



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE
DOURADOS FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**RELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE COM O
POTENCIAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA
SUINOCULTURA – UM RECORTE DA PRODUÇÃO
DE LEITÕES DESMAMADOS**

Discente: Rita Therezinha Rolim
Pietramale **Orientador:** Prof. Dr.
Clandio Favarini Ruviaro

Coorientadores:

Profa. Dra. Fabiana Ribeiro Caldara
Prof. Dr. Leonardo Oliveira Seno

Dourados-MS

Abril de 2024

RELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE COM O POTENCIAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA SUINOCULTURA – UM RECORTE DA PRODUÇÃO DE LEITÕES DESMAMADOS

Tese apresentada para fins de obtenção do título de Doutor(a) em Zootecnia pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados.

Discente: Rita Therezinha Rolim Pietramale **Orientador:** Prof. Dr. Clandio Favarini Ruviaro

Coorientadores:

Profa. Dra. Fabiana Ribeiro Caldara

Prof. Dr. Leonardo Oliveira Seno

Área de concentração: Zootecnia - 50400002

Dourados-MS

Abril de 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

P626r Pietramale, Rita Therezinha Rolim
RELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE COM O POTENCIAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
NA SUINOCULTURA - UM RECORTE DA PRODUÇÃO DE LEITÕES DESMAMADOS
[recurso eletrônico] / Rita Therezinha Rolim Pietramale. -- 2024.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Clandio Favarini Ruviaro.

Coorientadores: Fabiana Ribeiro Caldara, Leonardo Oliveira Seno.

Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Avaliação de impactos ambientais. 2. Avaliação do ciclo de vida. 3. Aquecimento global. 4. Suinocultura industrial. 5. Pegada de carbono. I. Ruviaro, Clandio Favarini. II. Caldara, Fabiana Ribeiro. III. Seno, Leonardo Oliveira. IV. Título.

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

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

RELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE COM O POTENCIAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA SUINOCULTURA - UM RECORTE DA PRODUÇÃO DE LEITÕES DESMAMADOS

por

RITA THEREZINHA ROLIM PIETRAMALE

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de DOUTORA EM ZOOTECNIA

Aprovado(a) em: 28/02/2024

Documento assinado digitalmente
 CLAUDIO FAVARINI RUVIARO
Data: 04/03/2024 12:27:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Claudio Favarini Ruviaro Orientador
– UFGD

Documento assinado digitalmente
 ALICE WATTE SCHWINGEL
Data: 05/03/2024 10:03:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Alice Watte Schwingel EMBRAPA
(Bolsista)

Documento assinado digitalmente
 EDUARDO JOSE DE ARRUDA
Data: 06/03/2024 11:39:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Eduardo Jose de Arruda
UFGD

Documento assinado digitalmente
 EVERTON VOGEL
Data: 01/03/2024 14:15:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Everton Vogel
UCD

Documento assinado digitalmente
 JAYLTON BONACINA DE ARAUJO
Data: 01/03/2024 19:24:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Jaylton Bonacina de Araujo
UTFPR

EPÍGRAFE

“A natureza tem consigo o poder de responder os nossos cálculos com tanta exatidão que seria ignorância não acreditarmos nos números que ela nos entrega.”

Rita Therezinha Rolim Pietramale

“As equações não explodem”

Bertran Russell

Filósofo, historiador e matemático do século XX, 3º Conde Russell

“Os números governam o mundo”

Platão

Filósofo e Matemático do período clássico, na Grécia antiga.

“A matemática é a única linguagem que temos em comum com a natureza”

Stephen Hawking

Físico teórico do século XXI.

“A natureza está escrita em linguagem matemática”

Galileu Galilei

Pai da ciência moderna. Astrônomo, físico e engenheiro do século XVI

DEDICATÓRIA

Dedico esta pesquisa àquela que mais me empoderou, que mais me apoiou, que mais me incentivou a buscar na ciência a felicidade.

Dedico esta Tese àquele que por horas a fio me deu conselhos, me fez pensar, me desafiou a responder cada dúvida que eu tinha através da busca pelo conhecimento científico.

Estes dois são um só em dois corações, digo-lhes os nomes: Rosa Maria da Silva Rolim Bellíssimo, minha mãe, força e segurança; Mário José Bellíssimo, meu padrasto, pai de coração, base e apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a minha mãe e ao meu padrasto, que me apoiaram emocionalmente e financeiramente, além da crença de que eu estava no caminho certo. Agradeço a minha força diária, minha sobrinha Elisa e a todos os meus sobrinhos, Theodoro, Vicenzo, Leonardo e Santhiago.

Agradeço a todos os meus irmãos, Davi, Hilário, André, Flávia, Vitor e Vitoria, que a seus modos me apoiaram na caminhada. Agradeço ao meu irmão Hilário que suportou crises de choro e ansiedade ao longo do doutorado. Também agradeço ao meu irmão Davi, que do jeito quieto fez com que eu soubesse que ali havia suporte e orgulho. Agradeço a minha irmã do coração Flávia, que com palavras me deu carinho!

Agradeço aos familiares que participaram diretamente da minha formação como pós-graduanda. Estes foram incentivadores e sempre me dizendo que ia dar certo. Meu padrinho Luiz, minha tia Lucimara, minha prima Jéssica e seu filho Thiago e, meu primo Lucas. Além deles, tenho a minha locatária e vizinha, além de companheira de chimarrões e tererés, dona Terezinha. Vocês foram imprescindíveis, aqui o meu Muito Obrigada!

Agradeço meu orientador, Clandio, que me desafiou, me deu liberdade de expressão e pensamentos, me deixou voar e me trouxe a Terra quando necessário. Agradeço aos meus coorientadores, Leonardo e Fabiana, que além de palavras, me deram risos e se fizeram amigos nos momentos alegres ou tristes.

Agradeço aos amigos que o doutorado me deu, o Jean, meu amigo querido do coração que me deu oportunidades científicas na escrita e na amizade. Agradeço a Kelly, a qual participou de momentos singulares da minha vida e a quem quero muito bem. Agradeço a Vivian, que sempre esteve disponível na hora da dúvida e com quem troquei ideias sobre futuros artigos. Agradeço a Daiane com quem chorei, mas que também me apoiou com palavras e ideias. Agradeço ao Sloan, aluno de graduação dedicado que somou na minha tese para me ajudar com os dados e sua organização.

Agradeço ao pessoal do Moto Clube, que com as ações sociais me deram suporte emocional para lutar por um mundo melhor. Dentre eles agradeço a Mariana, Juninho, Manoel (Mancha), nos quais eu senti a torcida e apoio.

E além de um tempo de acadêmica, não poderia deixar de agradecer aqueles que, muito antes de eu sonhar estar aqui hoje, me incentivaram, eu agradeço ao Gercélio e ao Carlos Carrijo. Estes foram peças fundamentais nas minhas decisões profissionais, Gercélio com a sua insistência de que eu deveria ir para a pesquisa e Carlos com seus ensinamentos e sugestões de pesquisas.

E por fim, agradeço de todo o coração a minha amiga e parceira de pesquisa Carolina Obregão da Rosa. Sem ela talvez a caminhada tivesse sido mais difícil, mais pesada. Ela com sua leveza e carinho me fez ver os erros onde eu não enxergava e, ainda assim, confiou nos meus instintos. Juntas, nossas teses foram construídas em cima de um tema importante, de uma amizade sólida, da confiança e da fé em Deus.

Hoje, no dia da minha defesa de doutorado, eu não consigo me imaginar fazendo outra coisa. Como fui teimosa com minha mãe, a qual desde a graduação me incentivou a fazer mestrado e, como fui resistente aos conselhos dos meus amigos Gercélio e Carlos Carrijo. Agradeço a Deus e Nosso Senhor Jesus Cristo, reafirmando a minha fé, que em nenhum momento titubeou, reafirmo aqui minha gratidão, a Deus, aos mencionados aqui e a todos os demais envolvidos.

RELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE COM O POTENCIAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA SUINOCULTURA – UM RECORTE DA PRODUÇÃO DE LEITÕES DESMAMADOS

PRODUCTIVITY AND CLIMATE CHANGE POTENTIAL CONNECTION: A FOCUS ON WEANED PIG PRODUCTION

RESUMO: A suinocultura participa de forma efetiva no desenvolvimento econômico e social em diversas regiões do país. Com uma esfera inovadora no que diz respeito a produtividade, um panorama econômico promissor e com um mercado internacional amplo, o Brasil encontra-se na 4ª posição mundial de produtores e exportadores de carne suína. Apesar das conexões entre a produção animal brasileira e os impactos ambientais, a suinocultura tem se destacado quando o assunto é reduzir tais impactos e aumentar a eficiência produtiva. No entanto, o maior desafio ainda é equilibrar os indicadores produtivos, cada vez mais eficientes, com os aspectos ambientais. Assim, este trabalho buscará compreender quais são os pontos críticos no processo de produção de suínos, abarcando os indicadores de produtividade, que são passíveis de otimização para que se reduzam os impactos ambientais. Para tanto, será utilizado o método de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Através dos descritores selecionados para esta revisão sistemática foi possível observar que ainda existem lacunas a serem preenchidas pela ciência quando se fala em avaliação do ciclo de vida na suinocultura nacional. Cada matriz do plantel avaliado produziu uma média de 187,77 kg de leitões desmamado por ano, emitindo cerca de 3,28 kg de CO₂ eq./kg de produto. Os indicadores reprodutivos, ao serem analisados detalhadamente, são passíveis de melhoras e ainda resultarão na mitigação de emissões de GEE. Muitos dos indicadores que acabam ficando no centro de discussões não explicam de forma clara os resultados de emissões de GEE. A ACP permitiu que outros indicadores reprodutivos aparecessem e demonstrassem suas reais influências sobre os produtos (leitão desmamado e emissões de GEE).

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação de impactos ambientais; Avaliação do ciclo de vida; Aquecimento global; Suinocultura industrial; Pegada de carbono.

ABSTRACT: *Pig farming plays a significant role in economic and social development across various regions of Brazil. Boasting a progressive approach to productivity, a promising economic future, and a vast international market, Brazil ranks fourth globally among pork producers and exporters. Despite the environmental concerns associated with Brazilian animal production, the pig farming industry has made strides in reducing its environmental impact while increasing production efficiency. However, the main challenge remains balancing ever-increasing production efficiency with environmental considerations. To resolve this, this study focused on identifying critical points in the pig production process, particularly those productivity indicators that have the greatest potential for optimization to minimize environmental impact. To this end, the Life Cycle Assessment (LCA) method was used. A systematic review of existing research*

using carefully chosen descriptors revealed significant areas where national pig farming's life cycle assessment remains understudied. Each sow in the study herd produced an average of 187.77 kilograms of weaned piglets per year, with associated emissions of around 3.28 kilograms of CO₂ equivalent per kilogram of product. Analysis of reproductive indicators suggests potential for improvement, which could also lead to reduced greenhouse gas emissions. Many traditional reproductive indicators fail to adequately explain variations in greenhouse gas emissions (GHG). However, the use of Principal Components Analysis (PCA) has allowed for the exploration of new reproductive indicators that demonstrably influence both weaned piglet production and GHG emissions.

Keywords: *Environmental impacts assessment; Life cycle assessment; Global warming; Industrial pig farming; Carbon footprint.*

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

Introdução	15
Objetivos	17
Justificativa	18
Metodologia geral	19
Bibliografia	25

CAPÍTULO II

Introdução	29
Materiais e métodos	30
Resultados	34
Discussão de resultados	45
Conclusão	43
Bibliografia	46

CAPÍTULO III

Introdução	52
Materiais e métodos	54
Resultados e discussões	78
Conclusão	87
Bibliografia	88

CAPÍTULO IV

Introdução	95
Metodologia	98
Resultados e discussões	104
Conclusão	117
Bibliografia	118

LISTA DE TABELAS E QUADROS

CAPÍTULO I

CAPÍTULO II

	Combinações de palavras-chave e o número de artigos	35
Tabela 1	identificados entre os anos de 1980 e 2022	
Tabela 2	Artigos selecionados para análise sistemática de conteúdo	42

CAPÍTULO III

Quadro 1	Indicadores reprodutivos utilizados para as análises	58
Quadro 2	Tipos de rações por fase do animal e suas finalidades	60
	Descrição das entradas e saídas na produção de leitões	
Quadro 3	desmamados	60
	Equações referentes as emissões fisiológicas das	
Quadro 4	matrizes	69
Quadro 5	Emissões originadas do nitrogênio	71
Quadro 6	Emissões originadas do carbono	73
Quadro 7	Potencial de produção de energia elétrica	74
	Indicadores bromatológicos para os cálculos de excreção	
Tabela 1	dos animais	63
	Inventário de composição de 1 kg de ração para cada	
Tabela 2	fase reprodutiva da matriz	63

Tabela 3	Indicadores reprodutivos gerais utilizados no estudo	65
Tabela 4.	Produtos do sistema avaliado.	75
	Correlações entre os principais índices produtivos e as	
Tabela 5		80
	emissões de GEE	
Tabela 6	Inventário de emissões da etapa de produção animal	82
	Potencial de produção de Biogás, Energia elétrica e CO ²	
Tabela 7		87
	eq./UF	

CAPÍTULO IV

Quadro 1	Estrutura do ICV da produção de leitões desmamados	102
	Estatística descritiva do Inventário do Ciclo de Vida	
Tabela 1		105
	(ICV).	
Tabela 2	Auto valores, variância e variância acumulada	106

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

	Resultados da busca dos termos <i>“Life cycle assessment” AND</i>	
Figura 1	<i>“Pig production” OR “Swine production”</i>	35
	Gráfico de similaridade – <i>“Life cycle assessment” AND “Pig</i>	
Figura 2	<i>production” OR “Swine production”</i>	36

Resultados da busca dos termos <i>“Life cycle assessment” AND</i> Figura 3 <i>“Pig production” OR “Swine production” AND “Brazil”</i>	37
Gráfico de similaridade – <i>“Life cycle assessment” AND “Pig</i> Figura 4 <i>production” OR “Swine production” AND “Brazil”</i>	38
Resultados da busca dos termos <i>“Life cycle assessment” AND</i> Figura 5 <i>“Greenhouse gas emissions” AND “Pig production” OR “Swine</i> <i>production”</i>	38
Gráfico de similaridade – <i>“Life cycle assessment” AND</i> Figura 6 <i>“Greenhouse gas emissions” AND “Pig production” OR “Swine</i> <i>production”</i>	39

CAPÍTULO III

Limites de Sistema da produção brasileira de leitões Figura 1 desmamados avaliada	58
Figura 2 Proporção de emissões totais por fator emissor	76
Figura 3 Comportamento das médias das perdas reprodutivas (RC) relacionadas com o total de emissões/UF	78
Comportamento das médias dos indicadores de ineficiência Figura 4	82
reprodutiva relacionadas com o total de emissões/UF Figura 5 Relação dos NV/parto com o GEE do tratamento dos dejetos	84
Figura 6 Potencial de CO ₂ eq. do manejo de resíduos por fase reprodutiva	85
Figura 7 Capacidade de redução do potencial de emissão dos dejetos pelo tratamento por biodigestor	86

CAPÍTULO IV

Figura 1 Limites de sistema da produção de leitões desmamados no Brasil	100
	107
e as emissões de GEE.	
Figura 3 Dispersão dos 61 indivíduos analisados na ACP.	111
Figura 4 Clusters dos anos analisados	112
Figura 5 Clusters dos sistemas de produção analisados	113
Figura 6 Clusters das regiões brasileiras analisadas.	115
Figura 7 Dendograma dos 61 indivíduos.	116

LISTA DE SIGLAS

Sigla	Significado
ABCS	Associação Brasileira de Criadores de Suínos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	Organização Internacional de Normalização
FAO	Food and Agriculture Organization
ONU	Organização da Nações Unidas
OCDE	Organização e Cooperação para Desenvolvimento Econômico
GEE	Gases de efeito estufa
Proknow-C	Knowledge Development Process - Constructivist
PIB	Produto Interno Bruto
Figura 2	Representação do Cos ² Correlação dos indicadores zootécnicos
UPD	Unidade produtora de leitões desmamados

UPL	Unidade produtora de leitões
ICV	Inventário de Ciclo de Vida

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A suinocultura participa de forma efetiva no desenvolvimento econômico e social em diversas regiões do país. Essa influência econômica é exposta quando se observa, por exemplo, o volume produzido até o mês de setembro de 2023 foi de aproximadamente 4 milhões de toneladas (IBGE, 2023).

De acordo com a Associação Brasileira de Criadores de Suínos (ABCS), em 2021 a suinocultura foi a oitava atividade agropecuária que mais contribuiu com o PIB, sendo computado um valor de 122 bilhões de reais. Dentro desta conjuntura, o Brasil tem exportado para países como China (171 mil t), Hong Kong (43 mil t), Filipinas (38 mil t), Singapura, Argentina, Chile, Uruguai, Vietnã, Japão, Tailândia e Rússia, entre outros com menor volume de exportação, sendo a China a que detém a maior parcela de produtos cárneos suínos produzidos no Brasil (ABPA, 2022). Este cenário é possível devido a aplicação de tecnologias inovadoras aos processos produtivos envolvidos na cadeia suinícola brasileira.

Com o crescimento observado da suinocultura no Brasil, os impactos ambientais das mudanças climáticas na produção animal e no setor industrial, causam preocupações com o resíduo poluente gerado e gases emitidos. Por outro lado, a suinocultura brasileira apresenta grande potencial em reduzir suas emissões de GEE através de práticas de redução de impacto, principalmente aquelas relacionadas ao aumento da eficiência produtiva animal, ao manejo e a consequente otimização no uso de recursos de produção (grãos, energia elétrica, água, entre outros itens essenciais a atividade).

Com uma esfera inovadora no que diz respeito a produtividade, um panorama econômico promissor e com um mercado internacional amplo, o Brasil encontra-se na 4ª posição mundial de produtores e exportadores de carne suína. No entanto, considerando as atuais discussões acerca da

sustentabilidade dos diferentes sistemas de produção animal, autores como McAuliffe *et al.* (2017) e Pietramale *et al.* (2021) contrastam quanto a afirmações referentes a participação da produção de monogástricos nos fatores que interferem no aquecimento global.

Discorrendo sobre esta dicotomia que discute o fato de a suinocultura ser ou não uma atividade de alto impacto ambiental, alguns autores sugerem uma redução de produção a fim de restringir os impactos ambientais (Toniazzi *et al.*, 2018), outros alegam que o aumento de produtividade usando os mesmos recursos otimizará a atividade diluindo seu impacto sobre o meio ambiente (Pietramale *et al.*, 2021; Soleimani e Gilbert, 2021). Contudo, reduzir a produção de carne suína entraria em conflito com as afirmações da FAO (2018) sobre o aumento populacional mundial e a necessidade de aumentar a produção de alimentos principalmente da proteína de origem animal.

Apesar das conexões entre a produção animal brasileira e os impactos ambientais, a suinocultura tem se destacado quando o assunto é reduzir tais impactos e aumentar a eficiência produtiva. Estas ações a partir da aplicação de tecnologias buscam a otimização da atividade desde a produção de grãos para a dieta destes animais até ao processamento da carne e o escoamento do produto (Alfonso, 2019). No entanto, o maior desafio ainda é equilibrar os indicadores produtivos, cada vez mais eficientes, com os aspectos ambientais. Considerando o crescente interesse da população mundial sobre a sustentabilidade da produção de alimentos, torna-se imprescindível a realização de estudos das cadeias de produção animal e seus possíveis impactos ambientais, econômicos e sociais.

