

AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL NA SUINOCULTURA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DAS METODOLOGIAS

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT IN PIG FARMING: A SYSTEMATIC REVIEW OF METHODOLOGIES

Autores: Gabriela Vilela dos Santos Mantovani¹, Clandio Favarini Ruviano¹, Rita Therezinha Rolim Pietramale², Willian dos Santos Flores¹.

Filiação: ¹Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). ² Embrapa Agropecuária Oeste

E-mail: gabrielasantos@ufgd.edu.br , clandioruviano@ufgd.edu.br , rolimpiezoo@gmail.com , willian.flores008@academico.ufgd.edu.br .

Grupo de Trabalho (GT): GT4. Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade

Resumo

A suinocultura desempenha papel relevante na economia global, especialmente no Brasil, com aumento significativo na produção e exportação. Contudo, esse aumento produtivo tem gerado preocupações quanto aos impactos ambientais da atividade, especialmente quanto às emissões de gases de efeito estufa (GEE). Neste contexto, o presente estudo realiza uma revisão sistemática da literatura, com base no protocolo PRISMA, visando identificar as principais metodologias empregadas na avaliação dos impactos ambientais da suinocultura. A produção científica analisada concentra-se em revistas de alto impacto (Q1 e Q2), com crescimento recente dos temas “emissões”, “impactos” e “sustentabilidade” e destaque para contribuições da Europa, China, Brasil e Cuba. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) destaca-se a metodologia predominante, presente em 82% dos estudos, sendo reconhecida como ferramenta essencial para mensurar impactos ao longo da cadeia produtiva suinícola. As estratégias de mitigação abordadas envolvem desde o manejo de dejetos e melhorias genéticas até eficiência energética e alternativas alimentares. Entretanto, limitações como dependência de dados secundários, simplificação de modelos, dificuldades na definição das fronteiras do sistema e ausência de padronização comprometem a comparabilidade dos resultados. Apesar desses desafios, avanços tecnológicos e o aprimoramento das práticas de manejo demonstram potencial promissor para tornar a atividade mais sustentável possibilitando avaliações mais precisas e contribuindo para a viabilidade ambiental e econômica de longo prazo da suinocultura.

Palavras-chave: Impacto Ambiental. Produção de Suínos. Emissões de Gases de Efeito Estufa. Metodologia de Avaliação. Revisão Sistemática.

Abstract

Pig farming plays a relevant role in the global economy, especially in Brazil, with a significant increase in production and exports. However, this increase in production has raised concerns about the environmental impacts of the activity, especially regarding greenhouse gas (GHG) emissions. In this context, this study conducts a systematic review of the literature, based on the PRISMA protocol, aiming to identify the main methodologies used to assess the environmental impacts of pig farming. The scientific production analyzed is concentrated in high-impact journals (Q1 and Q2), with recent growth in the themes “emissions”, “impacts” and “sustainability” and emphasis on contributions from Europe, China, Brazil and Cuba. Life Cycle Assessment (LCA) stands out as the predominant methodology, present in 82% of the studies, and is recognized as an essential tool for measuring impacts throughout the pig production chain. The mitigation strategies addressed involve everything from waste management and genetic improvements to energy efficiency and food alternatives. However, limitations such as dependence on secondary data, model simplification, difficulties in defining system boundaries, and lack of standardization compromise the comparability of results. Despite these challenges, technological advances and improvements in management practices demonstrate promising potential to make the activity more sustainable, enabling more accurate assessments and contributing to the long-term environmental and economic viability of pig farming.

Key words: Environmental Impact. Pig Production. Greenhouse Gas Emissions. Assessment Methodology. Systematic Review.

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura possui um papel econômico e social significativo, impulsionado pelo alto consumo global de carne suína (FAO, 2023). A produção mundial de carne suína atingiu

122 milhões de toneladas em 2023, com projeções de 131 milhões de toneladas em 2033 (OCDE/FAO, 2024).

No Brasil, o setor tem demonstrado um crescimento expressivo tanto na produção quanto nas exportações, com um aumento de 294% no abate de suínos entre 2000 e 2023. Em 2023, o país produziu 5,3 milhões de toneladas de carne suína, exportando 1,2 milhões de toneladas, o equivalente a 23% do total (IBGE, 2024). Nos últimos cinco anos, a suinocultura brasileira aumentou em 31,9% o seu Valor Bruto de Produção, consolidando-se como um setor relevante dentro do agronegócio brasileiro (ABPA, 2024). Atualmente o país é quarto maior produtor e exportador mundial desta proteína. Em 2021, a carne suína representou a segunda maior contribuição para a produção global de carne, correspondendo a 35% do total (FAO, 2022).

Esse aumento produtivo causa preocupações quanto aos reais impactos ambientais da atividade, os resíduos gerados e à liberação de materiais e gases com potencial poluente. Com o crescimento da produção suinícola, as estimativas de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) também aumentaram, passando de 668 Mt (milhões de toneladas) de CO₂ eq. em 2013 (McAuliffe *et al.*, 2017), para 819 Mt de CO₂ eq. em 2020 (Ndue; Pál, 2022). Neste contexto, a pesquisa científica internacional dedica-se em aprimorar as tecnologias de produção em prol da mitigação de impactos ambientais, bem como em aperfeiçoar-se em métodos de análises de impactos ambientais. Assim, alguns autores têm se empenhado em analisar o impacto ambiental da suinocultura (Tallaksen *et al.*, 2020; Haque; Liu, 2019; Andretta *et al.*, 2018; Alencar *et al.*, 2019; Hollas *et al.*, 2022, 2023).

A produção sustentável de carne suína envolve o uso eficiente de recursos como alimentação, água e energia e uso da terra (Wiedemann; McGahan; Murphy, 2016) e o aproveitamento de resíduos (Lassaletta, 2019). Entretanto, realizar estudos sobre a sustentabilidade na produção animal tem sido um desafio, devido aos inúmeros itens que compõem tais estudos. Além disso, a maioria dos estudos disponíveis não consideram as características das diferentes etapas do processo produtivo.

Em virtude do expressivo aumento produtivo da atividade suinícola e as crescentes preocupações quanto aos impactos ambientais, surge a questão de pesquisa: quais as metodologias os pesquisadores utilizam para avaliar os impactos ambientais associados à suinocultura? A busca por uma resposta a essa questão é essencial para compreender quais abordagens metodológicas têm sido adotadas pelos pesquisadores na análise dos impactos ambientais da suinocultura, possibilitando identificar lacunas e oportunidades para o aprimoramento de práticas mais sustentáveis no setor.

