grupo GEN. <https://doi.org/10.7765/ebook>

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014a). NBR 14040: Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Structure. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014b). NBR 14044: Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014c). NBR 14045: Environmental management - Eco-efficiency Assessment of Product Systems - Principles, Requirements and Guidelines. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Proteína Animal. (2021). Annual Report 2021. <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>. Accessed in March 2022.

Associação Brasileira de Proteína Animal. (2022). Annual Report 2022. <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>. Accessed in July 2023.

Ankathi, S. K., Chaudhari, U. S., Handler, R. M., & Shonnard, D. R. (2024). Sustainability of biogas production from anaerobic digestion of food waste and animal manure. *Applied Microbiology*, 4(1), 418-438.
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). (2021). Medium factor - Corporate inventories. Brasília, DF.

Cherubini, E., et al. (2015). Life cycle assessment of swine production in Brazil: A comparison of four manure management systems. *Journal of Cleaner Production*, 87, 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.092>

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). (2021). Vehicle Emissions Report of the State of São Paulo. <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>. Accessed in November 2022.

COP26 - Climate Change Conference of the Parties. (2021). COP26. <https://ukcop26.org/>. Accessed in November 2022.

Cucagna, M. E., et al. (2018). Value adding in the agri-food value chain. *International Food and Agribusiness Management Review*, 21(3), 293-316. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.284212>

Dammgen, U., & Hutchings, N. J. (2008). Emissions of gaseous nitrogen species from manure management: A new approach. *Environmental Pollution*, 154(3), 488-497. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.02.008>

Damodaran, A. (2014). *Investment valuation: Tools and techniques for determining the value of any asset* (2nd ed.). Rio de Janeiro: Qualitymark.

Emrouznejad, A., Marra, M., Yang, G., & Michali, M. (2023). Eco-efficiency considering NetZero and data envelopment analysis: A critical literature review. *IMA Journal of Management Mathematics*. <https://doi.org/10.1093/imaman/dpad022>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018). *Environmental performance of pig supply chains: Guidelines for assessment* (Version 1). Rome: FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). *Meat market review: Overview of global meat market developments in 2020* (Summary version). Rome: FAO.

Gao, Y., & Cabrera Serrenho, A. (2023). Greenhouse gas emissions from nitrogen fertilizers could be reduced by up to one-fifth of current levels by 2050 with combined interventions. *Nature Food*, 4, 170–178. <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00742-w>

Hamelin, L., et al. (2011). Environmental consequences of future biogas technologies based on separated slurry. *Environmental Science & Technology*, 45(13), 5869-5877. <https://doi.org/10.1021/es104227y>

Hamelin, L., et al. (2010). *Life Cycle Assessment of Biogas from Separated Slurry* (Environmental Project No. 1329). Aarhus University, Faculty of Agricultural Sciences. <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2010/978-87-92668-03-5/pdf/978-87-92668-04-2.pdf>. Accessed in August 2022.

Haque, M. A., & Liu, Z. (2019). Environmental footprint assessment of representative swine diets in the USA. 2019 ASABE Annual International Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/aim.201900244>

Hutchings, N. J., et al. (2013). Modelling the potential of slurry management technologies to reduce the constraints of environmental legislation on pig production. *Journal of Environmental Management*, 130, 447-456. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.022>

Iten, M., Fernandes, U., & Oliveira, M. C. (2021). Framework to assess eco-efficiency improvement: Case study of a meat production industry. *Energy Reports*, 7, 7134-7148.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006a). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Meeting Report*. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/meeting/pdfiles/Washington_Report.pdf. Accessed in January 2023.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006b). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2, Energy. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Accessed in January 2023.

Institute for Applied Economic Research (IPEA). (2023). Ipeadata - Macroeconomic and Regional Data. <https://www.ipeadata.gov.br>. Accessed in August 2023.

John, I., Kwofie, E.M. & Ngadi, M. Two decades of eco-efficiency research: a bibliometric analysis. *Environmental Sustainability* 3, 155–168 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42398-020-00105-1>

Kruger, S. D., et al. (2022). Performance measurement model for sustainability assessment of the swine supply chain. *Sustainability*, 14(16), 9926. <https://doi.org/10.3390/su14169926>

Laso, J., et al. (2018). 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*, 133, 428-437. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.019>

Martinelli, G., et al. (2020). Assessing the eco-efficiency of different poultry production systems: An approach using life cycle assessment and economic value added. *Sustainable Production and Consumption*, 24, 181-193. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.07.005>

Martinsson, E., & Hansson, H. (2021). Adjusting eco-efficiency to greenhouse gas emissions targets at farm level–The case of Swedish dairy farms. *Journal of environmental management*, 287, 112313.