Assim, este trabalho buscará compreender quais são os pontos críticos no processo de produção de suínos, abarcando os indicadores de produtividade, que são passíveis de otimização para que se reduzam os impactos ambientais. Para tanto, será utilizado o método de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) indicado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO/ONU (FAO, 2018). Também buscar-se-á compreender como estes indicadores se relacionam com os resultados de emissões de gases de efeito estufa dentro do período dos dados analisados e das Unidades Federativas do Brasil. Além de conduzir análises sobre o impacto

da produtividade nas emissões de gases de efeito estufa dentro da granja, este trabalho também irá abarcar sobre os resíduos orgânicos gerados pela atividade, voltando-se para os dejetos e seus potenciais impactos ambientais antes e depois do tratamento via biodigestor anaeróbio.

JUSTIFICATIVA

Dentro da área da suinocultura, a fase que se relaciona com as matrizes é vista como uma produtora de insumos para a cadeia produtiva de carne suína dado que a demanda por animais de qualidade e com bons pesos ao nascimento e ao desmame é a chave para que todo o processo de crescimento e engorda dos suínos seja promissora (Valentim *et al.*, 2021). No entanto, a fase de matrizes detém cerca de 20% das emissões totais de gases de efeito estufa de todo o processo de criação dos animais até o abate (Ottosen *et al.*, 2019).

Apesar de contribuir com o aquecimento global, a suinocultura brasileira caminha para a sustentabilidade, podendo chegar a atender cerca de 9 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Isso já está sendo possível através das técnicas de manejo, tanto animais como de resíduos, que elevam a produtividade, otimizando o uso de recursos e ainda extrai do que seria descartado (dejeito suíno), coprodutos (biofertilizantes, biogás e energia elétrica, combustível e etc.) para uso dentro da própria cadeia. Assim, torna-se indispensável quantificar e analisar os impactos causados pela emissão de GEE na produção de leitões desmamados.

Apesar dos bons investimentos em tecnologias sustentáveis de produção, inventários de emissões de GEE específicos da cadeia suinícola brasileira ainda são escassos, sobretudo quanto ao detalhamento em cada uma das fases de produção (reprodução/maternidade; pós-desmame ou creche; e, crescimento/terminação), o que torna indispensável quantificar e analisar os impactos causados pela emissão de gases de efeito estufa (GEE) na produção suínos, em cada etapa da cadeia produtiva.

A divisão dos estudos por fases produtivas mostra-se relevante devido ao uso dos recursos que são diferentes em cada fase. Esta diferenciação possibilita evidenciar quais as fases possuem o maior potencial impactante ambientalmente (Nagarajan *et al.*, 2019). Esta identificação possibilitará o desenvolvimento de ações de prevenção e/ou mitigação destes impactos. Justifica-se este recorte devido à alta demanda de insumos produtivos na suinocultura, como produção de grãos para ração, vacinas, consumo de energia elétrica, manejo animal, e como consequência as características e qualidade dos resíduos também são diferenciadas em cada etapa da criação (Cherubini *et al.*, 2015).

Assim, no intuito de avaliar as emissões de GEE da produção de leitões desmamados sob a ótica tecnológica e produtiva, optou-se por utilizar a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Esta metodologia auxilia na mensuração dos potenciais impactos ambientais dentro dos sistemas produtivos, no caso o da atividade suinícola e, ainda, dá suporte na tomada de decisões na gestão de processos, além do desafio de tornar a produção de alimentos de origem animal cada vez mais sustentável e segura.

Desta forma, elaborar um estudo brasileiro utilizando a ferramenta de ACV através de um banco de dados nacional de produção de leitões desmamados, servirá de base para colaborar no desenvolvimento de um inventário nacional sobre impactos ambientais desta atividade. Este estudo também oportunizará que pesquisas subsequentes realizem balanços de carbono mais precisos, em busca de uma suinocultura de baixo carbono.

O uso da ACV como ferramenta de identificação dos potenciais impactos ambientais depende de informações biológicas, as quais, de acordo com Sumner *et al.* (2012), consistem em numerosos componentes que interagem entre si e que englobam processos que variam entre espaço, tempo e biologia. Dentro desta perspectiva, os dados numéricos que alimentam estudos como este são resultantes de modelos matemáticos que visam, a partir de informações reais dos sistemas produtivos, integrar tais informações biológicas em uma única análise quantitativa. O desafio do uso destes modelos matemáticos está em estimar os resultados de impacto de forma que estes possam ser cada vez mais próximos da realidade de campo, pois

indicadores reais in vivo de grande número de animais são mais complexos e onerosos de serem adquiridos.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Desenvolver um inventário para uma análise brasileira do ciclo de vida da produção de leitões desmamados no intuito de investigar quais são os pontos críticos dentro do processo produtivo que são passíveis de serem melhorados em prol da mitigação de potenciais impactos ambientais.

Objetivos específicos

- Quantificar e categorizar a cadeia de produção de leitões destinados a engorda no Brasil;
- Inventariar as emissões de gases de efeito estufa nas diferentes etapas da produção de leitões desmamados;
- Unir diferentes modelos matemáticos que estimam os resultados dos processos fisiológicos animal, abrangendo todo o processo de produção animal dentro da granja, para a realização inventário de carbono baseado em estimativas de emissões e de produção de resíduo animal;
- Propor uma análise de dados estatística que opere em prol de identificar as relações entre os fatores de produção (indicadores reprodutivos) com as emissões de GEE da criação animal (ração, criação e manejo animal) e com as emissões do tratamento de resíduos;
- Oferecer suporte a construção de um inventário nacional da produção de suínos contendo os principais indicadores reprodutivos, bem como indicadores qualitativos relativos a região, sistema e período de produção, que podem afetar a sustentabilidade ambiental dos animais terminados em sistemas confinados dentro de uma série temporal de informações.

METODOLOGIA GERAL

Delineamento de pesquisa

A tese está dividida em 4 capítulos: Capítulo

1 – Considerações iniciais;

Capítulo 2 – Emissões de gases de efeito estufa na suinocultura brasileira:

uma revisão sistemática pelo método Proknow-C;

Capítulo 3 – Explorando a interseção entre produtividade animal e sustentabilidade ambiental na suinocultura de leitões desmamados; Capítulo

4 – A integração das variáveis produtivas, ambientais e reprodutivas da suinocultura brasileira sob a ótica da Análise de Componentes Principais.

Capítulo 2 - Revisão sistemática

A fim de mapear e quantificar as pesquisas realizadas e publicadas nos últimos 42 anos sobre o potencial de aquecimento global e a produção suinícola, realizou-se uma revisão sistemática. A Revisão Sistemática segue o modelo de pesquisa denominado como *Proknow-C* (Carvalho *et al.*, 2020). Para tanto, foi necessário a separação dos subitens em Avaliação do Ciclo de Vida, Emissões de Gases de Efeito Estufa, Produção de suínos e Brasil.

O método da revisão sistemática baseia-se em fatos científicos e em definições já fundamentadas. Possui a finalidade de cooperar com a decisão sobre o estudo e/ou experimento a ser realizado, sobre quais os métodos e ferramentas de análises serão utilizados e ainda traz solidez ao artigo a ser construído (Gomes e Caminha, 2014). No caso da ACV o uso dessa ferramenta dependerá do questionamento sobre o qual far-se-á a pesquisa de informações científicas sobre o assunto. Isso tornará possível o seguimento de pesquisas em bases de dados internacionais e nacionais utilizando algumas palavras-chaves necessárias e pré-definidas.

Capítulo 3 – Análise das Emissões de GEE

Inventário do Ciclo de Vida

Após a revisão sistemática, foi realizada a construção, a partir de dados primários e com apoio de parcerias com empresas multinacionais inseridas no

ramo do controle de dados zootécnicos de produção animal, um inventário nacional para a caracterização da produção de leitões desmamados no Brasil. Os dados foram provenientes dos índices reprodutivos das unidades produtivas que possuíam em seus processos a produção de leitões desmamados, dos anos de 2016 a 2020. Além dos indicadores relacionados a produção animal, necessitou-se também de dados da produção de rações que se destinam as diferentes fases produtivas das fêmeas reprodutoras suínas, que seriam as rações destinadas à produção das matrizes, reprodução e lactação.

Outros dados são os de consumo de energia elétrica da Fábrica de Rações, tipos de transporte das rações e suas respectivas capacidades, para fins de gerar a média de consumo de combustível fóssil por unidade funcional (1kg de ração). Também foi necessário estimar a ingestão de água por animal, buscando quantificar a demanda hídrica animal (excluindo as etapas agrícolas necessárias a produção de ração e a água utilizada para limpeza de desinfecção da fábrica de rações e das unidades produtivas).

Para a obtenção dos indicadores de potenciais impactos ambientais do processo produtivo utilizar-se-á o método de Avaliação do Ciclo de Vida prescrito por Rigolot *et al.* (2010) indicado pela FAO em seu Guia de Estudos de Avaliação de Ciclo de Vida na Suinocultura (FAO, 2018).

A quantificação da produção animal, da ingestão de alimentos e os processos de digestão e excreção, resultou em um banco de dados que alimentou os modelos matemáticos que determinam as entradas e saídas de cada etapa do tratamento dos resíduos orgânicos da atividade. Para os cálculos de emissões de gases de efeito estufa e os teores de carbono e nitrogênio será utilizado a metodologia proposta por Cherubini *et al.* (2015), que utilizou indicadores baseados no IPCC (2006); Hamelin *et al.* (2010); Hamelin *et al.* (2011); Rigolot *et al.* (2010). Quanto a ingestão de água por categoria animal (recria e crescimento de matrizes, gestação e lactação), será utilizado os valores desenvolvidos por Oliveira *et al.* (2020) em condições brasileiras de produção de leitões desmamados.

Avaliação do Ciclo de Vida

Os estudos de ACV propõem análises que envolvem todas as entradas de recursos da natureza e todas as saídas (emissões e produtos) de cada processo que envolve o ciclo de produção de um produto, de acordo com a ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b) dimensionados em uma unidade funcional definido de acordo com o produto, no caso deste estudo foi utilizada a unidade funcional de um quilograma de peso vivo de leitão desmamado no portão da granja. Esta ferramenta insere dados desde a extração dos recursos utilizados no processo de produção da matéria-prima que compõe a dieta dos animais até os dados sobre os produtos resultantes no final da fase produtiva analisada.

Parte dos dados que antecedem o processamento da ração estão disponíveis em Bases de Dados internacionais, como a *Ecoinvent®* e a *Agrifood Technology®*. Necessitando ainda dos dados sobre quais são e a origem dos macro ingredientes da ração fornecida para cada categoria do animal estudado, além do tipo de transporte e distância média percorrida pelo mesmo até a fábrica de rações, os quais procedem de inventários brasileiros de produção de rações destinados a alimentação de monogástricos (aves, peixes, suínos etc.).

As categorias dos animais estudados foram distribuídas por fases, onde a trajetória do ciclo de vida do animal foi avaliada separadamente em produção de marrãs para reposição, reprodução e gestação de matrizes, matrizes lactantes e leitões lactentes. Tal divisão também influenciou os cálculos referentes as dietas, a produção de dejetos bem como as emissões gasosas a partir do tratamento dos resíduos destes animais.

Dados para a Avaliação do Ciclo de Vida do tratamento de efluentes suínos

Para determinar a produção de dejetos suínos, foi necessário estimar, a partir do inventário de produção nacional, quanto cada fêmea excreta por fase produtiva para produzir um quilograma de leitão desmamado.

Para se realizar o ACV na produção de dejetos foi necessária uma coleta de dados primários e secundários. Primários quanto ao volume de animais e

dieta generalizada, bem como a composição bioquímica destes rejeitos e, secundários por parte dos valores sobre os resíduos serem oriundos de modelos matemáticos e referências de estudos que desenvolveram tais modelagens que calculam a degradabilidade da digesta e os resíduos estimados evacuados pelos animais, matematicamente relacionados. Assim os dados coletados preconizaram, novamente, cada fase do ciclo de vida do animal, proporcionalmente ao que Sosu-Boakye *et al.* (2014) realizaram ao buscar identificar as emissões de GEE e de mudanças no uso da terra em produções de suínos na Suécia e ao que Pietramale *et al.* (2021) reportou ao analisar as emissões de GEE a partir de variáveis reprodutivas de matrizes suínas.

Modelagem para calcular a produção de dejetos

Ao utilizar-se de dados secundários a partir de modelagens matemáticas validadas, foi necessário apoiar-se em uma fundamentação teórica que expresse todos os indicadores utilizados para subsidiar os cálculos. Assim sendo, a metodologia aplicada foi de acordo com as indicações do IPCC (2006), de Cherubini *et al.* (2015) e da FAO (2018). Estes métodos sugerem que, para estudos em ACV na suinocultura, se apliquem modelos matemáticos que estimam com maior precisão processos fisiológicos que resultam em emissões e produtos impactantes ao meio ambiente. Tal modelagem foi desenvolvida por Rigolot *et al.* (2010) e fundamentou-se na necessidade de tornar cada vez mais preciso as estimativas sobre o que o animal ingere e excreta, bem como, seus reflexos na geração de impactos ao meio ambiente.

Esta metodologia foi selecionada devido a quantidade de indicadores necessários aos cálculos, compreendendo desde ingestão total da dieta até ingestão por tipo de componente.

Indicadores necessários para os cálculos de emissões e excreções a partir da dieta

Além das informações bromatológicas, os indicadores sobre digestibilidade dos alimentos utilizados na dieta dos animais foram calculados a partir das informações encontradas nas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos

(Rostagno *et al.*, 2017) associados às informações oferecidas pelas empresas, as quais forneceram os dados zootécnicos de produção suinícola e, pelo Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (SINDIRAÇÕES, 2023).

Na busca de valores sobre as emissões produzidas pelos animais (CH_4 , NH_3 , N_2O , CO_2 e N nos dejetos, além de outras substâncias impactantes ao meio ambiente e que são resultantes da ingestão e digestão dos alimentos pelos animais) torna-se possível somente a partir de estimativas numéricas cada vez mais precisas. Desta maneira, buscou-se lograr uma análise de balanço de carbono a partir do tratamento de efluentes suínos, cujo modelo mais utilizado é o de biodigestão anaeróbia e lagoas de estabilização.

Categorias de Potenciais Impactos Ambientais

Autores como Rööös *et al.* (2013) buscaram correlacionar a Pegada de Carbono com outras categorias de impactos ambientais em uma análise que reuniu uma gama de 23 estudos científicos que agrupavam 53 cenários diferentes da produção animal. Porém, devido a diversidade de sistemas de produção, principalmente de suínos, não chegaram a valores precisos em seus resultados. Desta maneira, neste estudo busca-se excluir as questões da diversidade de sistemas, visto que os modelos de produção suinícolas brasileiros se assemelham em genética, fontes de alimentos e manejos padronizados (salvos suas exceções), para estimar o potencial de mudanças climáticas.

Mudanças Climáticas

O impacto potencial das mudanças climáticas pode ser analisado através de cálculos que resultam no montante de emissões de gases de efeito estufa (GEE) a partir de diferentes condições e manejos aos quais os animais são submetidos no decorrer do processo produtivo. Além disso, a mesma categoria de impacto pode ser atribuída em cálculos sobre as emissões dos insumos necessários nesta cadeia produtiva.

Neste ponto, os cálculos referentes as emissões tanto da produção dos grãos e outros insumos, como na transformação dos ingredientes em ração e os transportes foram realizados a partir da aplicação de indicadores de impacto sobre a queima do combustível fóssil dos veículos automotores, que transportam

os insumos, e do uso de energia elétrica indicados pelo Balanço Energético Nacional (2018).

Capítulo 4 – Análise de Componentes Principais

A Análise de Componentes Principais (ACP) oportuniza a remoção da multicolinearidade das variáveis por meio da transmutação do agrupamento dos dados originais, intercorrelacionados, para um conjunto que não correlacionado (Hongyu *et al.*, 2016). Isso reduz o vasto grupo de variáveis a eixos representativos ortogonais que explicam tal variação dos dados em uma decrescência e independência.

BIBLIOGRAFIA

ABCS, 2021. Disponível em [\[https://www.assuvap.com/assoc/pt/noti/?m=2405\]](https://www.assuvap.com/assoc/pt/noti/?m=2405) Acesso em fevereiro de 2023.

ALFONSO, L. Impact of incorporating greenhouse gas emission intensities in selection indexes for sow productivity traits. *Livestock Science*, v. 219, p. 57-61, jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.11.016>.

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

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

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

CHERUBINI, Edivan et al. Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 87, p. 68-77, jan. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.035>.

DE CARVALHO, Gustavo Dambiski Gomes et al. Bibliometrics and systematic reviews: A comparison between the Proknow-C and the Methodi Ordinatio. *Journal of Informetrics*, v. 14, n. 3, p. 101043, ago. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2020.101043>.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Environmental performance of pig supply chains: Guidelines for assessment. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. Rome, 172 pp, 2018.

GOMES, Isabelle Sena; CAMINHA, Iraquitan De Oliveira. GUIA PARA ESTUDOS DE REVISÃO SISTEMÁTICA: UMA OPÇÃO METODOLÓGICA PARA AS CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO. Movimento (ESEFID/UFRGS), v. 20, n. 1, p. 395, 11 dez. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1982-8918.41542>.

Hamelin, L., Wesnæs, M., Wenzel, H., 2010. Life Cycle Assessment of Biogas from Separated Slurry. Environmental project no. 1329. Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University [online] Available from: <http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2010/978-87-92668-03-5/pdf/978-87-92668-04-2.pdf>.

HAMELIN, Lorie et al. Environmental Consequences of Future Biogas Technologies Based on Separated Slurry. Environmental Science & Technology, v. 45, n. 13, p. 5869-5877, jul. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es200273j>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2023. Pesquisa Trimestral do Abate de Animais. Disponível em [\[https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-epecuaria/9203pesquisas-trimestrais-do-abate-de-animais.html\]](https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-epecuaria/9203pesquisas-trimestrais-do-abate-de-animais.html) Acesso em Novembro de 2023.

IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 10, Authors: Dong, H., Mangino, J., Mcallister, T.A., Hatfield, J.L., Johnson, D.E., Lassey, K.R., de Lima, M.A., Romanovskaya, A. Emissions from Livestock and Manure Management. Intergovernmental Panel on Climate Change. [online] Available from: http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf.

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

NAGARAJAN, Dillirani et al. Current advances in biological swine wastewater treatment using microalgae-based processes. Bioresource Technology, v. 289, p. 121718, out. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121718>.

OLIVEIRA, P. A. V. et al. 2020. Modélisation du volume de lisier produit par les truies en maternité et en gestation au Brésil. Journées Recherche Porcine, v. 52, p. 325-330. 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/216084/1/final9462.pdf>

OTTOSEN, Mathias et al. A method to estimate the environmental impacts from genetic change in pig production systems. The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 25, n. 3, p. 523-537, 14 nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01686-8>.

PIETRAMALE, Rita Therezinha Rolim et al. How much the reproductive losses of sows can be impacting the carbon footprint in swine production? Livestock Science, v. 250, p. 104594, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104594>.

RIGOLOT, C. et al. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part I: animal excretion and enteric CH₄, effect of feeding and performance. Animal, v. 4, n. 8, p. 1401-1412, 2010a. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731110000492>.

RIGOLOT, C. et al. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. Animal, v. 4, n. 8, p. 1413-1424, 2010b. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731110000509>.

RÖÖS, Elin et al. Can carbon footprint serve as an indicator of the environmental impact of meat production? Ecological Indicators, v. 24, p. 573-581, jan. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.08.004>.

Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Hannas, M. I., Donzele, J. L., Sakomura, N. K., Perazzo, F. G., Brito, C. O., 2017. Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais (488 p.). Departamento de Zootecnia-UFV, Viçosa, MG, BR.

SASU-BOAKYE, Y.; CEDERBERG, C.; WIRSENIUS, S. Localising livestock protein feed production and the impact on land use and greenhouse gas emissions. Animal, v. 8, n. 8, p. 1339-1348, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731114001293>.