A fim de responder essa questão, foi realizada uma revisão sistemática utilizando a metodologia tipo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). O objetivo é identificar as metodologias predominantes empregadas na avaliação dos impactos ambientais associados à suinocultura, com ênfase nas técnicas de quantificação das emissões de GEE e nas estratégias de mitigação adotadas pelo setor. Esta pesquisa busca preencher uma lacuna na literatura, fornecendo uma síntese abrangente das abordagens metodológicas atuais, contribuindo para a padronização e aprimoramento das práticas de avaliação ambiental na indústria suinícola.

Este artigo está estruturado em quatro seções: introdução, materiais e métodos, resultados e discussão, e considerações finais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão sistemática da literatura é uma abordagem de pesquisa científica que segue um processo estruturado, transparente e reprodutível, com o objetivo de identificar, avaliar criticamente e sintetizar todas as evidências relevantes já publicadas sobre uma questão de

pesquisa específica, um tema delimitado ou um fenômeno particular. Seu método rigoroso permite garantir objetividade, confiabilidade e validade nos resultados obtidos (Kitchenham, 2004). Este estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura a fim de identificar os principais métodos e metodologias de avaliação dos impactos ambientais da suinocultura.

A pesquisa foi conduzida utilizando a metodologia tipo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), cujo objetivo é ajudar os autores na melhoria do relato de revisões sistemáticas e meta-análises (Page *et al.*, 2021). As buscas foram realizadas nas bases de dados *Web of Science* do *ISI of Knowledge* e *Scopus* da *Elsevier*, em 26 de outubro de 2024.

2.1 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Uma boa estratégia de busca é essencial para garantir que a pesquisa traga resultados válidos e abrangentes (Chen *et al.*, 2023). Assim, para o desenvolvimento da pesquisa foi elaborado um protocolo que consiste em delimitação do escopo da pesquisa, onde constam a questão de pesquisa e o objetivo deste artigo; estabelecimento dos métodos de pesquisa e seleção dos estudos e a forma como os resultados serão analisados e apresentados. No método de pesquisa estão incluídas as bases a serem pesquisadas, o campo de busca e as palavras-chave utilizadas.

No método de seleção, estão descritos os critérios de inclusão e exclusão, cuja finalidade é identificar os estudos relevantes para a pesquisa em questão. Esses critérios ajudam a estabelecer os estudos que serão analisados e a excluem aqueles que não atendem aos requisitos para a investigação. O Quadro 1 apresenta o protocolo de pesquisa de forma simplificada.

Quadro 1 – Protocolo de Pesquisa.

ETAPAS	DETALHAMENTO	
Definição do escopo da pesquisa, focando nas metodologias para avaliar os impactos ambientais da suinocultura	Questão de Pesquisa	Quais são as metodologias ou métodos mais utilizados pelos pesquisadores para avaliar os impactos ambientais associados à suinocultura?
	Objetivo	Identificar as metodologias predominantes empregadas na avaliação dos impactos ambientais associados à suinocultura, com ênfase nas técnicas de quantificação das emissões de GEE e nas estratégias de mitigação adotadas pelo setor.
Método de Pesquisa	Buscas nas bases de dados <i>Web of Science</i> e <i>Scopus</i>	Utilização de dois conjuntos de palavras-chave no campo de busca: título, resumo e/ou palavras-chave de cada base de dados.
Método de Seleção	Definição de Critérios de Inclusão (I) e Exclusão (E)	Estabelecimento de critérios para identificar os estudos relevantes
Análise e Apresentação de Resultados	Sistematização e análise dos dados dos estudos selecionados, seguidas pela apresentação e discussão dos resultados.	

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.1.1 Métodos de pesquisa e seleção

Após a definição do escopo da pesquisa, foi necessário selecionar um grupo de descritores com palavras-chave relacionadas à impacto ambiental, suinocultura, avaliação de impactos ambientais e métodos de avaliação e as buscas foram realizadas nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus* em 26 de outubro de 2024.

Os termos de busca utilizados incluíram combinações das seguintes palavras-chave relacionadas à suinocultura, avaliação de impactos ambientais e métodos de avaliação: "*environmental impact*", "*pig production*", "*swine production*", "*pig farming*", "*swine farming*", "*greenhouse gas emissions*", "*carbon dioxide emissions*", "*environmental assessment*",

"environmental evaluation", "assessment methodology", "evaluation methods". Como estratégia, essas palavras foram organizadas em dois conjuntos, onde em cada grupo as palavras-chave foram separadas pelos operadores booleanos "AND" e "OR". No primeiro conjunto foram combinados termos relacionados à impacto ambiental e suinocultura. No segundo, foram combinados termos relacionados à emissão de gases de efeito estufa, avaliação de impactos ambientais e métodos de avaliação, conforme demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Conjuntos de palavras-chave utilizados.

Conjuntos de Palavras-Chave	
1º conjunto	"Environmental impact" AND "pig production" OR "swine production" OR "pig farming" OR "swine farming"
2º conjunto	"Greenhouse gas emissions" OR "carbon dioxide emissions" AND "environmental assessment" OR "environmental evaluation" AND "assessment methodology" OR "evaluation methods"

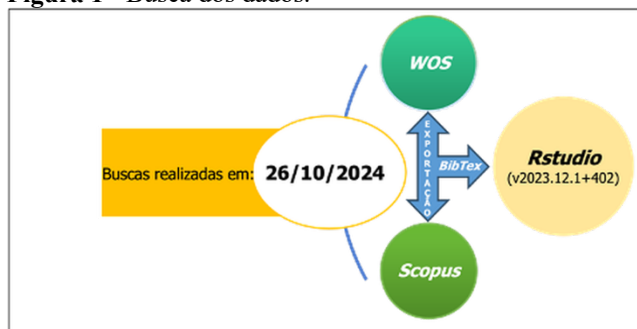
Fonte: Elaborado pelos autores.

O primeiro conjunto de palavras ("environmental impact" AND "pig production" OR "swine production" OR "pig farming" OR "swine farming") foi aplicado no campo de busca título, resumo e/ou palavras-chave, e identificou 3.458 documentos na *Web of Science* e 409 na *Scopus*. O segundo conjunto ("greenhouse gas emissions" OR "carbon dioxide emissions" AND "environmental assessment" OR "environmental evaluation" AND "assessment methodology" OR "evaluation methods") foi aplicado no campo refinar pesquisa, a fim de filtrar os resultados encontrados pelo primeiro grupo de palavras.