McAuliffe, G. A., et al. (2016). A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. *Environmental Impact Assessment Review*, 56, 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.08.006>

Mickwitz, P., et al. (2006). Regional eco-efficiency indicators – A participatory approach. *Journal of Cleaner Production*, 14(18), 1603-1611. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.03.003>

Monteiro, A. N. T. R., et al. (2017). The impact of feeding growing-finishing pigs with reduced dietary protein levels on performance, carcass traits, meat quality and environmental impacts. *Livestock Science*, 198, 162-169. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.02.011>

Müller, K., et al. (2015). Eco-efficiency as a sustainability measure for kiwifruit production in New Zealand. *Journal of Cleaner Production*, 106, 333-342. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.051>

Pedroso, A., et al. (2012). Eco-efficiency process or actions in companies in the agro-industrial production chain of pig farming in Toledo-Paraná, Brasil. *Capital Científico*, 10(1), 1-13. <https://doi.org/10.29247/2358-260X.2012.v10i1.p1-13>

Peres, P. Produção sustentável incentivada pelo governo faz suinocultura viver melhor momento em MS. SEMADESC, fev. 2021. <https://www.semagro.ms.gov.br/producao-sustentavel-incentivada-pelogoverno-faz-suinocultura-viver-melhor-momento-em-ms/> Accessed in december 2024

Pérez Urdiales, M., Lansink, A. O., & Wall, A. (2016). Eco-efficiency among dairy farmers: the importance of socio-economic characteristics and farmer attitudes. *Environmental and Resource Economics*, 64, 559-574.

Pelletier, N., et al. (2010). Life cycle assessment of high- and low-profitability commodity and deep-bedded niche swine production systems in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems*, 103(9), 599-608. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.07.003>

Pietramale, R. T. R., et al. (2021). How much the reproductive losses of sows can be impacting the carbon footprint in swine production? *Livestock Science*, 250, 104594. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104594>

Pietramale, R. T. R. (2020). Impact of reproductive indices on the Eco-efficiency of Production of Finished Pigs in Confined Systems (Master's thesis, Universidade Federal da Grande Dourados).

Pluske, J. R., et al. (2019). Associations between gastrointestinal-tract function and the stress response after weaning in pigs. *Animal Production Science*, 59(11), 2015-2022. <https://doi.org/10.1071/AN19354>

Prates, C. C., & Bandeira, D. L. (2011). Increased efficiency through the mapping of the production flow and application of the Global Operating Yield Index in the production process of an electronic components company. *Gestão & Produção*, 18(4), 705-718. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2011000400008>

Qalase, C., & Harding, K. G. (2022). Eco-efficiency assessment of pork production through life-cycle assessment and product system value in South Africa. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 349, p. 13002). EDP Sciences.

Reckmann, K., et al. (2013). Life cycle assessment of pork production: A data inventory for the case of Germany. *Livestock Science*, 157(2-3), 586-596. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.08.002>

Reckmann, K., & Krieter, J. (2015). Environmental impacts of the pork supply chain with regard to farm performance. *The Journal of Agricultural Science*, 153(3), 411-421. <https://doi.org/10.1017/S0021859614000457>

Rostagno, H. S., et al. (2017). Brazilian tables for poultry and swine: Food composition and nutritional requirements (4th ed.). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Ruiz, U. S., et al. (2017). Enzyme complex supplementation in different nutrient levels diets on pigs feces excretion and anaerobic digestion. *Scientia Agricola*, 74(2), 180-188. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0263>

Rudolph, G., Hörtenhuber, S., Bochicchio, D., Butler, G., Brandhofer, R., Dippel, S., ... & Leeb, C. (2018). Effect of three husbandry systems on environmental impact of organic pigs. *Sustainability*, 10(10), 3796.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). (2016). Mapping of Brazilian pig farming. Associação Brasileira de Criadores de Suínos.

Sindirações. (2023). Brazilian compendium of animal feed (6th ed.). São Paulo: Sindirações.

Sommer, S. G., et al. (2004). Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 69, 143-154. <https://doi.org/10.1023/B:FRES.0000029678.58343.15>

Sonesson, U. G., et al. (2016). 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*, 21, 664-676. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1045-4>

Sundrum, Albert. Utilization of Livestock. In: *Public Welfare-Oriented Production of Food: Substantially New Impulses for a Sustainable Agro-Food Sector*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2024. p. 81-120.

Wang, G., Shen, Y., Li, C., Zhu, Q., & ZhanBota, A. (2022). The regulatory effect of herd structure on pig production under the environmental regulation. *Plos one*, 17(4), e0266687.

Wang, G., Zhao, C. E., Shen, Y., & Yin, N. (2021). Estimation of cost efficiency of fattening pigs, sows, and piglets using SFA approach analysis: Evidence from China. *Plos One*, 16(12), e0261240.

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2000). *Measuring eco-efficiency: A guide to reporting company performance*. Geneva: WBCSD.

Zhang, Q., Tang, X., Xiao, Y., Xiang, X., & Huang, H. (2023). Coordination of industrial structure and eco-efficiency in ecologically fragile areas: A case study of the Loess Plateau, China. *Journal of Environmental Management*, 331, 117237. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117237>