Soares, K. R., Ximenes, L. F., 2022. Carne Suína. Caderno Setorial ETENE, v 7, n 221. 2022.

Sobestiansky, J., Barcellos, D. E. S., Mores, N., De Oliveira, S. J., Carvalho, A.

M., Moreno, A. M., Roehe, P. M., 1998. Clínica e patologia suína. 2. Ed, 1999, Goiás, p. 304- 305_. Suinocultura intensiva: produção, manejo e saúde do rebanho. Brasília: EMBRAPA – SPI. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA.

SOLEIMANI, Tara; GILBERT, Helene. An approach to achieve overall farm feed efficiency in pig production: environmental evaluation through individual life cycle assessment. The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 26, n. 3, p. 455-469, 11 jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-02001860-3>.

SUMNER, T.; SHEPHARD, E.; BOGLE, I. D. L. A methodology for global sensitivity analysis of time-dependent outputs in systems biology modelling. Journal of The Royal Society Interface, v. 9, n. 74, p. 2156-2166, 4 abr. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsif.2011.0891>.

TONIAZZO, Fabiane et al. AVALIAÇÃO DA LIBERAÇÃO DE CO2 EM SOLO COM ADIÇÃO DE ÁGUAS RESÍDUARIAS SUÍNICOLAS E IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS DA SUINOCULTURA. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 7, n. 1, p. 253, 19 fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e12018253-274>.

VALENTIM, J. K., et al. Meta-analysis of relationship between weaning age and daily weight gain of piglets in the farrowing and nursery phases. South African Journal of Animal Science, v. 51, n. 3, p. 332-338. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4314/sajas.v51i3.6>.

CAPÍTULO II

Emissões de gases de efeito estufa na suinocultura brasileira: uma revisão sistemática pelo método *Proknow-C*

Greenhouse gas emissions from Brazilian swine production: A systematic review by Proknow-C method

Rita Therezinha Rolim Pietramale^{1*}; Fabiana Ribeiro Caldara¹; Leonardo Oliveira Seno¹,
Clandio Favarini Ruviano¹;
¹Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados –
UFGD; *Autor correspondente – rolimpiezoo@gmail.com

RESUMO: As pesquisas sobre a produção de monogástricos e as emissões de GEE originam-se de amostragens pequenas quando comparadas a abrangência nacional. Objetivou-se uma revisão sistemática sobre o uso da ACV em produção suínos no Brasil e as emissões de GEE. Aplicou-se o método *Proknow-C* para quantificar pesquisas e uma análise de similaridade através do software *VoSViewer®*, na avaliação sistêmica de seus conteúdos. Os descritores foram liderados por *Life cycle assessment* acompanhado de *Pig production*, *Swine production*, *Greenhouse gas emissions*, *Piglet production* e *Brazil*. O Brasil é expressivo nos estudos sobre impactos ambientais e no desenvolvimento de tecnologias mitigatórias, mas ainda faltam resultados sobre os produtos destas tecnologias. Observou-se uma tendência em estudar o impacto da alimentação e dos sistemas de tratamentos de resíduos nas emissões de GEE. Através dos descritores selecionados observou-se que ainda existem lacunas quando se fala em avaliação do ciclo de vida na suinocultura nacional.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida; Gases de efeito estufa; Leitões desmamados; Revisão sistemática; Suinocultura brasileira.

ABSTRACT: Research on monogastric production and GHG emissions often relies on small sample sizes compared to the national scope of the activity in their countries of origin. This systematic review aimed to assess the use of LCA (Life Cycle Assessment) in Brazilian swine production and its GHG emissions. The Proknow-C method was applied to quantify research and a similarity analysis was performed using the VoSViewer® software to systematically evaluate the content. The descriptors were led by "Life cycle assessment" followed by "Pig production," "Swine production," "Greenhouse gas emissions," "Piglet production," and "Brazil." Brazil stands out in studies on environmental impacts and the development of mitigation technologies, but there is still a lack of results on the products of these technologies. A trend has been

observed to study the impact of feeding and waste treatment systems on GHG emissions. Through the selected descriptors, it was observed that there are still gaps when it comes to life cycle assessment in national pig farming.

Keywords: Life cycle assessment; Greenhouse gas emissions; Weaned piglet; Systematic review; Brazilian pig production.

INTRODUÇÃO

Sob a perspectiva de que a carne suína é uma das mais consumidas no mundo, muito se tem discutido sobre os reais impactos ambientais causados pela atividade. Tais abordagens referem-se ao aumento de produção global de carne suína que chegou a 109,2 Mt em 2020, mas que pode atingir cerca de 173 Mt em 2030, de acordo com as estimativas da OCDE (Organização e Cooperação para Desenvolvimento Econômico, 2021).

O aumento produtivo ocasionou em estimativas de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) maiores quando comparadas a 2013, que era de 668 Mt de CO₂ eq. de acordo com McAuliffe *et al.* (2017) e foi para 819 Mt em 2020 (Ndue e Pál, 2022). No entanto, as aplicações tecnológicas sobre a atividade suinícola colocaram a carne suína como uma das menos emissoras de GEE, cerca de 5.6 kg de CO₂eq./kg de carne nos processos produtivos pré-abate (MaCleod *et al.*, 2018).

A pesquisa científica internacional dedicou-se em aprimorar as tecnologias de produção em prol da mitigação de impactos ambientais, voltando-se para sistemas de gestão e tratamento de resíduos animais mais eficientes e manejos dos animais de forma a aumentar a produção com menor recurso ambiental. Outra participação científica expressiva é o aperfeiçoamento de métodos de análises de impactos ambientais, muitas vezes já aplicados, mas agora mais apurados quanto aos processos produtivos. A *Food Agriculture Organization* (FAO) tem dedicado parte de suas pesquisas em busca de estimar e categorizar os potenciais impactos ambientais em números cada vez mais próximo da realidade de campo.

Realizar estudos que abarcam a sustentabilidade de produção animal tem sido um desafio, devido aos inúmeros itens que compõem tais estudos. O uso da Avaliação do Ciclo de Vida como ferramenta destas análises tem facilitado o detalhamento sobre cada processo envolvido nos sistemas produtivos agropecuários.

No entanto, comparar de forma precisa, os estudos que utilizam a ACV como ferramenta de análise na produção animal, ainda é um desafio para os cientistas (Andretta *et al.*, 2021). Mas ainda assim, a ACV é considerada um método abrangente e aceitável, sob a perspectiva global, de ser aplicado em estudos sobre a produção animal.

É perceptível que o uso da ACV tem sido mais aplicado em estudos sobre a produção de ruminantes em busca de identificar e estimar os impactos ambientais das cadeias produtivas (Akamati *et al.*, 2022). No entanto, as diferentes formas de produção (quanto aos aspectos dietéticos, climáticos, genéticos e regionais) são consideradas pontos divergentes ao comparar tais estudos. Ainda que haja estudos precisos, compará-los seria injusto, pois dentro de um mesmo país, como o caso do Brasil, existem inúmeras formas de produzir proteína de origem animal.

Já sobre as pesquisas voltadas para a produção de não-ruminantes, Akamati *et al.* (2022) afirmam serem poucas quando se compara ao montante de estudos sobre os ruminantes. Um ponto deveras crítico quanto aos estudos sobre a produção de monogástricos, refere-se ao nível de precisão dos inventários produtivos necessários ao uso da ferramenta de ACV, geralmente aplicando-se a amostragens pequenas quando comparada a produção nacional da atividade em seus países de origem (Andretta *et al.*, 2021).

Assim, considerando as explanações sobre a atual situação das pesquisas científicas sobre o uso da ferramenta de ACV como método de pesquisa sobre os impactos ambientais, este estudo objetivou realizar uma revisão sistemática sobre o uso do método ACV em produção suínos e as emissões de GEE na suinocultura industrial brasileira. Buscou-se aplicar o método *Proknow-C* na quantificação das pesquisas e na análise de seus conteúdos, abarcando a necessidade de expor onde e quando, encontram-se as publicações científicas sobre a temática escolhida.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa científica sofreu uma avalanche de conteúdos nos últimos 40 anos, principalmente no quesito distribuição e divulgação da informação. Mariano *et al.* (2011) expuseram que antes dessas mudanças na produção científica, havia uma dificuldade sobre a sumarização das informações em revisões bibliográficas,

tornando árduo o processo de justificação de um estudo científico. Atualmente, a disponibilidade de material on-line mudou a demanda dos textos de revisões bibliográficas das pesquisas, tornando-as carentes de um roteiro mais organizado e sistemático sobre as decisões de que estudo realizar dentro das linhas de pesquisa. De acordo com Santos *et al.* (2007), a tradicional revisão de literatura, hoje conhecida como revisão narrativa, é insuficiente quanto a padronização de pesquisa e ainda tendência a vieses dentro de um tema.

O intuito de realizar uma revisão bibliométrica sistemática é conhecer a abrangência e o impacto de determinadas áreas de pesquisa e suas relevâncias para a comunidade científica. O método de pesquisa bibliométrica tem como ponto de partida uma estruturação das buscas de conteúdos e artigos que possam quantificar o impacto que estes têm na compreensão e aplicação de inovações científicas e tecnológicas. Dentro da revisão bibliométrica sistemática, a revisão sistemática tem a finalidade de cooperar com a realização de estudos científicos inovadores, que procuram preencher lacunas que ainda não foram desbravadas pela ciência (Gomes e Caminha, 2014). Para realizar uma revisão sistemática é necessária uma fundamentação sólida sobre a temática escolhida, afinal é preciso ciência sobre quais descritores devem ser utilizados para as buscas de artigos.

Para atender estas demandas sobre os roteiros de pesquisas de textos sobre os temas de pesquisa da atualidade, é necessário desenvolver questões claras e objetivas sobre o que e como conduzir na revisão sistemática e bibliométrica. Sánchez Meca (1999) já salientava sobre o método de meta-análise como meio de realizar revisões literárias de maior rigor e fundamentação, o qual o autor chamou de “verdadeiro saber científico”. A revisão sistemática faz parte da primeira etapa de uma meta-análise que é uma revisão com viés quantitativo, a qual busca reunir em um único estudo um compilado de evidências científicas quantificáveis realizadas por outros estudos já publicados.

Na condução de uma revisão bibliométrica sistemática, Linhares *et al.* (2019) utilizaram o método *Knowledge Development Process - Constructivist (Proknow-C)* (Ensslin *et al.*, 2010), que propõe ao pesquisador o desenvolvimento de um portfólio bibliográfico de uma temática, analisando os limites inerentes, no qual os artigos possuam teorias e resultados validados cientificamente. Lacerda *et al.* (2012)

expuseram que um tema de pesquisa interdisciplinar necessita da revisão bibliométrica sistemática por ser composto por múltiplas áreas de estudos com volumes literários extensos. O *Proknow-C* está estruturado em 3 etapas primordiais: A seleção dos artigos, composto por um portfólio direcionado ao tema; A análise bibliométrica, que é a quantificação do estado da arte do tema dentro dos padrões adotados na pesquisa; A análise sistêmica, que é a análise do conteúdo dos artigos e seleciona aqueles que devem compor a “discussão científica” objetivada pelas questões da pesquisa.

Desenvolvimento da pesquisa

Para iniciar a pesquisa foi necessário selecionar um grupo de descritores ou palavras-chave, etapa que demandou um conhecimento empírico e teórico do assunto, pois dependeu do conhecimento das tendências da ciência dentro da temática do estudo. O descritor selecionado para este estudo foi: *Life cycle assessment*. Os descritores foram combinados em um grupo de pesquisa liderado por *Life cycle assessment* acompanhado de *Pig production*, *Swine production*, *Greenhouse gas emissions*, *Piglet production* e *Brazil*.

A seleção da base de dados foi conduzida seguindo as métricas internacionais de publicação científica, sendo a *Web of Science* a escolhida por apresentar informações quali-quantitativas como as geográficas, além de outras métricas que esta base de dados fornece, como por área de pesquisa, periódicos, editoras etc. Neste estudo foram selecionadas as métricas de volume de artigos publicados dentro de um período de 42 anos (1980 a 2022), além dos países que mais publicaram. E devido à base de dados ter um impacto internacional na divulgação dos estudos selecionou-se o idioma inglês, também por ser um idioma reconhecido mundialmente pela comunidade científica.

A seleção do período de 42 anos se deu devido a década de 1980 ser palco da criação do *International Panel of Climate Change* (IPCC), que foi criado em 1988 com a finalidade de expor os resultados dos estudos e ainda regulamentar os estudos voltados para as mudanças climáticas (IPCC, 2023). No entanto, os estudos sobre as mudanças climáticas começaram muito antes, na década de 1960, quando alguns cientistas expuseram modelos matemáticos para estimar o uso de recursos e as

emissões por unidade de produto, um estudo realizado pela empresa Coca-Cola com o intuito de otimizar o uso de embalagens pela empresa. Esta seleção de período para estudos de produção de suínos também foi para que não houvesse perdas de estudos devido aos anos pesquisados.

Análise quali-quantitativa

Uma análise de similaridade bibliométrica foi realizada objetivando um resultado qualitativo sobre parte do conteúdo dos artigos. Através das análises já expostas pela base de dados *Web of Science*, a exposição de resultados como os tópicos como títulos dos artigos, palavras-chave, palavras-chave adicionais, resumo e categorias do *Web of Science*, no formato de documento de texto e analisado pelo *VoSViewer*® versão 1.6.19, obteve-se os mapas de similaridade entre os artigos através das palavras mais frequentes. Os mapas bibliométricos expõem, de forma sistemática, as palavras mais frequentes nos textos através de gráficos que podem ser de bolhas, densidade (zona de calor), densidade por clusters e por dispersão. Estas imagens demonstram através da intensidade das cores ou tamanhos de bolhas a palavra mais frequente e, quando utilizado os gráficos de bolhas ou de imagem de dispersão, também mostram suas conexões (Knapczyk *et al.*, 2018).

Nesta etapa do estudo, os artigos encontrados através das palavras-chave foram inseridos em uma planilha composta por informações como: Nomes dos autores; Títulos dos artigos; Periódicos; Idiomas; Tipos de publicação; Palavras-chave; Palavras-chave adicionais; Resumo; Endereços; Instituições de pesquisa; Ano de publicação; Número de citações; DOI; Categorias do *Web of Science*. Estas informações foram utilizadas para uma análise de similaridade bibliométrica proposta por Eck *et al.* (2011); Leydesdorff *et al.* (2017); Knapczyk *et al.* (2018); Shah *et al.* (2020). A análise de similaridade bibliométrica foi realizada através do software *VoSViewer* versão 1.6.19, que é um programa livre que desenvolve mapas das palavras mais frequentes nos textos analisados e suas conexões.

Também foram gerados gráficos sobre o volume de pesquisas realizadas em cada ano do período pesquisado, 1980 a 2022. Além dos gráficos de pesquisa por ano, também foram gerados mapas globais com a exposição dos países que mais realizam estudos dentro de cada grupo de descritores, onde o volume de publicações

é indicado pela intensidade da cor. Ambos os gráficos, sobre os anos e sobre os países foram realizados pelo *Excel Office 365®*.

Análise sistêmica

Também denominada como análise de conteúdo, esta etapa consiste na leitura, seleção e discussão dos artigos finais encontrados ao direcionarmos a pesquisa bibliométrica ao ponto principal do estudo. Para que os estudos sejam mais específicos, esta etapa depende da inserção de descritores mais precisos, afunilando as buscas bibliométricas reduzindo o número de artigos a serem analisados.

Para aprofundar as buscas de estudos que expressassem objetivos similares dentro do tema suinocultura e produção de leitões desmamados relacionados as emissões de gases de efeito estufa, palavras-chave foram inseridas nas buscas bibliométricas. Conforme a inserção foi sendo realizada, a análise de similaridade bibliométrica (mapas bibliométricos) foi ficando menos atrativa, devido ao volume de conteúdo ser menor. Assim, os termos encontrados nos gráficos de similaridade foram utilizados para verificar se o conteúdo dos artigos condizia com o tema principal de pesquisa.

Através dos mapas de similaridade, foi possível interpretar sobre as conexões entre os artigos. No entanto, ao aprofundar as buscas com termos mais direcionados o volume de material foi sendo reduzido e os artigos foram selecionados através de uma leitura sistêmica de conteúdo. O foco da leitura foi analisar os objetivos, as metodologias e os resultados dos estudos, com foco em identificar as motivações, os meios e as conclusões dos autores.

RESULTADOS

Resultados bibliométricos

Apesar do volume de trabalhos que mencionaram em algum momento em seus textos o termo *Life cycle assessment* ser numeroso, quando a pesquisa especifica a atividade a qual se aplicou a ACV ocorre uma redução drástica na quantidade de artigos. Uma redução ainda maior é observada quando se especificou sobre o tema produção de leitões, expondo apenas 2 e 3 estudos de acordo com a combinação dos descritores (Tabela 1).

Tabela 1 – Combinações de palavras-chave e o número de artigos identificados entre os anos de 1980 e 2022.

Palavras-Chave	Anos
	1980 a 2022
<i>“Life Cycle Assessment”</i>	33811
<i>“Life Cycle assessment” AND “Pig production” OR “Swine production”</i>	139
<i>“Life Cycle assessment” AND “Pig production” OR “Swine production” AND “Brazil”</i>	18
<i>“Life Cycle Assessment” AND “Greenhouse gas emissions” AND “Pig production” OR “Swine production”</i>	42
<i>“Life Cycle Assessment” AND “Greenhouse gas emissions” AND “Pig production” OR “Swine production” AND “Brazil”</i>	2
<i>“Life Cycle Assessment” AND “Greenhouse gas emissions” AND “Pig production” OR “Swine production” AND “Piglet production”</i>	3

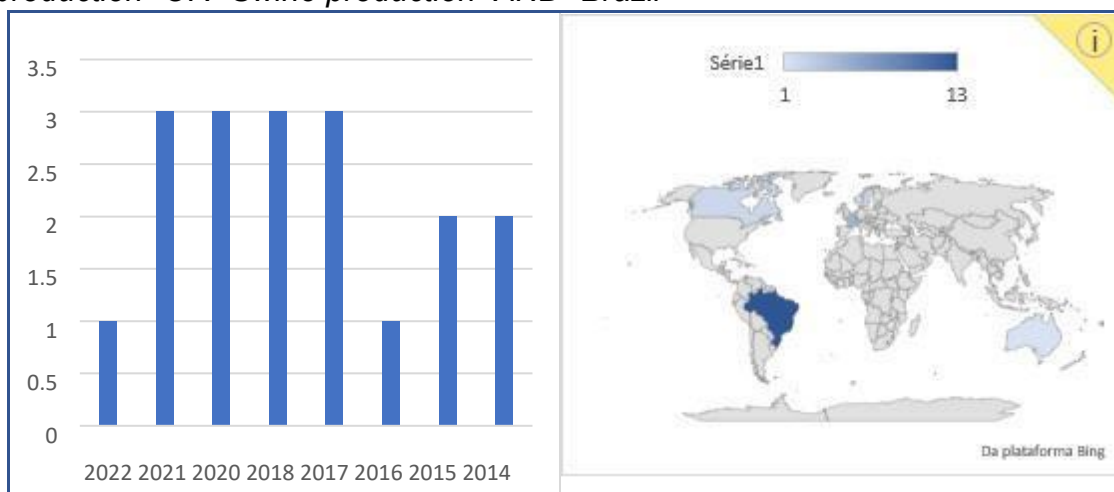
Ao realizar as buscas por estudos que tiveram como principal termo *Life cycle assessment* e combiná-lo com *Pig production* ou *Swine production*, identificou-se que as pesquisas se intensificaram a partir de 2010 (Figura 1). O Brasil lidera o ranking de países com maior número de estudos dentro da temática, com 123 dos 139 estudos (Figura 1).