A seleção dos estudos priorizou artigos relevantes e de alto impacto com acesso aberto, publicados em periódicos revisados por pares e data de publicação entre 2020 e 2024. Foram excluídos da base artigos de conferência, dados bibliométricos e capítulos de livro, a fim de que seja garantida a replicabilidade do estudo, sugere-se que a limitação à data da pesquisa (26 de outubro de 2024) seja estabelecida. Não foi estabelecida restrição quanto ao idioma dos artigos, porém cabe ressaltar que todos os documentos encontrados foram publicados em inglês.

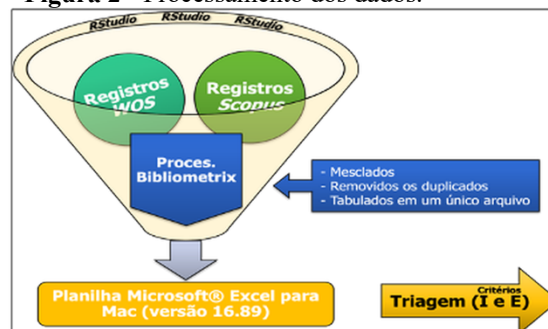
Os registros encontrados nas duas bases de dados foram exportados para arquivo *BibTex*, importados para o *RStudio* (versão 2023.12.1+402) que é um *software* livre para análise de dados, onde foram mesclados e processados com uso do pacote *Bibliometrix* em uma única base, seguido pela eliminação dos duplicados. Todos os dados foram tabulados em um arquivo *Microsoft® Excel* para *Mac* (versão 16.89) gerado a partir da análise feita com o *RStudio*, conforme ilustrado nas Figuras 1 e 2, para posteriormente serem avaliados no processo de triagem.

Figura 1 - Busca dos dados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2 - Processamento dos dados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Com o propósito de selecionar os estudos relevantes foi realizada a triagem, onde foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Critérios de inclusão e exclusão.

INCLUSÃO	EXCLUSÃO
Artigos de pesquisa	Artigos de revisão, artigos de conferência, dados bibliométricos e capítulos de livro
Periódicos Quartil Q1 e Q2 (<i>Journal Impact Factor</i> em 2023)	Periódicos Quartil Q3 e Q4 (<i>Journal Impact Factor</i> em 2023)
Período de publicação entre 2020 a 26 out. 2024	Artigos publicados fora do período citado
Artigos com acesso aberto	Artigos com acesso restrito
Documentos <u>que continham</u> no título e/ou resumo, termos referentes a metodologias de avaliação de <u>impacto ambiental associado à suinocultura</u>	Documentos <u>que não continham</u> no título e/ou resumo, termos referentes a metodologias de avaliação de <u>impacto ambiental associado à suinocultura</u>

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os documentos que atenderam plenamente a todos os critérios estabelecidos no protocolo de pesquisa foram organizados e salvos, em pastas apropriadas, para leitura completa objetivando a análise detalhada dos dados extraídos.

2.1.2 Análise e apresentação de resultados

A análise e discussão dos resultados adotaram uma abordagem quantitativa, complementada por uma revisão sistemática dos artigos. Cada artigo foi lido aprofundadamente para extrair os trechos de mais relevância seguida por uma análise de conteúdo focada nos objetivos, metodologias e os resultados dos estudos. Com o avanço das leituras, o volume de material foi gradualmente reduzido.

Os registros que atenderam a todos os critérios definidos no protocolo de pesquisa foram mapeados com apoio do *Biblioshiny*, uma interface da *web* associada ao pacote tecnológico *Bibliometrix*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a importância econômica e social da suinocultura e o crescimento expressivo da produção global e brasileira, intensificam-se as preocupações com os impactos ambientais decorrentes. Essa revisão sistemática identificou a metodologia predominante na avaliação desses impactos, com ênfase nas técnicas de quantificação das emissões de GEE e nas estratégias de mitigação adotadas pelo setor.

Inicialmente, foram identificados 3.458 documentos na *Web of Science* e 409 na *Scopus*, totalizando 3.867 documentos antes da aplicação de qualquer critério de filtragem e/ou exclusão. Após refinar a busca, filtrando os resultados encontrados pelo segundo conjunto de palavras, restaram apenas 107 artigos (Tabela 1), destacando a importância de uma base sólida sobre a temática, afinal é preciso conhecimento sobre quais descritores devem ser utilizados nas buscas por artigos.