Figura 1 – Resultado da busca dos termos *“Life cycle assessment” AND “Pig production” OR “Swine production”*



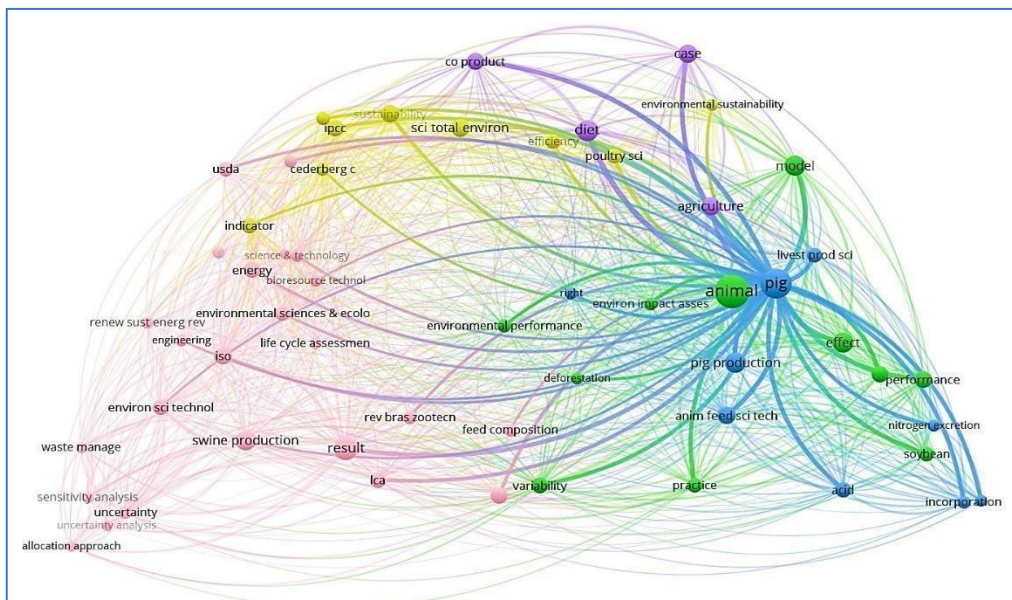
Observando o mapa de similaridade nota-se que a palavra *Animal* e *Pig* se relacionam a manejo produtivo, eficiência alimentar, avaliação de impacto ambiental, pegada de carbono, uso da terra, sustentabilidade, gases de efeito estufa e

Figura 3 – Resultado da busca dos termos “*Life cycle assessment*” AND “*Pig production*” OR “*Swine production*” AND “*Brazil*”



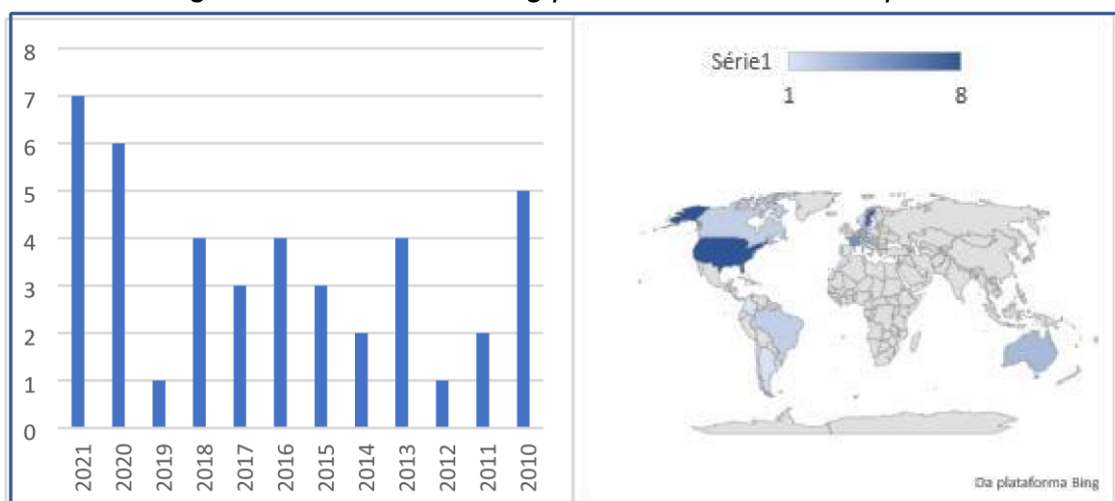
As palavras mais mencionadas nos estudos foram *animal* e *pig*, e elas se relacionam fortemente aos termos *deforestation*, *environmental performance*, *nitrogen excretion*, *environmental impact* e, menos fortemente com *waste management*, *environmental sustainability*, *swine production* e *life cycle assessment* (Figura 4). O gráfico de similaridade expõe que os 18 artigos se conectam e que as palavras *animal* e *pig* se relacionam a termos em todos os *clusters* do gráfico (Figura 4). A especificação de busca que resultou em maior volume de artigos foi quando o descritor *Environmental impact* foi inserido nas pesquisas, com 12 artigos encontrados na base de dados.

Figura 4 – Gráfico de similaridade - “*Life cycle assessment*” AND “*Pig production*” OR “*Swine production*” AND “*Brazil*”



Incluir o termo *Greenhouse gas emissions*, após *Life cycle assessment* e antes de *Pig production* ou *Swine production*, expôs que 42 artigos mencionam estes descritores em algum momento do texto. Os estudos dividiram-se na linha do tempo, tendo como auge de publicações o ano de 2021 (Figura 5). Quanto a localização geográfica das pesquisas, observou-se uma concentração nos EUA e Suécia, seguido pela França e Holanda, o Brasil representou nestes 42 estudos com 2 artigos (Figura 5).

Figura 5 – Resultado da busca dos termos “*Life cycle assessment*” AND “*Greenhouse gas emissions*” AND “*Pig production*” OR “*Swine production*”.



foram mais estudados estão relacionados a alimentação dos animais. Cerca de 8 dos 17 artigos estudaram como a alimentação dos suínos podem participar das emissões da atividade suinícola e alguns corroboraram para a busca de métodos de mitigação das emissões de GEE. Já os estudos que buscaram estimar os impactos ambientais a partir da análise dos sistemas de tratamentos de dejetos suínos somam 3 artigos publicados.

Os estudos que buscaram avaliar o impacto ambiental da suinocultura através das rações variaram em estimar o impacto do consumo do animal sob as emissões de GEE (Pietramale *et al.*, 2021), fontes alternativas de ingredientes (Cherubini *et al.*, 2015a; Ali *et al.*, 2017; Ali *et al.*, 2018), tecnologias de alimentação de precisão (Andretta *et al.*, 2018; Cadero *et al.*, 2020), ingredientes tradicionais mas com redução ou aumento de níveis bromatológicos (Monteiro *et al.*, 2017a; Monteiro *et al.*, 2017b; Garcia-Launay *et al.*, 2014). Sobre os estudos voltados para os dejetos suínos, 1 estudo abordou o uso do biofertilizante resultante dos tratamentos aplicados aos resíduos orgânicos (Geremias e Nordberg, 2020), 1 abordou sistemas de tratamentos dos dejetos (Cherubini *et al.*, 2015b) e 1 abordou o uso do biometano como recurso para produção de energia elétrica e as possibilidades de redução de emissão através desta tecnologia (Hollas *et al.*, 2022).

O restante dos artigos, dividiram em estudos mais generalizados sobre regiões, sistemas, métodos de análise de impactos ambientais e o impacto econômico/social da atividade suinícola. Assim os autores que se voltaram para temas como contrastes de países/regiões produtoras de suínos (Monteiro *et al.*, 2016), buscaram expor as diferenças de produção de suínos em dois players da atividade e da pesquisa suinícola, União Europeia (França) e Brasil. Já os pesquisadores que buscaram avaliar os métodos de análise de impactos ambientais, aplicaram o método da contabilidade emergética de uma unidade de produção agropecuária que produz o ingrediente, processa a ração e alimenta diferentes culturas animais, avicultura de postura, suinocultura, bovino de leite e de corte (Almeida *et al.*, 2020). Também foi observado um estudo que se voltou para a avaliação da atividade suinícola convencional e orgânica na Suécia, procurando identificar os impactos sobre a sustentabilidade da suinocultura em diferentes sistemas de produção (Zira *et al.*, 2021).

Dois estudos não se aplicavam a sistemas de produção de suínos, regiões e/ou países produtores, dietas ou resíduos orgânicos, eles buscaram utilizar de estudos já realizados para revisão sistemática (Andretta *et al.*, 2021) e para uma análise de incerteza sobre os métodos de ACV aplicados (Cherubini *et al.*, 2018). A revisão sistemática de Andretta *et al.* (2021) focou em expor os países que mais publicaram estudos que utilizaram ACV como método de avaliação de impactos ambientais relativos a produção suinícola. Já o estudo de Cherubini *et al.* (2018) procurou verificar a sensibilidade e a incerteza de dois métodos de avaliação: sendo o primeiro uma abordagem de alocação; e o segundo utilizando a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).

É importante ressaltar que um estudo foi excluído da análise de conteúdo por não possuir informações sobre suinocultura em seu conteúdo.

Sobre a expressividade dos artigos selecionados para análise sistêmica, é importante expor a quantidade de animais envolvidos em cada um deles, bem como as fases as quais eles se encontravam durante a avaliação. Sendo assim, apenas 5 dos 17 artigos mencionam a quantidade de animais presentes nos estudos. Destes, 4 avaliaram as fases de crescimento e engorda (Monteiro *et al.*, 2016; Andretta *et al.*, 2017; Almeida *et al.*, 2020; Cadero *et al.*, 2020) e, 1 avaliou o plantel brasileiro de matrizes suínas (Pietramale *et al.*, 2021). Os outros artigos, que não eram revisões, utilizaram bancos de dados seguros, mas não mencionaram o volume de animais representados nos estudos.

Tabela 2 – Artigos selecionados para avaliação sistemática de conteúdo.

Autores	Títulos	Objetivos
Monteiro, A. N. T. R.; Fachinello, M. R.; DiazHuepa, L. M.; Partyka, A. V. S.; Nunes, R. V.; Pozza, P. C. (2017)	<i>Environmental impact based on life cycle assessment of starting pig production receiving diets with reduced crude protein content.</i>	Avaliar o impacto ambiental causado pela produção de suínos em fase inicial da terminação através da redução de níveis de proteína bruta da dieta dos animais.
Geremias, R; Nordberg, A. (2020)	<i>Climate impact assessment of a pig manure storage system tradicional por um cenário de biodigestão anaeróbia para produção de energia e substituted with anaerobic digestion - a case study in Santa de Santa Catarina Catarina, Brazil</i>	Avaliar e comparar o impacto sobre as mudanças climáticas ao substituir o manejo de biofertilizante em uma pequena propriedade de produção de leitões no Estado
Zira, S.; Rydhmer, L.; Ivarsson, E.; Hoffmann, R.; Roos, E. (2021)	<i>A life cycle sustainability assessment of organic and conventional pork supply chains in Sweden</i>	Avaliar a sustentabilidade ambiental, econômica e social da carne suína convencional e orgânica na Suécia
Cherubini, E.; Zanghelini, G.	<i>Life cycle assessment of swine</i>	Avaliar o impacto ambiental da produção de suínos no Brasil baseado na M;
Alvarenga, R. A.	<i>production in Brazil: a comparison</i>	Avaliação do Ciclo de Vida, comparando quatro sistemas de manejo de dejetos: 1
F.; Franco, D.; Soares, S. R. (2015)	<i>of four manure management systems</i>	– armazenamento de dejetos líquidos em tanques de chorume.

Monteiro, A. N. T. Effect of feeding strategy on R.; Garcia-Launay, F.; Brossard, L.; Wilfart, A.; fattening in different contexts of production: evaluation through h life cycle assessment

O objetivo deste estudo foi avaliar esses efeitos em 2 contextos geográficos contrastantes de produção, América do Sul (Brasil) e Europa (França).

Andretta, I.; Hauschild,

L.; Kipper, M.; Pires, P. G. Environmental impacts

S.; Pomar, C. (2018) precision feeding programs applied in pig production.

of Avaliar o efeito que a mudança de sistemas convencionais para sistemas de alimentação de precisão durante a fase de crescimento e terminação teria potencial impacto ambiental da produção de suínos.

Monteiro, A. N. T. Life cycle assessment as a tool to evaluate the impact of reducing crude protein in pig diets

Realizar uma revisão sobre técnicas de nutrição e seu potencial em reduzir o potencial de aquecimento global da produção de suínos, considerando os efeitos diretos, relacionados à escolha dos ingredientes da ração, e os efeitos indiretos, relacionados às mudanças na eficiência de uso de nutrientes pelos animais.

Hollas, C. E.; do Amaral, K. G. C.; Lange, M.

Life cycle assessment of waste

V.; Higarashi, M. Avaliar a viabilidade ambiental de cinco estações de tratamento de biogás management from the Brazilian pig
M.; Steinmetz, R. L. utilizando resíduos da produção de suínos através de uma avaliação do ciclo de chain residues in two perspectives:
R.; Barros, E. C.; Mariani, L. vida (LCA), comparando a geração de eletricidade e biometano como pontos Electricity and biomethane
F.; Nakano, V.; Kunz, críticos para promover mudanças na matriz energética nacional. production A.; Sanches-Pereira, A.;
Jannuzzi, G. D. (2022)

Garcia-Launay, F.; van der Werf, H. M. G.; Nguyen, T. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in pig. production using Life Cycle Assessment

Avaliar o impacto ambiental da produção de suínos em uma granja convencional através da ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), em vários cenários de incorporação de aminoácidos na dieta.

Andretta, I.; Hickmann, F. M. W.; Remus,

A.; Franceschi, C. Environmental Impacts of Pig and

Construir uma revisão sistemática de manuscritos revisados por pares que

H.; Mariani, A. B.; Orso, Poultry Production: Insights From investigaram os impactos ambientais associados à produção de suínos e aves. C.; Kipper,

M.; Letourneau- a Systematic Review Montminy, M. P.; Pomar, C.

(2021)

Pietramale, R. T. R.;

Caldara, F. R.; Barbosa, D. How much the reproductive losses

Estimar o consumo diário de ração das porcas e a quantidade de ração consumida durante seus dias não produtivos, correlacionando esses resultados com as emissões de gases de efeito estufa.

K.; da Rosa, C. O.; Vanzela, of sows can be impacting the

M.; Padua, A. B.; Ruviano, C. carbon footprint in swine

F. (2021) production?

Cherubini, E.; Franco, Uncertainty in LCA case study due Avaliar a incerteza e a sensibilidade no LCA de produção de suínos devido a duas D.;

Zanghelini, G. to allocation approaches and life escolhas metodológicas: a abordagem de alocação e o método de avaliação de M.; Soares, S. R.

(2018) cycle impact assessment methods impacto do ciclo de vida (LCIA)

Cherubini, E.; Zanghelini, G.

M.; Tavares, J. M. The finishing stage in swine

O objetivo deste estudo foi calcular a pegada de carbono da etapa de acabamento em produção de suínos considerando quatro cenários de composição alimentar

R.; Beletini, F.; Soares, S. production influences of feed

R. (2015) composition on carbon footprint

Almeida, C. M. V.

Integrating or Des-integrating

B.; Frugoli, A. D.; Agostinho, Avaliar por meio da contabilidade emergética uma agroindústria produtora de agribusiness systems: Outcomes

F.; Liu, G. Y.; Giannetti, B. milho, ovos, carne suína e leite.

of emery evaluation

E. (2020)

A stochastic bio-economic pig farm

Desenvolveu-se um modelo de produção bioeconômico estocástico para uma produção convencional de suínos do início ao fim, avaliando o impacto das inovações nos lucros privados e sociais. Aplicou-se o modelo para avaliar o impacto do uso de fontes alternativas de ração, produzidas localmente, nas dietas de suínos em terminação sobre os lucros privados e sociais de uma produção brasileira.

Ali, B. M.; Berentsen, P. B. model to assess the impact of

M.; Bastiaansen, J. W. innovations on farm

performance M.; Lansink, A. O. (2018)

Ali, B. M.; van Zanten, H. H. Environmental and economic

E.; Berentsen, impacts of using co-products in the Avaliar os impactos ambientais e econômicos da utilização de coprodutos

P.; Bastiaansen, J. W. diets of finishing pigs in Brazil existentes e novos na dieta de suínos no Brasil.

M.; Bikker, P.; Lansink, A.

Q. (2017)

Quantificar como as interações entre as práticas alimentares e o manejo animal
Effects of interactions between influenciam os resultados da unidade de engorda em condições de saúde Cadero, A.;
Aubry, feeding practices, animal health and
A.; Dourmad, J. Y.; Salaun, farm infrastructure on saudáveis ou prejudicadas usando um modelo individual de uma unidade de
Y.; Garcia-Launay, F. technical, economic and engorda de suínos que considera a variabilidade individual no desempenho entre
(2020) environmental performances of a os suínos, as práticas alimentares dos produtores e o manejo animal e estima os pig-fattening unit impactos
ambientais (usando avaliação do ciclo de vida) e resultados econômicos da unidade.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Dentre os artigos selecionados para análise sistêmica, dois estavam relacionados a revisões sobre o tema Avaliação do Ciclo de Vida na suinocultura, a revisão sistemática de Andretta *et al.* (2021) e a revisão de literatura de Monteiro *et al.* (2017). O estudo de Andretta *et al.* (2021) expõe que até o ano de 2020, 1710 artigos sobre ACV e suinocultura haviam sido publicados e expostos na base de dados *Web of Science*. Segundo os resultados de Andretta *et al.* (2021), o primeiro artigo sobre esta temática foi publicado em 2005, corroborando com os resultados deste estudo, o qual identificou 5 artigos publicados no ano de 2005 utilizando o método de ACV para análise de impacto da atividade suinícola. Já a revisão de literatura de Monteiro *et al.* (2017) procurou abordar o tema focando em estudos que se baseassem na dieta como método de mitigação de impactos ambientais e as consequências sobre quais e como os ingredientes são aproveitados pelos animais.

Outros artigos já haviam abordado a ACV e relacionado a atividade suinícola em textos de revisões, sistemáticas e não sistemáticas. Dentre eles, McAuliffe *et al.* (2016) abordaram 3 diferentes frentes de pesquisa, sendo a primeira sobre a produção de rações, a segunda sobre o manejo dos animais e a terceira sobre o manejo de resíduos, que concluíram que a diferença entre os métodos de avaliação variava entre softwares e precisão e representatividade dos bancos de dados dificultaram a discussão aprofundada do estudo. Antes de McAuliffe, Reckman *et al.* (2012) discorreu sobre uma pequena amostra de artigos europeus os quais focaram em estimar as emissões médias de GEE por quilograma da carne suína, que variou de 2,6 kg a 6,3 kg, além de evidenciar a variabilidade das limitações apresentadas pelos estudos.

Apesar da amostra de artigos que abordaram a ACV, a suinocultura e o Brasil ser pequena, os resultados exemplificaram o que já vem sendo pesquisado sobre o tema em território nacional. Se o objetivo fosse reunir trabalhos realizados globalmente, cerca de 121 trabalhos seriam avaliados e exclusões por falta de conteúdo relacionado ao tema seriam feitas. No entanto, ao especificar usando o termo “*Review*” na combinação “*Life cycle assessment*”

AND “*Pig production*” OR “*Swine production*”, apenas 13 artigos são encontrados, e somente 4 focaram na suinocultura e 3 são de assuntos generalizados referentes ao impacto ambiental da produção animal.

CONCLUSÃO

Através dos descritores selecionados para esta revisão sistemática foi possível observar que ainda existem lacunas a serem preenchidas pela ciência quando se fala em avaliação do ciclo de vida na suinocultura nacional. Sobre temas mais específicos da atividade suinícola, como estudos por fases, poucos artigos mencionam tais etapas da atividade em suas análises, mas somente um realizou um estudo preciso sobre etapas de produção da suinocultura. Este único artigo é pouco amplo no quesito atividade suinícola, mas bastante abrangente quanto ao número de animais presentes no estudo. No entanto, seu foco é apenas em um indicador reprodutivo, expondo um resultado condizente somente a uma pequena parte do processo. Estas explanações sobre os estudos possibilita a conclusão sobre a necessidade de estudos com expressividade nacional sobre a suinocultura brasileira, mas com precisão de processos, tanto nas etapas referentes aos animais como nas que se referem aos tratamentos dos resíduos.

Aplicar a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida é um processo amplo, detalhado, que exige conhecimento aprofundado de cada etapa de uma atividade e a suinocultura abrange tecnologias distintas em diferentes etapas, que ao observá-las separadamente não parecem se complementarem em um único propósito. O Brasil tem sido expressivo nos estudos sobre impactos ambientais bem como no desenvolvimento destas tecnologias, mas ainda faltam resultados mais precisos sobre os produtos do uso destas tecnologias. Metodologias foram desenvolvidas, mas separadamente aplicadas em diferentes estudos, abrindo a lacuna sobre como seriam os resultados se estas tecnologias fossem avaliadas em uma única pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

AKAMATI, Konstantina; LALIOTIS, George P.; BIZELIS, Iosif. Comparative Assessment of Greenhouse Gas Emissions in Pig Farming Using Tier Inventories. *Environments*, v. 9, n. 5, p. 59, 13 maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/environments9050059>.

ALI, Beshir M. et al. Environmental and economic impacts of using co-products in the diets of finishing pigs in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 162, p. 247-259, set. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.041>.

ALI, B. M. et al. A stochastic bio-economic pig farm model to assess the impact of innovations on farm performance. *Animal*, v. 12, n. 4, p. 819-830, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731117002531>.

ALMEIDA, C. M. V. B. et al. Integrating or Des-integrating agribusiness systems: Outcomes of emergy evaluation. *Science of The Total Environment*, v. 729, p. 138733, ago. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138733>.

ANDRETTA, I. et al. Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. *Animal*, v. 12, n. 9, p. 1990-1998, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731117003159>.

ANDRETTA, Ines et al. Environmental Impacts of Pig and Poultry Production: Insights From a Systematic Review. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 8, 27 out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.750733>.

CADÉRO, A. et al. Effects of interactions between feeding practices, animal health and farm infrastructure on technical, economic and environmental performances of a pig-fattening unit. *Animal*, v. 14, p. s348—s359, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731120000300>.

CHERUBINI, Edivan et al. Uncertainty in LCA case study due to allocation approaches and life cycle impact assessment methods. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 23, n. 10, p. 2055-2070, 8 jan. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1432-6>.

CHERUBINI, Edivan et al. Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 87, p. 68-77, jan. 2015a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.035>.

CHERUBINI, Edivan et al. The finishing stage in swine production: influences of feed composition on carbon footprint. *Environment, Development and Sustainability*, v. 17, n. 6, p. 1313-1328, 2015b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-014-9607-9>.

ENSSLIN, Leonardo et al. ProKnow-C, Knowledge Development Process—Constructivist: processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil:[sn], 2010.

GARCIA-LAUNAY, F. et al. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in pig production using Life Cycle Assessment. *Livestock Science*, v. 161, p. 158-175, mar. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.11.027>.

GEREMIAS, Reginaldo; NORDBERG, Åke. Climate impact assessment of a pig manure storage system substituted with anaerobic digestion - a case study in Santa Catarina, Brazil. *International Journal of Environmental Technology and Management*, v. 23, n. 5/6, p. 414, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/ijetm.2020.114141>.

GOMES, Isabelle Sena; CAMINHA, Iraquitan De Oliveira. GUIA PARA ESTUDOS DE REVISÃO SISTEMÁTICA: UMA OPÇÃO METODOLÓGICA PARA AS CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO. *Movimento (ESEFID/UFRGS)*, v. 20, n. 1, p. 395, 11 dez. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1982-8918.41542>.

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, p. 159494, jan. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159494>.

International Panel of Climate Change – IPCC. History. Disponível em [https://www.ipcc.ch/about/history/] Acesso em Fevereiro de 2023.

KNAPCZYK, Adrian et al. Bibliometric analysis of research trends in engineering for rural development. In: 17TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT. 17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. [S. I.]: Latvia University of Agriculture, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.22616/erdev2018.17.n389>.

LACERDA, Rogério Tadeu de Oliveira; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolim. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. *Gestão & Produção*, v. 19, n. 1, p. 59-78, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0104-530x2012000100005>.

LEYDESDORFF, Loet; BORNMANN, Lutz; WAGNER, Caroline S. Generating clustered journal maps: an automated system for hierarchical classification. *Scientometrics*, v. 110, n. 3, p. 1601-1614, 3 jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2226-5>.

LINHARES, João Eduardo et al. Capacidade para o trabalho e envelhecimento funcional: análise Sistêmica da Literatura utilizando o PROKNOW-C (Knowledge Development Process - Constructivist). *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 24, n. 1, p. 53-66, jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/141381232018241.00112017>.

MACLEOD, M. J. et al. Invited review: A position on the Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM). *Animal*, v. 12, n. 2, p. 383-397, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731117001847>.

MARIANO, Ari Melo, GARCÍA CRUZ, Rosário, ARENAS GAITÁN, Jorge. Meta análises como instrumento de pesquisa: Uma revisão sistemática da bibliografia aplicada ao estudo das alianças estratégicas internacionais. In *Gestão Estratégica: Inovação Colaborativa e Competitividade*. Congresso Internacional de Administração-Inovação Colaborativa e Competitividade (2011). Disponível em: <https://idus.us.es/handle/11441/95086>.

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

MONTEIRO, A. N. T. R. et al. Effect of feeding strategy on environmental impacts of pig fattening in different contexts of production: evaluation through life cycle assessment¹. *Journal of Animal Science*, v. 94, n. 11, p. 4832-4847, 1 nov. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0529>.

MONTEIRO, Alessandra Nardina Trícia Rigo; DOURMAD, Jean-Yves; POZZA, Paulo Cesar. Life cycle assessment as a tool to evaluate the impact of reducing crude protein in pig diets. *Ciência Rural*, v. 47, n. 6, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20161029>.

MONTEIRO, A. N. T. R. et al. 509 Environmental impact based on life cycle assessment of starting pig production receiving diets with reduced crude protein content. *Journal of Animal Science*, v. 95, suppl_4, p. 248, 1 ago. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/asasann.2017.509>.

NDUE, Kennedy; PÁL, Goda. 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>.

OECD/FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030; OECD: Paris, France, 2021.

PIETRAMALE, Rita Therezinha Rolim et al. How much the reproductive losses of sows can be impacting the carbon footprint in swine production? *Livestock Science*, v. 250, p. 104594, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104594>.

RECKMANN, K.; TRAULSEN, I.; KRIETER, J. Environmental Impact Assessment – methodology with special emphasis on European pork production. *Journal of Environmental Management*, v. 107, p. 102-109, set. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.015>.

SÁNCHEZ-MECA, Júlio. Meta-análisis para la investigación científica. Sarabia Sánchez, FJ, “Metodología para la Investigación en Marketing y Dirección de Empresas”, Ediciones Pirámide, Madrid, p. 173-200, 1999.

SANTOS, Cristina Mamédio da Costa; PIMENTA, Cibele Andrucio de Mattos; NOBRE, Moacyr Roberto Cuce. The PICO strategy for the research question construction and evidence search. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, v. 15, n. 3, p. 508-511, jun. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s010411692007000300023>.

SHAH, Syed Hamad Hassan et al. Prosumption: bibliometric analysis using HistCite and VOSviewer. *Kybernetes*, ahead-of-print, ahead-of-print, 5 ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/k-12-2018-0696>.

VAN ECK, Nees Jan; WALTMAN, Ludo. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, v. 84, n. 2, p. 523538, 31 dez. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>.

ZIRA, Stanley et al. A life cycle sustainability assessment of organic and conventional pork supply chains in Sweden. *Sustainable Production and Consumption*, v. 28, p. 21-38, out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.028>.

CAPÍTULO III

EXPLORANDO A INTERSEÇÃO ENTRE PRODUTIVIDADE ANIMAL E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA SUINOCULTURA DE LEITÕES DESMAMADOS

Exploring the intersection between animal production and environmental sustainability in weaned piglet production

PIETRAMALE, Rita Therezinha Rolim^{1*}; CALDARA, Fabiana Ribeiro¹; SENO, Leonardo Oliveira¹; RUVIARO, Clandio Favarini¹.

¹Programa de Pós-Graduação em Zootecnia – Faculdade de Ciências Agrárias/FCA – Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD.

*Autor correspondente – e-mail: rolimpiezoo@gmail.com

RESUMO: O aumento da produção de carne suína traz, proporcionalmente, consigo maiores quantidades de GEE emitidos para a atmosfera, principalmente pelo alto volume de dejetos produzidos, contribuindo com o aquecimento global. Este trabalho foi conduzido com objetivo de compreender os processos emissores de gases de efeito estufa na produção de leitões em Unidades Produtoras de Leitões Desmamados (UPD) brasileiras. Foi utilizado o método de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como guia na coleta e análise e de dados reprodutivos, como também na transformação dos mesmos em resultados que expressassem a sustentabilidade. Esta ferramenta procurou abarcar informações desde a extração dos recursos utilizados no processo de produção da matéria-prima que compõe a dieta dos animais até os dados sobre os produtos resultantes no final da fase produtiva analisada. O banco de dados originou-se de 5 anos (2016 a 2020) de produção de leitões desmamados em todo território nacional. Cada matriz do plantel avaliado produziu uma média de 187,77 kg de leitões desmamado por ano, emitindo cerca de 3,28 kg de CO₂ eq./kg de produto. Sendo as menores emissões originadas pelo metano do tratamento por biodigestor e da estocagem do biofertilizante e as maiores da produção de rações e dos resíduos *in natura* dentro das instalações. As emissões do manejo de resíduos, no caso o tratamento por biodigestor, não foram influenciadas pela produtividade. Os dejetos provenientes da produção de leitões desmamados têm potencial de geração de energia elétrica. Conclui-se que estudar a sustentabilidade da produção suinícola é um desafio metodológico, com múltiplas peças a serem encaixadas. Os indicadores reprodutivos, ao serem analisados detalhadamente, são passíveis de melhoras e ainda resultarão na mitigação de emissões de GEE.

PALAVRAS-CHAVE: Biodigestor; Impactos ambientais; Manejo de resíduos animais; Matrizes suínas; Potencial de aquecimento global; Suinocultura industrial.

ABSTRACT: The increase in pork production proportionally leads to higher amounts of GHGs emitted into the atmosphere, mainly due to the high volume of waste produced, contributing to global warming. This study was conducted with the objective of understanding the greenhouse gas emission processes in piglet production in Brazilian Weaned Piglet Production Units (UPDs). The Life Cycle Assessment (LCA) method was used as a guide for the collection and analysis of reproductive data, as well as for transforming this data into results that expressed sustainability. This tool aimed to encompass information from the extraction of resources used in the production process of the raw material that makes up the animals' diet to data on the resulting products at the end of the analyzed production phase. The database originated from 5 years (2016 to 2020) of weaned piglet production across the entire national territory. Each sow in the evaluated herd produced an average of 187.77 kg of weaned piglets per year, emitting about 3.28 kg of CO₂ eq./kg of product. The lowest emissions originated from methane from biodigester treatment and biofertilizer storage, and the highest from feed production and raw waste inside the facilities. The waste management emissions were not influenced by productivity. The manure from weaned piglet production has the potential to generate electricity. Studying the sustainability of pig production is a methodological challenge with multiple factors to consider. Finally, the reproductive indicators can be improved to mitigate GHG emissions.

KEYWORDS: Biodigester; Environmental impact; animal waste management; Sow; Global warming potential; Industrial swine production.

INTRODUÇÃO

A suinocultura brasileira encontra-se em um patamar de destaque quando o assunto é produtividade, crescimento econômico e atendimento às normas do mercado internacional, colocando-o na 4^a posição mundial como produtor e exportador de carne suína. Tal cenário é confirmado quando se observa a produção nacional, que gerou cerca de R\$122 bilhões em 2021, tornando-se a oitava atividade com participação no PIB brasileiro (ABCS, 2021). O atendimento as normas internacionais de mercado fazem com que o Brasil exporte para países China, Hong Kong, Filipinas e entre outros com menor volume de exportação, para os quais, em 2021, foram exportados 171; 43; 28 mil toneladas respectivamente, sendo a China a que detém a maior parcela de produtos cárneos suínos produzidos no Brasil (ABPA, 2022).

De acordo com McAuliffe *et al.* (2017) o aumento da produção de carne suína traz proporcionalmente consigo maiores quantidades de GEE emitidos

para a atmosfera, contribuindo com o aquecimento global. De acordo com alguns estudos, houve aumento de cerca de 151 Mt de CO₂eq. entre os anos de 2013 e 2020 (McAuliffe *et al.*, 2017; Ndue e Pál, 2022). Entretanto, no que diz respeito à inovações tecnológicas na suinocultura industrial mundial, o desenvolvimento de novos equipamentos e métodos de produção posicionaram a carne suína como uma das proteínas de origem animal com menor emissão de GEE por quilograma de produto antes do abate (MacLeod *et al.*, 2018).

Um dos principais fatores que contribuem com a emissão de GEE na suinocultura é o elevado volume de dejetos que é produzido pela atividade, geralmente, explorada em modelos confinados de produção e que consequentemente concentram o volume de efluentes em uma pequena área (Hollas *et al.*, 2022). De acordo com Pexas *et al.* (2021) a produção suinícola é uma das principais atividades responsáveis pela acidificação de ecossistemas e eutrofização de corpos d'água doce no mundo. Tais afirmações expõem a produção de suínos como uma grande vilã dos impactos ambientais observados em regiões de alta representatividade na atividade. O que por um lado coloca os dejetos suínos como um grande ativo ambiental, por outro permite que tecnologias de tratamento transformem o dejetos em um produto de grande valor biológico e monetário e que podem ser aplicadas nas mais diferentes escalas de produção (Angouria-Tsorochidou *et al.*, 2022).

Apesar de ser considerado um material de alto impacto ambiental, o dejetos suíno contém propriedades que auxiliam o solo na manutenção da fertilidade (Izmaylov *et al.*, 2022). Møller *et al.* (2022) elencam o dejetos suíno, quando utilizado como biofertilizante, como um composto que auxilia na manutenção do carbono do solo. Além do carbono presente no resíduo orgânico, há também a presença de grandes quantidades de nitrogênio e fósforo, os quais são nutrientes de alto impacto ambiental, mas que representam uma fonte biológica disponível para substituição de fertilizantes químicos (Izmaylov *et al.*, 2022).

Estudar a sustentabilidade da produção suinícola é um desafio metodológico, com múltiplas peças a serem encaixadas. Assim, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) surge como uma ferramenta eficiente, contribuindo com os detalhes de cada etapa dos sistemas produtivos e facilitando a compreensão do

todo. Apesar do desafio de estudos detalhados sobre os impactos ambientais na suinocultura, realizá-los a partir da padronização de métodos de análises, considerando o tipo de produção e as características regionais é possível, oportunizando construir um caminho para avaliações mais justas e precisas.

Para compreender e identificar os processos produtivos passíveis de melhoras em prol de mitigar impactos ambientais causados pelas mudanças climáticas, buscou-se desenvolver um Inventário do Ciclo de Vida (ICV) da produção de leitões desmamados brasileira, contendo indicadores de produtividade e de emissões de GEE. Assim, este trabalho foi conduzido com objetivo de compreender os processos emissores de gases de efeito estufa na produção de leitões em Unidades Produtoras de Leitões Desmamados (UPD) brasileiras. Além de conduzir análises sobre o impacto da produtividade nas emissões de gases de efeito estufa dentro da granja, este trabalho irá abarcar sobre os resíduos orgânicos gerados desta atividade, voltando-se para os dejetos e seus potenciais impactos ambientais antes e depois do tratamento via biodigestor anaeróbio.

MATERIAIS E MÉTODOS

Definição de objetivo e escopo

O estudo visa desenvolver um inventário para análise do ciclo de vida da produção de leitões desmamados no Brasil, com o intuito de identificar pontos críticos dentro do processo produtivo que são passíveis de serem melhorados para mitigar impactos ambientais. O objetivo principal é investigar como os indicadores de produtividade e os aspectos ambientais podem ser otimizados para reduzir emissões de gases de efeito estufa e outros impactos ambientais associados à produção de leitões desmamados. Os resultados estão destinados a produtores e gestores da indústria suinícola, pesquisadores e profissionais da área ambiental, assim como órgãos reguladores e políticas públicas voltadas para a sustentabilidade na agropecuária.

O escopo abrange a produção de leitões desmamados na suinocultura brasileira. A função do sistema de produto foca na produção eficiente de leitões desmamados, considerando as práticas de gestão, nutrição, manejo e

tratamento de resíduos. Ademais, a unidade funcional definida para este estudo é de um quilograma de peso vivo de leitão desmamado produzido. A fronteira inclui todas as etapas da produção de leitões desmamados, desde a gestão da matriz até o desmame, incluindo a produção e transporte de insumos (como rações), manejo dos animais, e tratamento dos resíduos gerados.

Avaliação do ciclo de vida

A ACV propõe análises que buscam abranger todas as entradas de recursos (econômicos e naturais) e todas as saídas (emissões, produtos e coprodutos) de cada etapa que envolve o ciclo de produção de um determinado produto, de acordo com a ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2014^a; ABNT, 2014b). Estas análises, geralmente, dimensiona estas entradas e saídas em uma unidade funcional definida de acordo com o produto. No caso deste estudo em uma etapa da cadeia de produção de suínos, a ACV foi utilizada como guia na coleta de dados produtivos e na análise destes dados, como também na transformação dos mesmos em resultados que expressassem a sustentabilidade. Esta ferramenta procurou abarcar informações desde a extração dos recursos utilizados no processo de produção da matéria-prima que compõe a dieta dos animais até os dados sobre os produtos resultantes no final da fase produtiva analisada.

Algumas informações originaram-se de unidades produtivas (UP) diferentes, outras foram informadas pelo corpo técnico de uma das indústrias que domina o mercado brasileiro de suinocultura. As informações zootécnicas originaram-se de uma multinacional que domina o controle de dados de produção de leitões, já as informações de rações originaram-se de indústrias de nutrição animal que atuam na suinocultura nacional, e por fim, a caracterização construtiva das granjas foram fornecidas por uma das indústrias (sem considerar que as UPs poderiam possuir um ou mais módulos de construção). Já as informações referentes aos processos de fabricação das rações (não considerando as dietas) originaram-se de uma única planta fabril e extrapolada para as condições nacionais, assim como energia elétrica da granja seguiu uma única unidade produtiva de grande porte.

Caracterização das granjas avaliadas

Assumiu-se que as granjas especializadas em cada fase seguem o mesmo padrão de construção, devido ao fato de que a cadeia suinícola dos 8 estados maiores produtores de suínos é predominantemente integrada e/ou cooperada (O Presente Rural, 2023). Para as granjas de matrizes, assumiu-se que a genética utilizada é a Agroceres Pic, devido a sua abrangência nacional e internacional de distribuição de genética suína, cerca de 47% dos registros genéticos do Brasil.

O módulo de referência possui capacidade de alojar 3000 matrizes, em 6 galpões de alvenaria divididos entre as diferentes etapas que envolvem a produção de leitões. O sistema de produção atende a IN nº 113 de 16 de dezembro de 2020, quanto a criação de matrizes gestantes em ambiente coletivo.