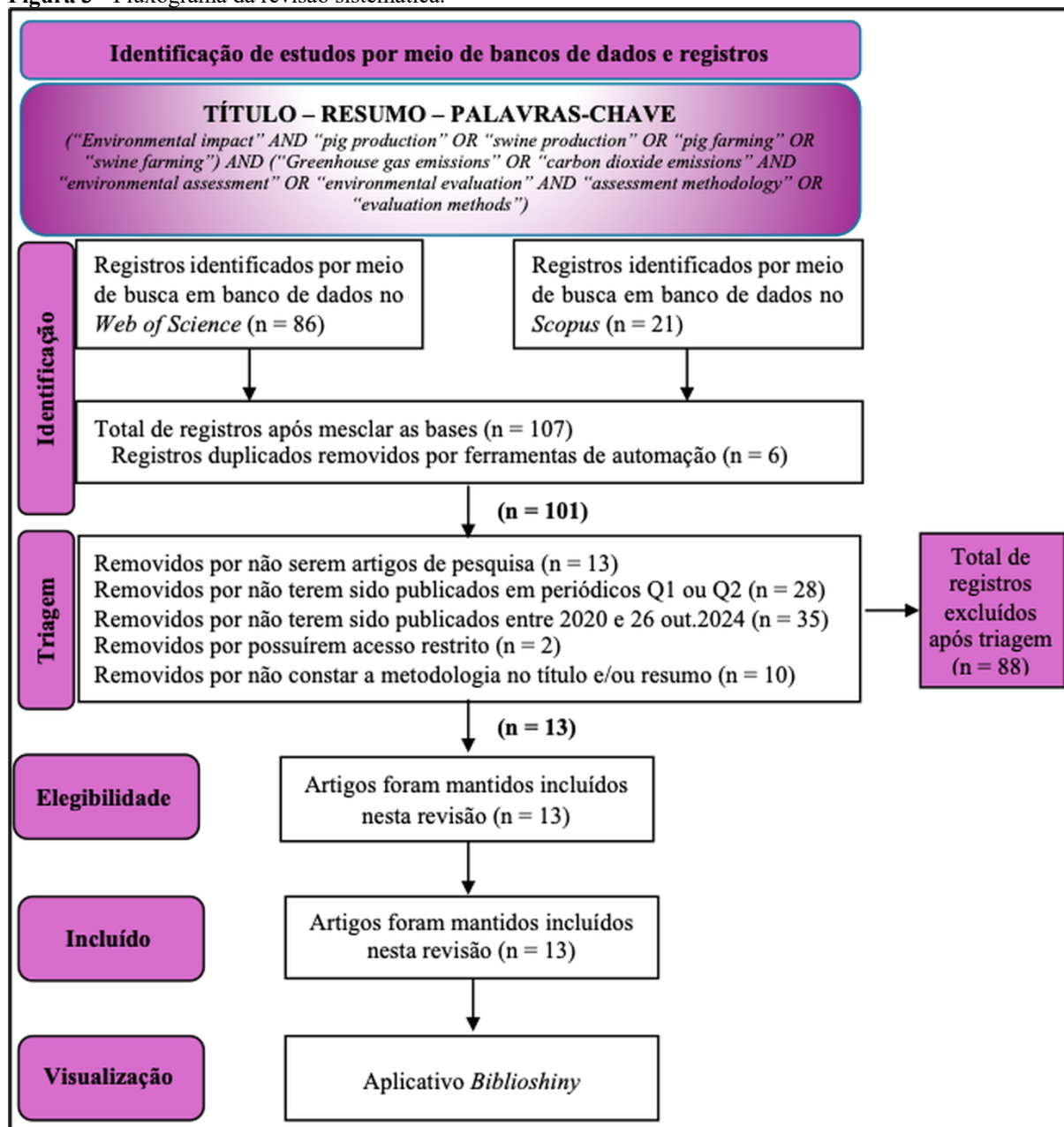
Tabela 1 – Combinação dos conjuntos de palavras-chave e o número de artigos publicados.

Conjuntos de Palavras-Chave	Bases / quantidade de artigos		
	Web of Science	Scopus	Total
"Environmental impact" AND "pig production" OR "swine production" OR "pig farming" OR "swine farming"	3.458	409	3.867
("Environmental impact" AND "pig production" OR "swine production" OR "pig farming" OR "swine farming") AND ("Greenhouse gas emissions" OR "carbon dioxide emissions" AND "environmental assessment" OR "environmental evaluation" AND "assessment methodology" OR "evaluation methods")	86	21	107

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa.

Com o auxílio do *software RStudio*, esses 107 registros foram mesclados e processados em uma única base, seguido pela eliminação de 6 entradas duplicadas. Na sequência, os registros foram tabulados em uma planilha do *Microsoft® Excel*, acompanhado do processo de triagem onde foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão que resultou na eliminação de 88 registros conforme Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma da revisão sistemática.



Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado do fluxograma PRISMA. Modelo disponível em: <https://www.prisma-statement.org/prisma-2020-flow-diagram>.

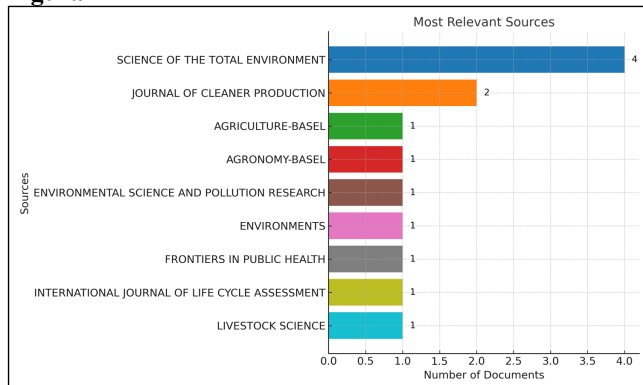
A Figura 3 apresenta uma síntese detalhada do processo de coleta de dados, englobando as etapas de seleção, inclusão e exclusão de artigos de acordo com os requisitos previamente estabelecidos. O diagrama ilustra cada fase do processo, desde a identificação inicial dos artigos até a triagem final, evidenciando como os critérios de inclusão e exclusão foram aplicados para

garantir a relevância e a qualidade dos estudos selecionados. Após todas essas etapas, restaram elegíveis 13 artigos para análise e leitura do documento completo.

3.1 ANÁLISE DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

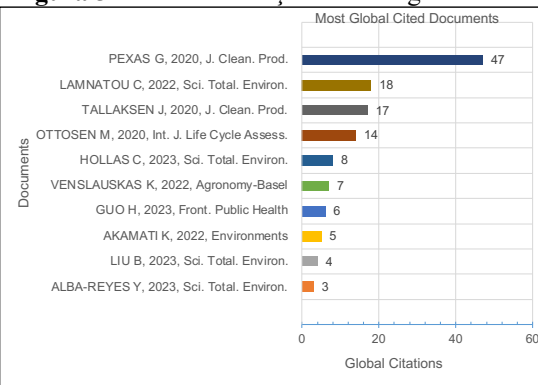
A produção científica analisada sobre avaliação dos impactos ambientais associados à suinocultura está distribuída em 9 revistas (Figura 4) como *Science of the Total Environment*, *Journal of Cleaner Production*, *Environmental Science and Pollution Research*, e *Frontiers in Public Health*, todas classificadas como Q1 ou Q2 nas métricas de qualificação com base no índice de impacto.

Figura 4 – Revistas mais relevantes.



Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa.

Figura 5 – Total de Citações dos artigos.

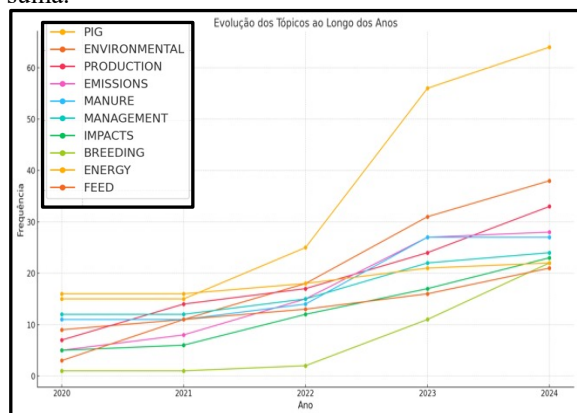


Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa.