A construção é composta por 1 galpão de recria, com metragem de 65 X 12,1 metros, com piso 50% vazado e 50% sólido e climatização por pressão negativa, no qual encontram-se alojadas as marrãs. As baias possuem capacidade para 15 fêmeas, alojadas em densidade de 1,65 m²/animal. A iluminação é por Diodo Emissor de Luz (LED).

Também possui 1 galpão para adaptação das marrãs ao sistema de produção, o qual possui metragem de 135 X 16,5 metros, piso com 50% vazado e 50% sólido e o mesmo modelo de climatização. Com sistema de iluminação por LED. Fornecimento de água e alimentação de forma automática. O fosso de armazenamento dos dejetos encontra-se abaixo do piso, com uma distância mínima de 60 cm e com declividade de 0,5% no sentido longitudinal (seguindo da entrada da instalação para a saída do fosso de efluentes) da construção, facilitando a drenagem.

Para a etapa de inseminação e gestação, a construção é composta por 2 galpões de 172 x 19,2 metros, dividido em boxes de inseminação e baias coletivas. Os boxes de inseminação possuem 2,2 x 0,6 metros para cada fêmea que após a cobertura é encaminhada as baias coletivas. As baias coletivas medem 9 x 5,68 metros e comportam cerca de 9 fêmeas cobertas. A climatização também segue o padrão das etapas anteriores, por pressão negativa. O piso é 40% vazado e 60% sólido, atendendo o Parágrafo 1º do Artigo 8º da IN nº 113

de 16 de dezembro de 2020, que preconiza área de piso compacto para o descanso das fêmeas gestantes. O sistema de iluminação artificial é por LED, procurando também atender as necessidades de iluminação adequada para as matrizes que preconiza o bem-estar e a produtividade, disposto no Artigo 11 da IN nº 113 de 16 de dezembro de 2020. O fornecimento de alimentos e água é automático. O fosso de armazenamento dos dejetos encontra-se abaixo do piso, com uma distância mínima de 60 cm e com declividade de 0,5% no sentido longitudinal (seguindo da entrada da instalação para a saída do fosso de efluentes) da construção, facilitando a drenagem.

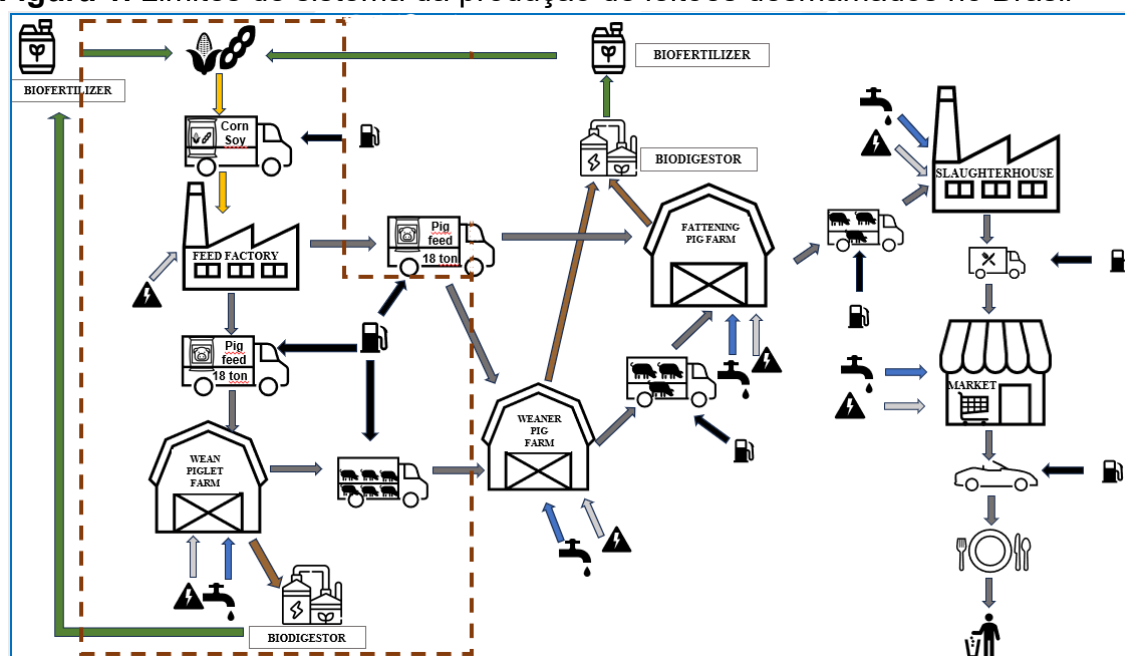
A etapa de maternidade conta com 2 galpões de 136 x 23,5 metros, dotadas de celas parideiras convencionais medindo 2,2 x 1,8 metros. Com piso plástico vazado e o fosso com uma distância de 0,60 m encontra-se abaixo do piso e declividade de 0,5% no sentido longitudinal (seguindo da entrada da instalação para a saída do fosso de efluentes) da construção, facilitando a drenagem. O fornecimento de água e alimentos é automático. A ambiência é controlada por sistema de pressão negativa, preocupando-se com o bem-estar das matrizes e para os leitões, faz-se uso de escamoteadores com aquecimento cujo a fonte varia de acordo com a disponibilidade local (município e/ou estado). A iluminação é por Diodo Emissor de Luz (LED).

O tratamento dos resíduos das UPD normalmente não é controlado pela empresa integradora, dificultando as informações sobre o sistema. No entanto, seguindo as premissas dispostas por Veloso *et al.* (2018), o padrão de construção de um sistema de tratamento de resíduos de UPD de 3000 matrizes por biodigestor segue em 3 lagoas, sendo a primeira ou as duas primeiras cobertas por uma geomembrana impermeabilizadora de 0,1 cm de espessura, que cobre a lagoa com medida de 27 x 12 metros de base inferior, 32 x 17 metros de base superior, uma profundidade de 2,5 m e um volume médio de preenchimento deste espaço de 1073,19 m³. O processo pode ser dividido em 2 ou 3 lagoas, sendo a primeira (ou as duas primeiras) com o sistema de biodigestão (com capacidade de armazenamento de 30 dias) seguida de uma ou duas lagoas (tanques) de sedimentação descobertas, todas com dimensões de cerca de 60 x 31 m, com profundidade de 3,5 metros, onde o biofertilizante fica armazenado. O biogás capturado pelo biodigestor pode ser queimado por

flare, transformando o CH₄ em CO₂, o qual é 28 vezes menor em potencial de aquecimento global que o CH₄ (IPCC, 2019), ou pode ser transformado em energia (térmica ou elétrica), o que deverá ser calculado neste estudo de acordo com a viabilidade e necessidade de cada modelo de uso do resíduo gasoso.

Para a realização da ACV no tratamento dos resíduos animais, necessitou-se identificar os limites do sistema brasileiro de produção de leitões desmamados (Figura 1). Dentro do limite marrom está o processo avaliado, considerando que todos os sistemas de produção (UPD, UPL e UCC) foram considerados apenas como produtores de leitões desmamados. Aqui assumiu-se que todas as granjas avaliadas utilizam biodigestor para tratamento dos dejetos produzidos.

Figura 1. Limites de sistema da produção de leitões desmamados no Brasil



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A fim de gerar um inventário da produção nacional de leitões desmamados, utilizaram-se os dados produtivos oriundos de unidades produtoras de leitões desmamados a partir do ano de 2016 até o ano de 2020, totalizando 7415 observações. Além dos indicadores relacionados a produção animal (Quadro 1), necessitou-se também de dados da produção das rações destinadas a alimentação das fêmeas suínas nas diferentes fases reprodutivas (Quadro 2).

Quadro 1. Indicadores reprodutivos utilizados para as análises

INDICADORES		SIGLA	CARACTERIZAÇÃO
Produção de leitões desmamados			
Plantel de matrizes ativas	PMA	Número de matrizes com uma ou mais gestações	
Plantel de leitoas de reposição	PLA	Número de leitoas destinadas a reprodução já em fase de précobertura (durando cerca de 21 dias – intervalo médio entreaios)	
Idade da primeira cobertura	IPC	Idade da leitoa na primeira inseminação	
Intervalo desmame- cio	IDC	Intervalo em dias entre o desmame da matriz até que esta seja inseminada/coberta (Bortolozzo <i>et al.</i> , 2015).	
Taxa de perdas reprodutivas (Retorno de cio e aborto)	TPR (RC e Perdas ocorrentes nos lotes de matrizes cobertas/inseminadas I AB)	(Tani <i>et al.</i> , 2018).	
Dias não-produtivos	DNP	Quantidade de dias em que a matriz não está nem gestante e nem lactante(Sobestiansky <i>et al.</i> , 1998; Bortolozzo <i>et al.</i> , 2015).	
Tempo de gestação	TG	Período entre a inseminação e o parto, duração média de 115 dias.	
Taxa de parto	TP	Percentual de matrizes que foram cobertas e que chegaram à fase final da gestação (Sobestiansky <i>et al.</i> , 1998; Tani <i>et al.</i> , 2018).	
Nascidos totais	NT	Quantidade de leitões nascidos, sejam eles nascidos mortos/mumificado/vivos (Tani <i>et al.</i> , 2018).	
Nascidos vivos	NV	Quantidade de leitões nascidos vivos, mesmo que estes venham a óbito após o nascimento (Magnabosco <i>et al.</i> , 2016; Koketsu <i>et al.</i> , 2017; Tani <i>et al.</i> , 2018).	
Partos/fêmea/ano	PFA	Quantidade de ciclos que uma fêmea tem em um ano produtivo (Bell <i>et al.</i> , 2015).	
Peso vivo médio de nascimento	PV1	Peso médio do leitão vivo ao nascimento.	
Taxa de mortalidade de leitões na lactação	deTM lact	Percentual de leitões mortos durante o período lactente (Tani <i>et al.</i> , 2018).	
Desmamado/fêmea/a no	DFA	Quantidade de leitões que uma matriz desmama em um ano (Bell <i>et al.</i> , 2015).	
Tempo de lactação	TL	Período entre o parto e o desmame, que pode variar de 18 a 35 dias dependendo do sistema adotado.	
Peso vivo médio de desmame	PV2	Peso médio do leitão vivo ao desmame.	

Consumo da matriz de ração pré- cobertura	CRP	Total de ração em kg consumida pela matriz entre o desmame até ser coberta novamente ou, total de ração consumida pela leitoa no período de pré-cobertura.
Consumo da matriz de ração gestação	CRG	Total de ração consumida pela matriz gestante durante toda a fase.
Consumo da matriz de ração lactação	CRL	Total de ração consumida pela matriz durante a lactação.

Quadro 2. Tipos de rações por fase do animal e suas finalidades

Fase da matriz	Tipo de ração	Finalidade
Pré-cobertura	Flushing	Preparo para a inseminação artificial.
Gestação	Gestação	Sobrevivência embrionária, Desenvolvimento fetal e do aparelho mamário, manutenção da gestação
Lactação	Lactação	Manutenção da matriz em lactação e maximização da produção de leite.

Sobre o processamento das rações, foi necessário estimar o consumo de energia elétrica, em kWh, das Fábrica de Rações e, também, os tipos de transporte das rações e suas respectivas capacidades, para fins de gerar a média de consumo de combustível fóssil por unidade funcional (1kg de leitão desmamado).

Inventário de Ciclo de Vida

A construção do inventário do ciclo de vida (ICV) foi realizada a partir da descrição dos fatores produtivos e emissores e da seleção dos métodos utilizados na busca de estimar as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O do processo de produção, juntamente com o sistema de tratamento anaeróbio via biodigestor nas unidades produtivas, bem como o cálculo para estimar o potencial de redução dos impactos devido ao uso de biodigestor. Dentro do sistema estudado, as entradas e saídas do processo produtivo foram estabelecidas de acordo com as fontes de informações primárias estimadas a partir de cálculos ou secundárias (Quadro 3).

Quadro 3. Descrição das entradas e saídas na produção de leitões desmamados

ENTRADAS		
	Unidade	Fonte
Pré-cobertura		
Energia elétrica (EE)	kWh/kg PV	Dados primários (referente a uma UP que representa 0,87% do plantel brasileiro em 2019) extrapolados para o BR
Marrãs/Matrizes (MR/MTZ)	Matriz/kg PV	Dados primários (referentes a produção de leitões desmamados brasileira de 2016 a 2020)
Ração Pré-cobertura Matriz (RPCMTZ)	kg/kg PV	Dados primários (dietas formuladas fornecidas pela indústria de nutrição animal) extrapolados para o BR
Ração Pré-cobertura Marrã (RPCMR)	kg/kg PV	Dados primários (dietas formuladas fornecidas pela indústria de nutrição animal) extrapolados para o BR
Combustível fóssil para transporte de rações	kg/kg PV	Dados primários adaptados para a malha rodoviária de cada região do Brasil
Gestação		
Energia elétrica	kWh/kg PV	Dados primários (referente a uma UP que representa 0,87% do plantel brasileiro em 2019) extrapolados para o BR
Ração Gestação	Kg/kg PV	Dados primários (dietas formuladas fornecidas pela indústria de nutrição animal) extrapolados para o BR
Combustível fóssil para transporte de rações	kg/kg PV	Dados primários adaptados para a malha rodoviária de cada região do Brasil
Lactação		
Ração Lactação	kg/kg PV	Dados primários (referente a uma UP que representa 0,87% do plantel brasileiro em 2019) extrapolados para o BR
Combustível fóssil para transporte de rações	kg/kg PV	Dados primários adaptados para a malha rodoviária de cada região do Brasil
Energia elétrica	kWh/kg PV	Dados primários (referente a uma UP que representa 0,87% do plantel brasileiro em 2019) extrapolados para o BR
Leitões nascidos vivos	Kg PV	Dados primários (referentes a produção de leitões desmamados brasileira de 2016 a 2020)

SAÍDAS		
Pré-cobertura		
CO ₂ do uso de energia elétrica da fábrica de rações	Kg/kg PV	MCTI (2021)
CH ₄ entérico – (leitoas e matrizes)	kg/kg PV	Estimado – a partir de Rigolot et al., 2010 ^a
CH ₄ dejetos – (leitoas e matrizes)	kg/kg PV	Estimado – a partir de Cherubini et al., 2015
N ₂ O dejetos – (leitoas e matrizes)	kg/kg PV	Estimado – a partir de Cherubini et al., 2015
CO ₂ dejetos – (leitoas e matrizes)	kg/kg PV	Estimado – a partir de Cherubini et al., 2015
CO ₂ do transporte de rações	Kg/kg PV	CETESB (2021)
Carbono orgânico total do resíduo final – pré-cobertura (leitoas e matrizes)	Kg/kg PV	Estimado – a partir de Rigolot et al., 2010b
Gestação		
CO ₂ do uso de energia elétrica da fábrica de rações	Kg/kg PV	MCTI (2021)
CH ₄ entérico – matrizes gestação	kg/kg PV	Estimado – a partir de Rigolot et al., 2010 ^a
CH ₄ dejetos – matrizes gestação	kg/kg PV	Estimado – a partir de Cherubini et al., 2015
N ₂ O dejetos – matrizes gestação	kg/kg PV	Estimado – a partir de Cherubini et al., 2015
CO ₂ dejetos – matrizes gestação	kg/kg PV	Estimado – a partir de Cherubini et al., 2015
CO ₂ do transporte de rações	Kg/kg PV	CETESB (2021)
Carbono orgânico total do resíduo final – gestação	Kg/kg PV	Estimado – a partir de Rigolot et al., 2010b
Leitão nascido vivo	kg PV	Dados primários (referentes a produção de leitões desmamados brasileira de 2016 a 2020)
Lactação		
CO ₂ do uso de energia elétrica da fábrica de rações	Kg/kg PV	MCTI (2021)
CO ₂ do aquecimento nos primeiros dias após o nascimento	Kg/kg PV	Ecoinvent 3.8
CH ₄ entérico – matrizes lactação	kg/kg PV	Estimado – a partir de Rigolot et al., 2010 ^a
CH ₄ dejetos – matrizes lactação	kg/kg PV	Estimado – a partir de Cherubini et al., 2015
N ₂ O dejetos – matrizes lactação	kg/kg PV	Estimado – a partir de Cherubini et al., 2015
CO ₂ dejetos – matrizes lactação	kg/kg PV	Estimado – a partir de Cherubini et al., 2015
CO ₂ do transporte de rações	Kg/kg PV	CETESB (2021)

Carbono orgânico total do resíduo final – lactação	Kg/kg PV	Estimado – a partir de Rigolot et al., 2010b
Peso vivo de leitão desmamado	kg PV	Dados primários (referentes a produção de leitões desmamados brasileira de 2016 a 2020)

Desenvolvido pelo autor. PV – Peso vivo; kWh – quilo watts/hora; CH₄ – metano; CO₂ – dióxido de carbono; N₂O – óxido nitroso.

Para a determinação do consumo de ração buscou-se informações sobre as formulações de rações destinadas às matrizes suínas em cada etapa produtiva. Além da formulação, tomou-se por base uma planta fabril dentro das normativas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A fábrica de ração selecionada produz rações destinadas a cerca de 87650 matrizes ao longo dos cinco anos avaliados, representando 1,3% do plantel avaliado. As fábricas de rações de suínos que seguem as normativas do MAPA devem ter em seu corpo técnico um profissional responsável pela formulação das dietas e elas devem estar de acordo com as necessidades dos animais em questão. Os indicadores sobre digestibilidade dos alimentos utilizados na dieta dos animais foram calculados a partir das informações encontradas nas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno *et al.*, 2017) associados às informações oferecidas pelas empresas, as quais forneceram os dados zootécnicos de produção suinícola e, pelo Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (SINDIRAÇÕES, 2023). Tais coeficientes de digestibilidade e dados bromatológicos estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1. Indicadores bromatológicos para os cálculos de excreção dos animais

Níveis de garantia ¹	Pré-cobertura	Gestação	Lactação
PB média	17,94%	14,37%	17,94%
EE médio	7,29%	3,80%	7,29%

¹ Os níveis informados originaram-se da média de análises por NIRS de rações (com formulação similar a Tabela 2) produzidas na unidade fabril utilizada como base dos processos neste estudo;

² A digestibilidade foi calculada neste estudo, a partir da metodologia mencionada posteriormente no Quadro 4.

Tabela 2. Inventário de composição de 1 kg de ração para cada fase reprodutiva da matriz

FB média	2,96%	2,86%	2,96%
U média	12,08%	13,11%	12,08%
Coeficiente de digestibilidade			
-1	0,10	0,82	0,11
(kg PV leitão desmamado) ²			

	Unidade	Pré- cobertura	Gestação	Lactação
Entradas				
Milho (7,86% PB)	Kg	0,5750	0,7790	0,5800
Farelo de soja (46% PB)	Kg	0,2900	0,1820	0,2870
Óleo de soja	Kg	0,0420	0,0000	0,0420
Açúcar	Kg	0,0500	0,0000	0,0500
Farelo de soja veiculador	Kg	0,0000	0,0027	0,0027
Premixes	Kg	0,0120	0,0080	0,0120
Sal	Kg	0,0050	0,0050	0,0050
Calcáreo calcítico	Kg	0,0300	0,0120	0,0300
Fosfato bicalcico	Kg	0,0140	0,0100	0,0140
Bicarbonato	Kg	0,0030	0,0000	0,0030
Florfenicol 2%	Kg	0,0050	0,0000	0,0000
Detoxa ¹	Kg	0,0010	0,0010	0,0010
Adsorventes	Kg	0,0000	0,0000	0,0000
Sinox ¹	Kg	0,0001	0,0001	0,0001
Energia Elétrica	kWh	0,0038	0,0055	0,0035
Ração formulada²	Kg	1,0000	1,0000	1,0000

¹Compostos adsorventes constituintes da fórmula da dieta fornecida para o estudo.