Cerca de 30% dos artigos selecionados foram publicados na revista *Science of the Total Environment* e 15% na *Journal of Cleaner Production*. Todos os artigos encontrados estão em inglês, destacando a universalidade dos temas e o foco em um público global. O índice de citações (Figura 5) demonstra que os artigos apresentam relevância acadêmica com alto potencial de citação, sendo muitos publicados em revistas Q1.

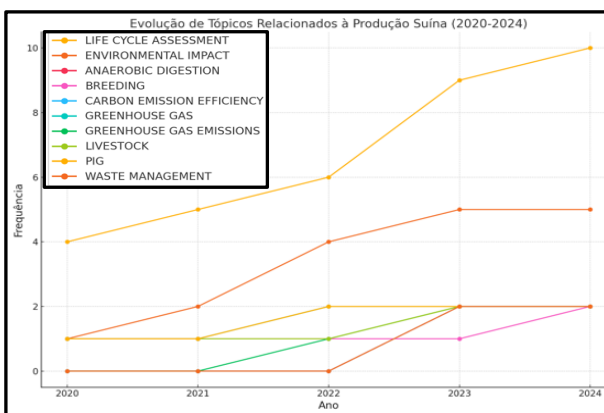
As Figuras 6 e 7 demonstram, respectivamente, a evolução de tópicos e a evolução dos tópicos relacionados à produção suína entre 2020 e 2024.

Figura 6 – Evolução dos tópicos ao longo dos anos.



Fonte: Elaborado pelos autores através do aplicativo Biblioshiny (2024).

Figura 7 – Evolução de tópicos relacionados à produção suína.



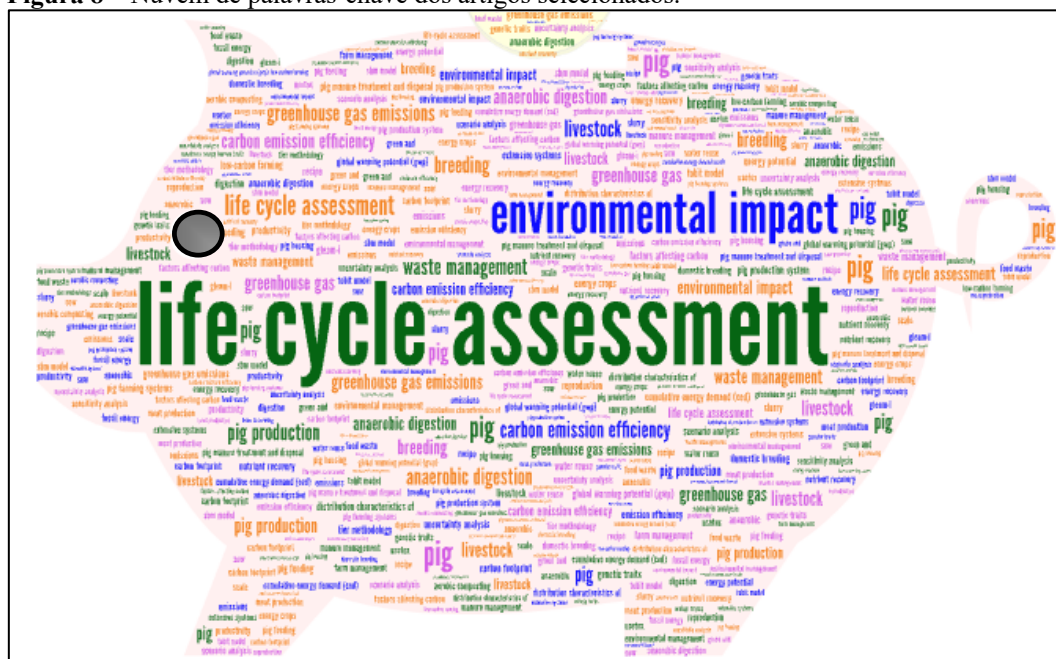
Fonte: Elaborado pelos autores através do aplicativo Biblioshiny (2024).

Em comparação a 2022, a maioria dos tópicos apresentou um aumento de pelo menos duas vezes, indicando um crescimento significativo na produção científica e no foco em sustentabilidade e produção animal. Os tópicos *PIG* (Produção Suína) e *ENVIRONMENTAL* (Questões Ambientais) cresceram significativamente nesse período (mais de 4 vezes), demonstrando o aumento da relevância do tema e a crescente preocupação com sustentabilidade. Com destaque para *EMISSIONS* (emissões) que teve um crescimento expressivo de 5,6 vezes, indicando foco crescente em mitigar emissões na suinocultura. O crescimento do tópico *IMPACTS* (impactos) demonstra um maior número de estudos sobre os impactos gerais da produção suína.

Em se tratando da evolução de tópicos relacionados à produção suína entre 2020 e 2024, a maioria começa a mostrar maior frequência em 2023, sugerindo um aumento no interesse por sustentabilidade na suinocultura. Tópicos como *LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)* e *ENVIRONMENTAL IMPACT* (impacto ambiental), consolidam sua importância na área mantendo crescimento constante. O crescimento do tópico *LCA* representa a importância crescente dessa metodologia para medir impactos ambientais associados à suinocultura. Em se tratando de *WASTE MANAGEMENT* (gestão de resíduos), o assunto surge apenas a partir de 2023 e com pouca frequência, sugerindo ser um campo com potencial para maior desenvolvimento no futuro.

Os artigos analisados apresentam um total de 58 palavras-chave, que foram organizadas em forma de nuvem de palavras (Figura 8).

Figura 8 – Nuvem de palavras-chave dos artigos selecionados.



Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa, através do site <https://wordart.com/> (2024).

A nuvem de palavras evidencia um campo de estudo centrado na sustentabilidade da suinocultura, com ênfase em gestão ambiental, eficiência energética, e mitigação de impactos climáticos associados a emissões de gases de efeito estufa. *Life Cycle Assessment* é o termo central e mais evidente, indicando o foco na análise sistemática de impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida da produção suínica, desde a criação dos animais até o manejo dos resíduos.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), *Life Cycle Assessment* em inglês, foi identificada como a metodologia predominantemente nos últimos 5 anos, sendo utilizada em aproximadamente 82% dos estudos sobre impactos ambientais na suinocultura (Tabela 2).

Tabela 2 – Metodologias utilizadas pelos autores.

METODOLOGIA	AUTORES E TÍTULO DO ARTIGO	OBJETIVO	PAÍS	CITAÇÕES
<i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	Pexas et al., 2020 <i>Environmental Impacts of Housing Conditions and Manure Management in European Pig Production Systems Through a Life Cycle Perspective: A Case Study in Denmark</i>	Avaliar o potencial de modificações nas condições de alojamento e manejo de dejetos para reduzir o impacto ambiental de um sistema de produção de suínos europeu.	Dinamarca	47
	Lamnatou et al., 2022 <i>Life Cycle Assessment (LCA) Of a Food-Production System in Spain: Iberian Ham Based on An Extensive System</i>	Avaliar o impacto ambiental de um sistema de produção de porcos ibéricos em regime extensivo na Espanha.		
<i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	Tallaksen et al., 2020 <i>Reducing Life Cycle Fossil Energy and Greenhouse Gas Emissions for Midwest Swine Production Systems</i>	Avaliar o consumo de energia fóssil e as emissões de potencial aquecimento global (GWP) na produção de suínos no Meio-Oeste dos EUA.	EUA	17
<i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	Ottosen et al., 2020 <i>A Method to Estimate the Environmental Impacts from Genetic Change in Pig Production Systems</i>	Investigar como mudanças genéticas em características individuais afetam o impacto ambiental (IE) da produção de suínos. Características como crescimento, relação proteína/lipídios e manutenção de energia são cruciais para reduzir o IE.	Dinamarca	14
<i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	Hollas et al., 2023 <i>Swine Manure Treatment Technologies as Drivers for Circular Economy in Agribusiness: A Techno-Economic And Life Cycle Assessment Approach</i>	Avaliar técnica, ambiental e economicamente, quatro configurações de sistemas de tratamento de dejetos suínos com foco na promoção da descarbonização e circularidade da cadeia suína.	Brasil	8
<i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	Venslauskas et al., 2022 <i>Environmental Impact Assessment of Sustainable Pig Farm Via Management of Nutrient and Co-Product Flows In The Farm</i>	Avaliar o impacto ambiental de uma fazenda de suínos sustentável, focando na gestão dos fluxos de nutrientes e co-produtos.	Lituânia	7

(continua)

Tabela 2 – Metodologias utilizadas pelos autores. (continuação)

METODOLOGIA	AUTORES E TÍTULO DO ARTIGO	OBJETIVO	PAÍS	CITAÇÕES
Life Cycle Assessment (LCA)	Liu et al., 2023 <i>Environmental Impact and Optimization Suggestions of Pig Manure and Wastewater Treatment Systems from A Life Cycle Perspective</i>	Avaliar três métodos típicos de tratamento e descarte de dejetos suínos em termos de impactos ambientais, usando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).	China	4
Life Cycle Assessment (LCA)	Alba-Reyes et al., 2023 <i>Life Cycle Environmental Impacts of Using Food Waste Liquid Fodder as An Alternative for Pig Feeding in a Conventional Cuban Farm</i>	Avaliar o impacto ambiental da substituição da ração tradicional à base de grãos por resíduos alimentares (RA) na criação de suínos em Cuba.	Cuba	3
Life Cycle Assessment (LCA)	Wu et al., 2024 <i>Life-Cycle Comparisons of Economic and Environmental Consequences for Pig Production with Four Different Models in China</i>	Analisar os impactos econômico e ambiental de quatro modelos de produção suína (doméstico, pequeno, médio e grande porte) entre 1998 e 2020, na China.	China	3
Life Cycle Assessment (LCA)	Zhang et al., 2023 <i>Measuring Carbon Emissions from Green and Low-Carbon Full-Life-Cycle Feeding In Large-Scale Pig Production Systems: A Case Study From Shaanxi Province, China</i>	Estabelecer um sistema mais sustentável e de baixo carbono para a criação de suínos, com foco na medição das emissões de gases de efeito estufa, especialmente na província de Shaanxi, China.	China	0
Life Cycle Assessment (LCA)	Pietramale et al., 2021 <i>How Much the Reproductive Losses of Sows Can Be Impacting The Carbon Footprint In Swine Production?</i>	Estimar o consumo diário de ração das porcas e a quantidade de ração consumida durante os dias não produtivos, correlacionando esses resultados com as emissões de GEE.	Brasil	0
Modelos SBM (Slack-Based Measure) e Tobit	Guo et al., 2023 <i>Analysis Of Spatial and Temporal Characteristics of Carbon Emission Efficiency of Pig Farming and The Influencing Factors in China</i>	Avaliar a eficiência de emissões de carbono na suinocultura chinesa (2010-2020) e fatores influenciadores.	China	6
Métodos do IPCC (Tier 1 e Tier 2)	Akamati et al., 2022 <i>Comparative Assessment of Greenhouse Gas Emissions in Pig Farming Using Tier Inventories</i>	Avaliar o impacto das emissões de GEE da suinocultura em países europeus (2015-2020) usando inventários Tier, destacando a Espanha como maior emissora devido ao número de animais.	Espanha e Grécia	5

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change.

A ACV é uma metodologia baseada na ciência para identificar e quantificar os impactos ambientais de um produto, processo ou serviço ao longo de todas as suas fases, desde a extração de matérias-primas até o descarte ou reciclagem (ISO 14040, 2006). Ao considerar todo o ciclo de vida, a ACV fornece uma base sólida para decisões mais sustentáveis, como a redução de emissões de gases de efeito estufa, o uso eficiente de recursos naturais e a minimização de resíduos. Os estudos analisados expuseram que os objetivos de pesquisa que foram mais estudados estão relacionados à eficiência dos sistemas de tratamento e no impacto ambiental dos dejetos suínos, com destaque para os estudos de Pexas *et al.* (2020), que analisaram o impacto das condições de alojamento e manejo de dejetos na produção de suínos europeus; Hollas *et al.* (2023), que avaliaram a descarbonização e a circularidade na suinocultura no Brasil e Liu *et al.* (2023) que estudaram três métodos típicos de tratamento e descarte de dejetos suínos e seus impactos ambientais na China.