²A composição oferecida pela indústria, como as de premixes, foram omitidas pois não puderam ser fornecidas, assim os ingredientes aqui mencionados estão genuinamente iguais aos informados para o estudo e por isso ao somá-los não resulta em 1kg.

Assim, assumiu-se que as fábricas de rações brasileiras e que produzem para as UPLs estariam em acordo com as premissas do MAPA. Após a seleção da unidade fabril de rações, foram dimensionados os equipamentos que fazem parte do processamento das rações, estimando o tempo que cada ingrediente permanecia dentro das máquinas da fábrica e estimados o consumo de kWh que cada unidade mecânica utiliza por minuto e por tonelada processada. A partir destas estimativas identificou-se qual o consumo de energia elétrica para

o processamento de cada quilograma de cada tipo de ração destinada a alimentação das matrizes em todas suas fases reprodutivas.

Com a seleção da unidade fabril e a informação sobre a localização das UPDs, bem como as distâncias entre as granjas e a fábrica de ração, o próximo passo foi identificar o consumo de combustível fóssil por quilograma de ração. Sobre a potência dos motores, buscou-se informações com motoristas de caminhões que transportavam rações ou materiais similares nos diferentes relevos do Brasil, considerando se o caminho possuía estradas com ou sem pavimentação asfáltica. Para identificar os tipos de caminhões, bem como os motores, buscou-se informações com uma frota especializada em transportar rações de suínos no norte do Estado de Mato Grosso do Sul. Por fim, após cada etapa da determinação dos tipos de caminhões, potência dos motores e distância, identificou-se quanto cada quilograma de ração necessita de combustível para ser transportada da fábrica até a granja.

Sobre o consumo de energia elétrica da granja, utilizou-se de informações sobre uma UPD cujo a produção representa cerca de 0,87% do plantel nacional. Para identificar quanto de kWh foi consumido na granja, contactou-se a diretoria da Cooperativa a qual dispunha das informações da fábrica de rações e também administra a granja em questão. Assim, a diretoria concedeu o consumo de energia anual da granja do ano de 2019, a partir do qual estimou-se quanto de kWh foi consumido em média por uma matriz suína ao longo de um ano. Após esta informação, assumiu-se que esta média representaria as granjas de produção de leitões desmamados do território brasileiro, extrapolando as informações para todo o plantel aqui avaliado.

Após as determinações e a partir da informação da média de quilos que uma matriz desmama ao ano, foi possível determinar quanto de ração em cada fase, de kWh do processamento da dieta, litros de combustível fóssil, kWh referente ao alojamento das matrizes (Tabela 3). Estas informações compõem o que nos estudos de ACV são chamados de *inputs*, os quais participarão dos cálculos de emissões de GEE.

Tabela 3. Indicadores reprodutivos gerais utilizados no estudo

Indicadores	Unidade	SD
-------------	---------	----

	de medida	Valor	
INVENTÁRIO PRODUTIVO			
Número de Granjas avaliadas (2016 a 2020)	Nº de UPDs	7418	
Plantel de matrizes analisadas (2016 a 2020)	Cabeças	602609	
Plantel médio de matrizes/granja	Cabeças	813	964,49
Plantel de marrãs	Cabeças	97	143,59
Idade média da primeira cobertura das marrãs	Dias	232.740	19,72
Retorno de cio	%	7.846	4,25
Aborto	%	1.534	1,05
Intervalo desmame-estro	Dias	6,34	1,82
Período de gestação	Dias	115	0,71
Taxa de parto	%	87,14	5,46
Partos/Fêmea/Ano	Nº partos de	2,35	0,11
Dias não-produtivos	Dias	14,93	7,45
Média de nascidos vivos/parto	Nº leitões de	13,10	0,90
Nascidos vivos/Fêmea/Ano	Nº leitões de	30,86	2,97
Peso vivo médio ao nascimento	Kg	1,36	0,12
Mortalidade de leitões na maternidade/ciclo	%	8,68	3,25
Desmamado/matriz/ciclo	Nº leitões de	11,92	0,95
Desmamados/Fêmea/Ano	Nº leitões de	28,09	2,99
Peso vivo médio ao desmame	Kg	6,69	0,84
Idade de desmame/ciclo	Dias	25,38	5,79
Kg de Desmamado/Fêmea/Ano	Kg	187,77	29,22
INVENTÁRIO DE ENTRADA DE RECURSOS DE PRODUÇÃO			
Consumo de ração gestação/kg de leitão desmamado	Kg	3,890	0,66
Consumo de ração lactação/kg de leitão desmamado	Kg	1,400	1,19
Consumo de ração pré-cobertura matrizes/kg de leitão desmamado	Kg	0,238	0,09
Consumo de ração pré-cobertura marrãs/kg de leitão desmamado	Kg	0,335	0,06

kWh processamento de ração gestação /kg de leitão Kg		0,018
desmamado		
kWh processamento de ração lactação/kg de leitão		
desmamado	Kg	0,008
kWh processamento de ração pré-cobertura matrizes/kg de leitão		
desmamado	Kg	0,001
kWh processamento de ração pré-cobertura marrãs/kg		
de leitão desmamado	Kg	0,001
Consumo diesel transporte ração gestação/kg de leitão		
desmamado	Litros	0,006
Consumo diesel transporte ração lactação/kg de leitão		
desmamado	Litros	0,001
Consumo diesel transporte ração pré-cobertura matrizes/kg de		
leitão desmamado	Litros	$4,69 \times 10^{-3}$
Consumo diesel transporte ração pré-cobertura marrãs/kg de		
leitão desmamado	Litros	$5,95 \times 10^{-3}$
kWh granja/kg de leitão desmamado	kWh/UF	1,142

Fonte – elaborado pelo autor. Kg – quilograma.

Emissões de GEE a partir da produção e tratamento dos resíduos

Foram estimadas as emissões relacionadas aos componentes químicos Nitrogênio (N) e Carbono (C) baseando-se em modelos propostos por Cherubini *et al.* (2015), os quais foram aplicados em estudo realizado em condições brasileiras de produção de suínos. Tais modelos foram adaptados à fase de produção de leitões desmamados que se relaciona com as etapas reprodutivas das matrizes suínas. Cherubini *et al.* (2015) basearam-se em modelos matemáticos, e seus coeficientes validados pela literatura científica que discorrem sobre processos fisiológicos da nutrição e digestão de suínos, tais como Dämmgen e Hutchings, (2008); Hamelin *et al.*, (2010); Hamelin *et al.*, (2011); Hutchings *et al.*, (2013); IPCC, (2006^a); IPCC, (2006^b); Wesnaes *et al.*, (2009).

O Nitrogênio é um dos componentes químicos de maior distribuição na natureza, estando presente nos três estados físicos da matéria, líquido, gasoso e sólido (Mengel *et al.*, 2001). Ainda que o conhecimento sobre o ciclo global do N seja incompleto, nas últimas décadas ele fora intensamente desenvolvido, tanto em tecnologias de análises como nas formas de compreensão do mesmo (Fowler *et al.*, 2013). Dentro desta perspectiva de que o N é participativo em

parte considerável das reações diretamente ligadas a vida na Terra, é possível afirmar que a ação do ser humano influencia sobremaneira no ciclo global do nitrogênio (Erisman *et al.*, 2013). Mesmo que estas mudanças tragam benefícios a produção de alimentos, elas são avaliadas como personagens principais nos altos custos ambientais, da saúde humana, da biodiversidade e nas questões climáticas (Fowler *et al.*, 2013).

O Carbono é considerado o componente químico central da vida. É possível identificar a presença de moléculas de carbono em diferentes tipos de materiais (orgânicos ou não-orgânicos), desde o simples carvão de churrasco até o diamante. Isso se dá devido à importância deste elemento na composição da vida, pois ele faz parte de ciclos essenciais à existência de vida na Terra (Bolin e Bischof 1970). Mas ao mesmo tempo que é o componente principal para a vida do planeta, é considerado o vilão do aquecimento global, por participar de diferentes ciclos os quais têm como resposta os gases de efeito estufa (Whittaker e Likens, 1973).

O alto teor de carbono encontrado em materiais orgânicos como as fezes animais é um indicador de potencial emissão de metano (CH_4), além de afetar a relação C/N, que é um indicador de estabilidade do N no resíduo animal (Vu *et al.*, 2009). E o alto teor de N em um material orgânico, aumenta o potencial emissor de N_2O . Os GEE não- CO_2 , como o CH_4 e o N_2O são substanciais contribuidores nos gases participativos das mudanças climáticas (CARO *et al.*, 2019). Portanto, estimar os teores de N e COT de compostos orgânicos como as fezes animais torna-se imprescindível na busca de mitigar os impactos ambientais causados pela suinocultura.

Nesta pesquisa, as emissões relacionadas ao C e N oriundos da produção de suínos foram estimadas considerando que as emissões são dependentes da quantidade de alimentos que o animal ingere, processa e excreta. Tais métodos, que estimam estes processos fisiológicos, foram aplicados a partir da formulação da dieta, que possui níveis bromatológicos adequados às necessidades nutricionais de cada fase do ciclo produtivo das matrizes (Tabela 1), sendo formuladas considerando-se os teores médios de proteína bruta (PB) do Milho e do Farelo de Soja indicados pelo Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (SINDIRAÇÕES, 2023) (Tabela 2). Os teores

de C e de N das dietas basearam-se nas Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais (Rostagno *et al.*, 2017).

A quantidade de ração que uma matriz precisa ingerir para cada quilograma de leitão desmamado, dentro de cada etapa de produção, foi determinada de acordo com as informações adquiridas a partir de uma Cooperativa de produção de suínos que agregou em seu plantel reprodutivo cerca de 54 mil matrizes em 2020, representando 2,7% do plantel nacional. De acordo com a equipe técnica responsável por estas matrizes, cada animal consome 3,0, 2,7 e 4,4 kg de ração diariamente, nas fases de pré-cobertura, gestação e lactação respectivamente.

A partir da dieta, foram estimados os coeficientes de digestibilidade de cada tipo de ração de acordo com os modelos propostos por Rigolot *et al.* (2010)a, os quais dependeram de coeficientes de digestibilidade indicados nas tabelas de Rostagno *et al.* (2017). Sendo assim, foi possível estimar a produção da matéria seca das fezes. Por meio da determinação de digestibilidade das rações, foi possível estimar as emissões de metano ocasionadas pelo processo entérico do animal (Quadro 4).

Quadro 4 – Equações referentes as emissões fisiológicas das matrizes

Objetivo do cálculo	Modelo matemático	Explicação do modelo matemático	Fonte
Metano entérico	$CH_4 \text{ (Kg)} = \frac{E_{por} \left(\frac{ResD}{\text{categoria animal } ResD} \right)}{5,6657} \text{ (MJ)}$	> ResD = MO digestível – FB digestível – PB digestível – AM – EE digestível; (MO = matéria orgânica; FB = fibra bruta; PB = proteína bruta; AM = amido em %; EE = extrato etéreo); > Energia por categoria Animal = Energia mecânica ou fisiológica dada em Joules/gramas (animais reprodutores = 1340 J/g e animais de crescimento em engorda = 670 J/g); > 5,6657 MJ/kg CH ₄ = Constante da energia mecânica do metano.	Rigolot <i>et al.</i> (2010 ^a)
Coefficiente de digestibilidade da matéria seca ingerida	$CDms = (CANm + \frac{(21,57 * ED) - (0,2 * FDN) - (1,21 * MM)}{MS})$	>CDms = Coeficiente de digestibilidade da matéria seca; >Cdmo = Coeficiente de digestibilidade da matéria orgânica; >Canm = Constante referente a fase fisiológica do animal, sendo da matriz suína e animais em acabamento 0,630 (LE GOFF and NOBLET, 2001; RIGOLOT <i>et al.</i> , 2010 ^a); >21,57 = Coeficiente de digestibilidade da ED (LE GOFF and NOBLET, 2001; RIGOLOT <i>et al.</i> , 2010 ^a); >0,26 = Coeficiente de digestibilidade da FDN (LE GOFF and NOBLET, 2001; RIGOLOT <i>et al.</i> , 2010 ^a); >FDN = Fibra em detergente neutro; >1,21 = Coeficiente de digestibilidade da MM (LE GOFF and NOBLET, 2001; RIGOLOT <i>et al.</i> , 2010 ^a); >MM = Matéria mineral.	
Matéria seca das fezes	$Ms_{fezes} = Ração \times Ms_{ração} \times (1 - Cdms)$	As estimativas de produção de dejetos foram calculadas a partir dos índices de ST e Matéria Seca total (MS) que consideraram a ingestão de alimentos e seus respectivos coeficientes de digestibilidade (Cd).	

ED – energia digestível; FDN – fibra em detergente neutro; MM – matéria mineral;

Para a determinação da composição das fezes, foram realizadas coletas a campo, em todas as etapas do sistema (pré-cobertura, gestação, lactação) bem como em cada fase do tratamento dos resíduos (dentro do barracão, fora do barracão, após o biodigestor, após a lagoa de decantação e na saída da lagoa que armazena o biofertilizante). As amostras coletadas foram secadas em estufa de ventilação forçada a 65°C durante 72 horas até que as amostras atingissem peso constante (Detmann *et al.*, 2012; Ribeiro Filho *et al.*, 2012). Após a secagem, as amostras foram enviadas a um laboratório de análises agrônômicas auditado pelo Laboratório Federal de Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo (LFDA – SP), localizado no município de Maracaju – MS. Os componentes bioquímicos determinados nas fezes foram Nitrogênio (N), Carbono Orgânico Total (COT), Fósforo total (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn), no entanto, para este estudo utilizaram-se apenas dos valores de N e C. A determinação de sólidos voláteis e sólidos totais foram realizadas a partir das amostras líquidas das fezes em seus diferentes pontos de tratamento dos resíduos.

Emissões relacionadas ao Nitrogênio presente nos resíduos

Primeiramente foi necessário determinar a quantidade de nitrogênio amoniacal total (TAN) que entra no processo a partir das fezes *in natura* coletadas dentro do barracão mais o TAN gerado através da mineralização do N orgânico dos materiais. Após a determinação de TAN no material *in natura*, utilizou-se o mesmo modelo matemático para encontrar o TAN nas etapas subsequentes a qual o resíduo passa durante o tratamento via biodigestão anaeróbia. O TAN e, subsequentemente, a NH_3 de cada etapa do tratamento dos resíduos foram calculados a partir de equações descritas por Hutchings *et al.* (2013) e por Cherubini *et al.* (2015) (Quadro 5).

Quadro 5 – Emissões originadas do nitrogênio

Nitrogênio orgânico do resíduo (calculado em todos os pontos de coleta do material)	$N_{organico} = N * (1 - MR)$	>N = nitrogênio presente na amostra analisada em laboratório (transformada em kg/kg PV); >MR = taxa de mineralização do nitrogênio (relação C/N) do resíduo (das amostras dos diferentes pontos de coleta).	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
Nitrogênio amoniacal total do resíduo (calculado em todos os pontos de coleta do material)	$TANi = TAN_{ponto anterior} * \frac{Oni}{MRi}$	>TANin = Nitrogênio amoniacal total do resíduo in natura; >Mri = taxa de mineralização do nitrogênio (relação C/N) (das amostras dos diferentes pontos de coleta); Oni = Nitrogênio orgânico (das amostras dos diferentes pontos de coleta).	Cherubini <i>et al.</i> (2015); Hutchings <i>et al.</i> (2013).
Potencial de emissão de amônia do resíduo (calculado em todos os pontos de coleta do material)	$NH3i = TANi * e1 \text{ ou } e2$	>NH3i = Emissão de amônia (kg NH3-N); >e1 = Fator de emissão a NH3 emitido (kg.kg ⁻¹) (0,25 – Sommer et al., 2006) se o material não estiver passado pelo tratamento; >e2 = Fator de emissão da NH3 emitido (kg.kg ⁻¹) (0,085 – Basset-Mens et al., 2005) para o material após tratamento.	Cherubini <i>et al.</i> (2015); Hutchings <i>et al.</i> (2013); Basset-Mens <i>et al.</i> (2005).
Emissão de óxido nitroso direto	$N2Oid = NH3i * \epsilon$	>N2Oid = óxido nitroso direto de cada ponto de coleta; >NH3i = Emissão de amônia (kg NH3-N); >e3 = Fator de emissão da NH3 emitido (kg.kg ⁻¹).	Cherubini <i>et al.</i> (2015); IPCC (2006);
Emissão de óxido nitroso indireto	$N2Oi = NH3i * 0,01$	>N2Oi = óxido nitroso de cada ponto de coleta; >NH3i = Emissão de amônia (kg NH3-N); >0,01 = fator de emissão do N2O a partir do NH3 emitido (Cherubini et al., 2015).	Hutchings <i>et al.</i> (2013).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Emissões relacionadas ao Carbono

As emissões de metano (CH_4) foram estimadas com base no IPCC (2006^a v.4, Capítulo 10). O guia do IPCC descreve três métodos para estimar as emissões (Tier 1, Tier 2 e Tier 3). O Tier 1 é a opção mais simplificada, utiliza fatores de emissão padrão definidos pelo IPCC, geralmente aplicado quando não há dados específicos sobre a produção pecuária local. O método Tier 2 permite a utilização de alguns modelos matemáticos, modificando-se alguns dados de entrada como peso do animal, produção de sólidos voláteis, capacidade de produção de metano e N excretado para adaptar os fatores de emissão a condições específicas. Já o método Tier 3 é usado quando pretendese desenvolver metodologias específicas do local ou medir as emissões no campo (Cherubini *et al.*, 2015). Assim, este trabalho desenvolveu o método Tier 2 para estimar as emissões de metano dentro dos galpões e no processo de tratamento de resíduos.