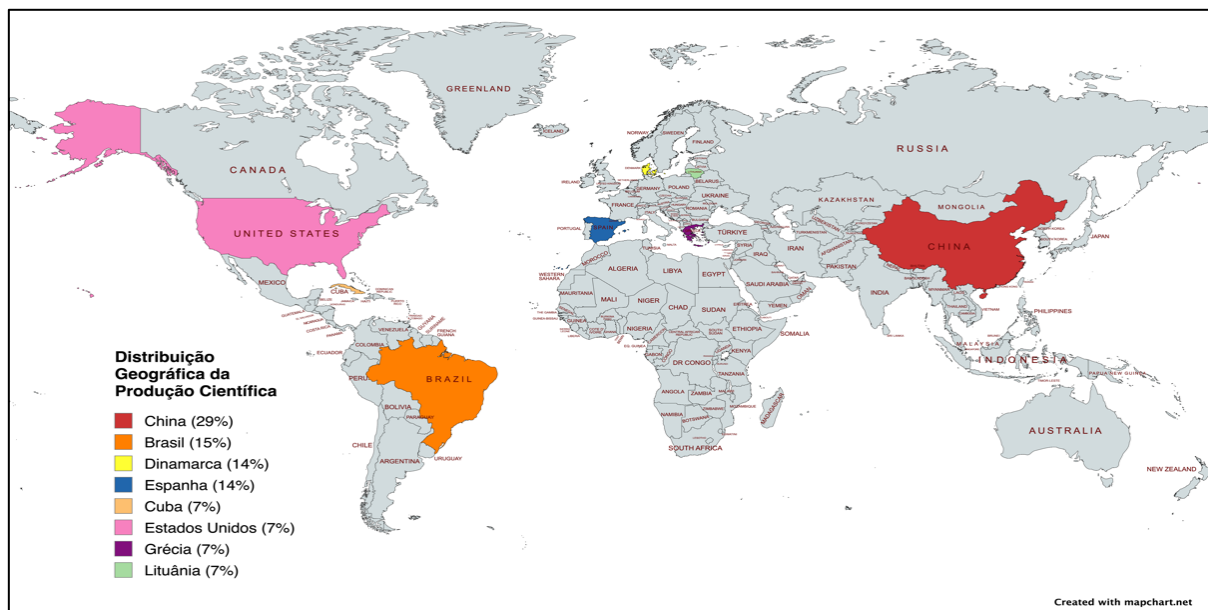
Os artigos que avaliaram o impacto ambiental da suinocultura através das rações foram Alba-Reyes *et al.*, 2023 e Pietramale *et al.*, 2021. Pietramale *et al.* (2021) avaliaram somente a emissão de GEE para o consumo de rações durante um período cujo as fêmeas não se encontravam produtivas (vazias e não lactantes), denominado Dias Não-produtivos (DNPs), e Alba-Reyes *et al.* (2023) avaliaram o impacto ambiental da substituição da ração tradicional à base de grãos por resíduos alimentares na criação de suínos em Cuba.

Apenas Guo *et al.* (2023) e Akamati *et al.* (2022) não utilizaram a metodologia ACV em suas pesquisas. Guo *et al.* (2023) utilizaram modelos *SBM* (*Slack-Based Measure*) e *Tobit* para analisar a eficiência de emissões de carbono na suinocultura chinesa, considerando os fatores influenciadores das emissões (espaciais e temporais). Akamati *et al.* (2022) utilizaram métodos do *IPCC* para avaliar o impacto das emissões (*Tier 1* e *2*) de GEE da suinocultura na Europa, destacando a Espanha como maior emissora devido ao número de animais.

Em relação ao escopo regional do tema, verifica-se que a Europa adotou ACV e o método do IPCC para avaliar emissões, com um enfoque em práticas específicas como condições de alojamento (Dinamarca, Pexas *et al.*) ou sistemas extensivos (Espanha, Lamnatou *et al.*) destacando preocupações com características regionais. Na América o foco brasileiro esteve na circularidade e no manejo de dejetos para economia circular, já nos EUA o objetivo é otimizar o uso de energia fóssil e reduzir o GEE. Na Ásia, observa-se uma combinação de ACV com modelos estatísticos, como *SBM* e *Tobit*, voltados para otimizações de eficiência de carbono e análises aprofundadas de diferentes modelos de produção. A região também se destaca pela exploração de alternativas no manejo alimentar e de dejetos, refletindo a diversidade e o crescimento acelerado do setor suinícola no continente.

A distribuição geográfica da produção científica acerca do tema, representada na Figura 9, revela a participação de diferentes países com destaque para a China com quase 30% dos estudos, provavelmente devido à sua importância como maior produtor e consumidor de carne suína no mundo.

Figura 9 – Distribuição Geográfica da Produção Científica.



Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa, através do site <https://www.mapchart.net/>.

Brasil, Dinamarca, Espanha, Cuba, EUA, Grécia e Lituânia, também são representados, refletindo a relevância global da pesquisa científica sobre os impactos ambientais da suinocultura.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção global de carne suína tem crescido continuamente, impulsionada pelo aumento do consumo e pela relevância econômica da suinocultura, especialmente no Brasil e China.

A revisão sistemática dos estudos sobre as metodologias de avaliação dos impactos ambientais da suinocultura, identificou a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como abordagem predominante, responsável por 82% dos estudos analisados. Esta análise metodológica detalhada permitiu constatar limitações significativas que afetam a precisão e a comparabilidade dos resultados, incluindo a dependência de dados secundários, a necessidade de simplificação de modelos complexos (especialmente em sistemas integrados de produção), dificuldades na definição de fronteiras do sistema e falta de padronização nos critérios de alocação de impactos entre coprodutos.

Apesar dessas limitações, os avanços na pesquisa mostram um potencial significativo para tornar a produção suína mais sustentável. A inovação tecnológica, como a digestão anaeróbia de dejetos para geração de energia, a substituição parcial de rações tradicionais por subprodutos agroindustriais e o aprimoramento genético para maior eficiência alimentar têm demonstrado potencial significativo na redução dos impactos ambientais. Paralelamente, a adoção crescente de práticas de manejo integrado e conceitos de economia circular, com ênfase na recuperação e reaproveitamento de nutrientes, emerge como caminho estratégico para conciliar ganhos de produtividade com menor pressão ambiental.

Portanto o caminho para superar esses desafios estão voltados a estudos em três principais frentes, sendo a primeira a necessidade de padronização nas diretrizes para aplicação da ACV na suinocultura, permitindo comparações mais consistentes entre diferentes sistemas e regiões. Em segundo lugar, a necessidade de ampliação do investimento no levantamento de dados primários, particularmente em países em desenvolvimento onde a escassez de informações específicas limita a acurácia das avaliações ou, no caso brasileiro, os estudos são liderados com financiamentos públicos. E, por último, é recomendado a integração de

abordagens complementares, como análises socioeconômicas e de ciclo de vida social, para obtenção de uma visão holística e multidimensional dos impactos da atividade.

A superação dessas limitações permitirá uma avaliação mais precisa dos impactos ambientais, contribuindo para práticas mais eficazes, garantindo a viabilidade a longo prazo da suinocultura, com benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a economia. Desta forma, a suinocultura poderá estar cada vez mais consolidada como atividade economicamente viável e ambientalmente responsável, garantindo sua sustentabilidade no longo prazo frente às crescentes pressões por conservação de recursos naturais e mitigação das mudanças climáticas.

Os resultados desta revisão reforçam a importância de estudos contínuos na pesquisa e na adoção de práticas inovadoras que permite um crescimento do setor em harmonia com a imperativa redução de seus impactos ambientais.

5 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT-MS).

REFERÊNCIAS

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2024**. Disponível em: <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/> . Acesso em out. 2024.

AKAMATI, K. et al. Comparative Assessment of Greenhouse Gas Emissions in Pig Farming Using Tier Inventories. **Environments.**, v. 9, Article 59, 2022. DOI: [10.3390/environments9050059](https://doi.org/10.3390/environments9050059) .

ALBA-REYES, Y. et al. Life cycle environmental impacts of using food waste liquid fodder as an alternative for pig feeding in a conventional Cuban farm. **Science of the Total Environment**, v. 858, Article 159915, 2023. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.159915](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159915) .

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.

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

CHEN, H., TSANG, Y., WU, C. When text mining meets science mapping in the bibliometric analysis: A review and future opportunities. **International Journal of Engineering Business Management**, v.15, 2023. DOI: [10.1177/18479790231222349](https://doi.org/10.1177/18479790231222349) . Acesso em abr. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Central de Inteligência de Aves e Suínos**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/mapas> . Acesso em out. 2024.

FAO Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets. Rome, Italy (2022).

FAO. 2023. **Meat Market Review: Emerging trends and outlook 2023**. Rome. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/5fcbf357-eac5-4e22-84ce-ec0936d5fb52/content>. Acesso em nov. 2024.

GUO, H. et al. Analysis of spatial and temporal characteristics of carbon emission efficiency of pig farming and the influencing factors in China. **Frontiers In Public Health.**, v. 11:1073902, 2023. DOI: [10.3389/fpubh.2023.1073902](https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1073902) .

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.

HOLLAS, C.E. et al. Life cycle assessment of waste management from the Brazilian pig chain residues in two perspectives: electricity and biomethane production. **Journal of Cleaner Production**, v. 354, 2022, Article 131654. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131654> .

HOLLAS, C.E. et al. Swine manure treatment technologies as drivers for circular economy in agribusiness: a techno-economic and life cycle assessment approach. **Science of the Total Environment**, v. 857 (2023), Article 159494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159494>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Trimestral do Abate de Animais**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9203-pesquisas-trimestrais-do-abate-de-animais.html> . Acesso em outubro de 2024.

ISO. International Organization for Standardization. **ISO 14040:2006 - Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework**. International Organization for Standardization, 2006.

KITCHENHAM, B. A. **Procedures for performing systematic reviews**. Joint Technical Report, Keele University and National ICT Australia Ltd, 2004.

LAMNATOU, C. et al. Life Cycle Assessment (LCA) of a food-production system in Spain: Iberian ham based on an extensive system. **Science of the Total Environment**, v. 808, Article 151900, 2022. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.151900](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151900) .

LASSALETТА, L. et al. Future global pig production systems according to the Shared Socioeconomic Pathways. **Science of the Total Environment**, v. 665, p. 739-751, 2019. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.02.079](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.079) .

LIU, B. et al. Environmental impact and optimization suggestions of pig manure and wastewater treatment systems from a life cycle perspective. **Science of the Total Environment**, v. 905, Article 167262, 2023. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2023.167262](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167262) .

MCAULIFFE, G.A. et al. Environmental trade-offs of pig production systems under varied operational efficiencies. **Journal of Cleaner Production**, 2017; 165: 1163-1173. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.191>

NDUE, K.; PÁL, G. Life Cycle Assessment Perspective for Sectoral Adaptation to Climate Change: Environmental Impact Assessment of Pig Production. **Land**, v. 11, n. 6, p. 827, 31 maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land11060827>.

OCDE/FAO (2024), Perspectivas Agrícolas OCDE-FAO 2024-2033, Publicação OCDE, Paris/FAO, Roma, <https://doi.org/10.1787/4c5d2cfb-en>.

OTTOSEN, M. et al. A method to estimate the environmental impacts from genetic change in pig production systems. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, p. 523-537, 2020. DOI: [10.1007/s11367-019-01686-8](https://doi.org/10.1007/s11367-019-01686-8).

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **International Journal of Surgery**, v. 88, p. 105906, 2021.

PEXAS, G. et al. Environmental impacts of housing conditions and manure management in European pig production systems through a life cycle perspective: a case study in Denmark. **Journal of Cleaner Production**, v. 253, p. 120005, 2020. DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.120005](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120005).

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. DOI: [10.1016/j.livsci.2021.104594](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104594).

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.

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. DOI: [10.1016/j.jclepro.2019.118998](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118998).

UFGD. Universidade Federal da Grande Dourados. **Programa de pós-graduação em agronegócios**. Disponível em: <https://portal.ufgd.edu.br/pos-graduacao/mestrado-agronegocios/index>. Acesso em: out. 2024.

VENSLAUSKAS, K. et al. Environmental impact assessment of sustainable pig farm via management of nutrient and co-product flows in the farm. **Agronomy-Basel**, v. 12, Article 760, 2022. DOI: [10.3390/agronomy12040760](https://doi.org/10.3390/agronomy12040760).

WIEDEMANN, S. G.; MCGAHAN, E. J.; MURPHY, C. M. Environmental impacts and resource use from Australian pork production assessed using life-cycle assessment. 1. Greenhouse gas emissions. **Animal Production Science**, v. 56, n. 9, p. 1418-1431, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN15881>

WU, H. et al. Life-cycle comparisons of economic and environmental consequences for pig production with four different models in China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, p. 21668-21686, 2024. DOI: [10.1007/s11356-024-32541-5](https://doi.org/10.1007/s11356-024-32541-5).

ZHANG, Q. et al. Measuring carbon emissions from green and low-carbon full-life-cycle feeding in large-scale pig production systems: a case study from Shaanxi Province, China. **Agriculture-Basel**, v. 13, Article 2281, 2023. DOI: [10.3390/agriculture13122281](https://doi.org/10.3390/agriculture13122281).