A avaliação de emissão de metano dos dejetos em todas as etapas as quais os resíduos animais passam antes durante e depois do tratamento foi realizada de acordo com Cherubini *et al.* (2015) (Quadro 6):

Quadro 6 – Emissões originadas do carbono

Potencial de metano do resíduo antes do biodigestor e/ou tratamento por lagoa facultativa	$CH4sb = SVsb * B0 * 0,662 * MCF$	>CH4sb = Metano antes do biodigestor; >SVsb = Sólidos voláteis do material antes do biodigestor (transformado de % para kg/kg PV); >B0 = Máxima capacidade de produção de metano para dejetos (0,29) (IPCC, 2006); >0,662 = fator de conversão de m3 de CH4 para kg de CH4; >MCF = Fator de conversão do metano (kg.kg ⁻¹).	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
Potencial de produção de Biogás e/ou tratamento por lagoa facultativa	$B = \frac{SVsb * B0}{Bch4}$	>B = produção de biogás no biodigestor (m³); >SVsb = Sólidos voláteis do material antes do biodigestor (transformado de % para kg/kg PV); >Bch4 = proporção de metano na composição do biogás (0,69) (Higarashi, 2006)	Hamelin <i>et al.</i> (2010); Cherubini <i>et al.</i> (2015).
Matéria Orgânica transformada em biogás a partir da relação metano-carbono (CH4-C) – somente nos sistemas com biodigestor	$C_{perdido} = \frac{SVpb * B0 * Dch4}{16,033/12,011}$	>Cperdido = Matéria Orgânica perdida durante a produção de biogás(b) (kg CH4- C); >SVpb = Sólidos voláteis do resíduo após o biodigestor (em kg/kg de PV); > B0 = Máxima capacidade de produção de metano para dejetos (0,29) (IPCC, 2006); >DCH4 = densidade do metano (kg.m ⁻³); >16.033/12.011 = fator de conversão do CH4 em CO2.	Hamelin <i>et al.</i> (2010); Cherubini <i>et al.</i> (2015).
Emissões devido ao vazamento de biogás no biodigestor – somente nos sistemas com biodigestor	$CH4vaz = SVpb * B0 * Dch4 * Lb$	CH4vaz = metano vazado durante o processo de produção de biogás; >SVpb = Sólidos voláteis do resíduo após o biodigestor (em kg/kg de PV); >B0 = Máxima capacidade de produção de metano para dejetos (0,29) (IPCC, 2006); >Dch4 = densidade do metano (kg.m ⁻³); >Lb = biogás vazado (kg.kg ⁻¹)	Hamelin <i>et al.</i> (2010); Cherubini <i>et al.</i> (2015).
Emissões durante a queima devido ao metano não convertido somente nos sistemas com biodigestor	$Ef = (C_{perdpb} * \left(\frac{16,033}{12,011}\right) * (1 - nf) + CH4vaz) * CFch4 *$	>Ef = Emissões durante a queima pelo flare (f) (kg CO2 eq.); >nf = eficiência do flare (kg.kg ⁻¹) (0,9); >CFch4 = fator de caracterização para CH4 (kg CO2 eq.) (28 – IPCC, 2019); >1,42 = fator de conversão de Ch4 em CO2 eq, sendo que cada grama de CH4 é equivalente a 1,42 g de O2 (HAMELIN et al., 2010)	UNFCCC (2012)
Emissões durante a queima devido ao metano convertido em dióxido de carbono – somente nos sistemas com biodigestor	$CH4f = SVpb * B0 * nf * Dch4 * SMF$	>CH4f = CH4 convertido em CO2 durante queima pelo flare (f) (kg CO2); >B0 = Máxima capacidade de produção de metano para dejetos (0,29) (IPCC, 2006); >Dch4 = densidade do metano (kg.m ⁻³); >SVpb = Sólidos voláteis do resíduo após o biodigestor (transformado em kg/kg PV); >SMF = Razão do Fator Estequiométrico (<i>Stoichiometric Mass Factor</i>) da massa de CO2 produzido a partir da combustão completa da unidade de massa do CH4 que é igual a 2.75 (kg CO2).	IPCC (2006b)

Emissões durante a estocagem dos resíduos (pós-biodigestão)	$CH_4^s = (SV_s - B * Db) * B0 * 0,662 * MCF * Rp$	>CH₄s = emissão de metano na lagoa de estabilização e armazenamento (s) (kg CH₄); >SVs = Sólidos voláteis do resíduo ao final do tratamento (transformado em kg/kg pV); >B = Potencial de biogás do resíduo analisado (m³) >Db = densidade do biogás (kg.m⁻³); >Rp = Potencial de redução devido à degradação lenta dos SV (kg.kg⁻¹).	Cherubini <i>et al.</i> (2015)
--	--	--	--------------------------------

Potencial de produção de energia elétrica a partir do biogás

A eficiência do motor em transformar o biogás em energia elétrica e energia térmica foi fundamentada em Oliveira e Higarashi (2006), sendo 25% e 65%, respectivamente. Deste modo, a produção de biogás e a matéria orgânica transformada em biogás foram estimadas por meio das equações do Quadro 7..

Quadro 7. Potencial de produção de energia elétrica

Potencial de produção de energia elétrica	$ELb = B * ELe f * LHVel$	>Elb = Eletricidade produzida a partir do biogás (kWh); >B = biogás produzido no biodigestor (m ³); >Elef = Eficiência do motor para produção de eletricidade (%) (25 – Oliveira; Higarashi, 2006); >LHVel = menor poder calorífico para eletricidade (kWh.m ⁻³) (6,46 – Hamelin et al., 2011).	Hamelin et al. (2010); Cherubini et al. (2015).
	$HEb = B * HEef * LHVef$	>Heb = Calor produzido pelo biogás (MJ); >Heef = Eficiência do motor para produção de calor (%) (65 – Higarashi, 2006); >LHVhe = menor poder calorífico para biogás (MJ. M ⁻³) (23,36 – Hamelin et al., 2011).	Hamelin et al. (2015).
	$HEc = \frac{(DM * SH * + WM * SHwm) * (37 - Tml)}{1000}$ Alguns parâmetros destes cálculos são baseados em Hamelin et al. (2011), tais como: a) consumo de eletricidade no motor a biogás (5% da produção líquida de energia; b) consumo de calor no processo de biogás, os quais consideram a diferença entre a temperatura necessária para o processo (37°C) e a temperatura média local (será coletado a média de temperatura nos 3 Estados do CO); e, c) o calor específico para a MS (será coletado a média de temperatura nos 3 Estados do CO).	>Hec = calor consumido no processo do biogás (MJ); >DM = matéria seca do dejetos; >SHDM = calor específico da MS (kJ.kg ⁻¹ .°C ⁻¹); >WM = água contida no dejetos (kg.m ⁻³); >SHWM = calor específico da água (kJ.kg ⁻¹ .°C ⁻¹); >Tml = Temperatura média local.	Hamelin et al. (2011); Cherubini et al. (2015).

Análise de correlação

Para determinar a se os indicadores reprodutivos interferem nas emissões de GEE, necessitou-se correlacionar como a variabilidade dos indicadores reprodutivos principais poderiam influenciar (ou não) as emissões/kg de leitão desmamado. Para tanto, realizou-se a Correlação de Pearson através do *software* RStudio, versão 4.2.1. A utilização a análise de correlação deu-se devido a necessidade de identificar qual o ponto crítico dentro da fase reprodutiva seria o fator mais influente e passível de ser melhorado em prol da mitigação sobre as emissões de GEE. Groen et al. (2016), ao compararem dois modelos de análise de sensibilidade, onde um deles é denominado Método de Efeitos Elementares (MEE), percebeu que a variabilidade dos indicadores

produtivos em cada etapa do processo pode influenciar nos resultados da próxima etapa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada matriz do plantel avaliado produziu uma média de 187,77 kg de leitões desmamado por ano, emitindo cerca de 3,28 kg de CO₂ eq./kg de produto (Tabela 4). As menores emissões dentro do processo originaram-se do metano emitido durante o tratamento dos resíduos por biodigestor, do metano durante a estocagem do biofertilizante, do consumo de energia elétrica da granja, do transporte das rações entre fábrica e UP e do metano entérico, respectivamente (Tabela 4). Já as maiores emissões originaram-se da produção das rações e do resíduo *in natura* de dentro das instalações (Tabela 4).

Tabela 4. Produtos do sistema avaliado.

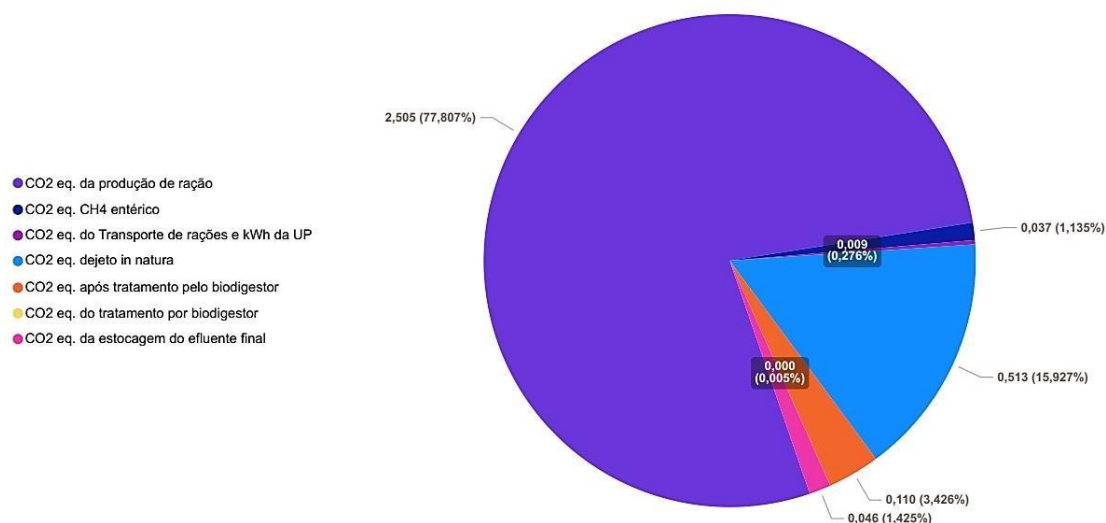
Produtos do sistema	Média	DP
Kg DFA	187.770	29.219
Kg CO ₂ eq./UF do CH ₄ entérico	0.036	0.006
Kg CO ₂ eq./UF do kWh da granja	2,5x10 ⁻³	2,6x10 ⁻³
Kg CO ₂ eq./UF do transporte de rações	8,6x10 ⁻²	0.013
Kg CO ₂ eq./UF processamento de rações	2.505	0.400
Kg CO ₂ eq./UF do CH ₄ das fezes <i>in natura</i>	0.412	0.092
Kg CO ₂ eq./UF do N ₂ O das fezes <i>in natura</i>	0.101	0.060
Kg CO ₂ eq./UF do CH ₄ após o biodigestor	9,3x10 ⁻⁸	1,17x10 ⁻⁷
Kg CO ₂ eq./UF do N ₂ O após biodigestor	0.110	0.067
Kg CO ₂ eq./UF do CH ₄ na estocagem de biofertilizante	9,3x10 ⁻⁸	1,17x10 ⁻⁷
Kg CO ₂ eq./UF do N ₂ O na estocagem de biofertilizante	0.110	0.067
Total de emissões em kg de CO₂ eq./UF	3.284	0.523

DFA – Desmamados/Fêmea/Ano; Kg CO₂ eq./UF – quilos de dióxido de carbono equivalente/kg de leitão desmamado; CH₄ – Metano; kWh – quilowatts hora; N₂O – Óxido Nitroso.

Quanto as emissões totais, considerando todas as etapas, o processamento de ração representou 76,28% (Figura 2), seguido do resíduo *in natura* que é mantido dentro das instalações por um curto período durante o alojamento das matrizes em cada fase. Ao somar as emissões totais de CH₄

(entérico, estocagem e tratamento dos resíduos), tem-se que cada UF emite cerca de 0,02 kg de CH₄, estimado em 0,55 kg de CO₂ eq. O IPCC (2006) estima que cada unidade suíno adulto emite cerca de 1 kg de CH₄ entérico por ano em países tropicais, mas ao multiplicar as emissões deste estudo pelo volume de leitões desmamados, obteve-se um valor de 0,240 kg de CH₄ entérico/ano/matriz. Essa diferença pode ser explicada pela característica dos estudos, sendo o valor estimado pelo IPCC (2006) resultante de uma ACV em Tier 1, enquanto este estudo utilizou uma ACV em Tier 2, demonstrando que ensaios realizados a partir de valores reais desempenham valores mais próximos da genuinidade.

Figura 2. Proporção de emissões totais por fator emissor



CO₂ eq. – Dióxido de carbono equivalente; CH₄ – Metano; kWh – Energia elétrica.

A figura acima possibilitou analisar as fontes de emissões e o quanto cada uma representou em relação às emissões totais de CO₂ eq. Conforme a imagem, cerca de 77,81% refere-se a produção de ração, 1,135% representam as emissões entéricas. Diferentemente de Grossi *et al.* (2018), que expôs que o CH₄ entérico ocupa 11% das emissões de CO₂ eq. Reckmann *et al.* (2013) identificaram que 63,04% das emissões referiam-se a etapa de produção de ração, 30,43% originava-se do alojamento e manejo e, somente 6,52% para o tratamento de resíduos. Já os resultados expostos na Figura 4, mostraram que

17,34% foi emitido pelo alojamento e manejo dos animais e apenas 4,85% originou do tratamentos dos resíduos animais.

Estimar as emissões dos GEE da produção de suínos de forma precisa demanda de processos específicos nos quais devem conter indicadores de consumo de ração bem como suas composições (Bazak *et al.*, 2022). Dentro destas emissões, as que se referem ao metano (CH₄) dos resíduos animais são as mais discutidas pela literatura (Guo, Jiao *et al.*, 2017; Xiong *et al.*, 2022). Isso ocorre devido ao fato de que grandes centros mundiais de produção suinícola ainda persistem em uma atividade sem qualquer tipo de tratamento dos dejetos (Vechi *et al.*, 2022), desperdiçando um co-produto de alto valor biológico com potencial energético e fertilizante.

Os dejetos oriundos da suinocultura industrial brasileira são tratados seguindo a regulamentação do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), o qual infere que todo o empreendimento com potencial poluidor demanda de Licenciamento Ambiental para efetuar suas operações (ABCS, 2011). Sendo assim, cenários como o mencionado anteriormente não abrangem a atividade suinícola brasileira, posicionada como a 4^a maior produtora e exportadora mundial.

Emissões relacionadas a produtividade da matriz suína

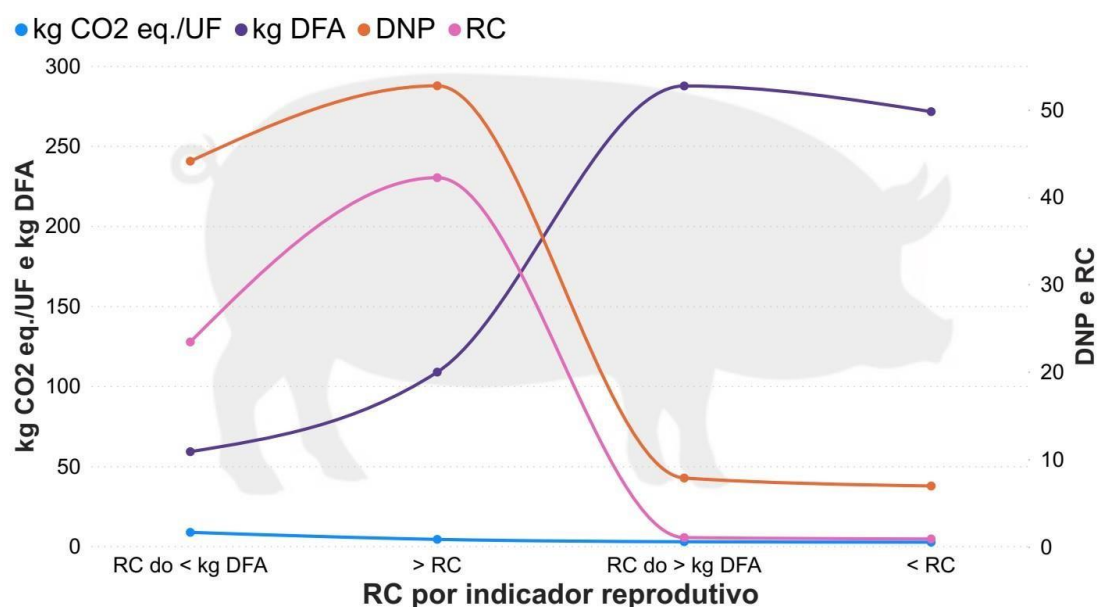
Alguns autores apontam que reduzir o consumo de carne suína seria a melhor saída para a redução das emissões de GEE causadas pela suinocultura industrial (Toniazzi *et al.*, 2018; Yan *et al.*, 2023). No entanto, reduzir a produção da proteína animal mais consumida do mundo seria uma ação drástica que poderia afetar economicamente e socialmente toda uma cadeia produtiva. Além desta alternativa para a mitigação dos impactos causados pelas mudanças climáticas, existem outros fatores, como os agropecuários, que podem e devem ser analisados e aprimorados. Fazer uso de estratégias de redução das emissões apenas pensando nas emissões, não condiz com a necessidade do atendimento da segurança alimentar mundial (Rosa, 2023).

A indústria de alimentos e seus destinos comerciais dependem diretamente da eficiência produtiva do campo, assim como a mitigação dos impactos ambientais do agronegócio. Desta forma, é correto afirmar que as

melhores ações para reduzir tais consequências às mudanças climáticas podem surgir de ferramentas/tecnologias simplificadas, sem ao menos demandar de algum equipamento mais sofisticado (Niloofar *et al.*, 2021). Dentro da indústria suína, os manejos que interferem na produtividade animal apresentam-se como passíveis de melhoras que impactam na mitigação das emissões de GEE (Bonnin *et al.*, 2021).

Isso pode ser observado por meio da Figura 3, onde verifica-se que quando a quantidade de desmamados é acima de 250 kg por fêmea ao ano a emissão total de GEE/UF é de 3 kg de CO₂ eq. ou menos. Quanto maior o volume em Kg de leitões desmamados produzido infere que a granja é eficiente quanto ao produto. Mas também, com maior diluição do uso dos recursos, observa-se que há uma redução das emissões/UF, corroborando com Bonnin *et al.* (2021), que afirmaram haver uma correlação negativa forte entre a eficiência técnica dos indicadores zootécnicos e as emissões de GEE.

Figura 3. Comportamento das médias das perdas reprodutivas (RC) relacionadas com o total de emissões/UF.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

RC – retorno de cio; DFA – desmamados/fêmea/ano; DNP – dias não-produtivos

A fim de identificar, quais os processos dentro da atividade que podem ser melhorados no intuito de se reduzir os impactos ambientais, é necessário olhar os pormenores do processo que afetam a produtividade. Sendo assim, a Figura

3 ainda expõe que kg DFA e kg CO₂ eq./UF estão correlacionados negativamente entre si. Já o indicador RC não influencia fortemente nas emissões de CO₂ eq. total, com um valor de correlação de $R^2=0,34$. No entanto, o RC apresenta alta correlação com indicadores reprodutivos que por sua vez possuem um alto R^2 relacionado às emissões da fase de produção animal (excluindo a etapa de tratamento de resíduos) (Tabela 5). O R^2 entre as emissões totais (etapa de produção animal e tratamento de resíduos) apresentou o valor de 0,72, porém, ao analisar-se separadamente a etapa de produção e manejo dos animais, o valor foi de 0,84 (Tabela 5). Sob essa perspectiva, é possível denotar que conhecer o processo produtivo e avaliar cada indicador e como eles interagem, corrobora com as afirmações de Vogel e Beber (2021), os quais expõem que é fundamental compreender as origens das emissões ao longo da cadeia.

Tabela 5. Correlações entre os principais índices produtivos e as emissões de GEE.

Índices principais	RC	IDC	TP	PFA	DNP	NV	DF	PD	PDA	CO ₂ eq.1	CO ₂ eq.2	CO ₂ eq.T
RC	1,0	0,77	- 0,96	- 0,87	0,88	- 0,72	- 0,66	- 0,06	- 0,56	0,40	0,10	0,34
IDC	0,77	1,0	- 0,75	- 0,84	0,87	- 0,64	- 0,60	0,01	- 0,48	0,49	0,10	0,40
TP	-0,96	- 0,75	1,0	0,86	- 0,90	0,77	0,72	0,13	0,63	- 0,52	- 0,03	- 0,39
PFA	- 0,87	- 0,84	0,86	1,0	- 0,95	0,73	0,67	- 0,20	- 0,41	- 0,38	- 0,05	- 0,30
DNP	0,88	0,87	- 0,90	- 0,95	1,0	- 0,81	- 0,78	- 0,07	- 0,64	0,59	0,10	0,47
NV	- 0,72	- 0,64	0,77	0,73	- 0,81	1,0	0,96	0,10	0,69	- 0,63	0,08	- 0,40
DF	- 0,66	- 0,60	0,72	0,67	- 0,78	0,96	1,0	0,25	0,80	- 0,70	0,07	- 0,46
PD	- 0,06	0,01	0,13	- 0,20	- 0,64	0,10	0,25	1,0	0,76	- 0,60	- 0,15	- 0,50
PDA	- 0,56	- 0,48	0,63	- 0,41	- 0,07	0,69	0,80	0,76	1,0	- 0,83	- 0,08	- 0,63
CO₂ eq.1	0,40	0,49	- 0,52	- 0,38	0,59	- 0,63	- 0,70	- 0,60	- 0,83	1,0	0,23	0,84
CO₂ eq.2	0,10	0,10	- 0,03	- 0,05	0,10	0,08	0,07	- 0,15	- 0,08	0,23	1,0	0,72
CO₂ eq.T	0,34	0,40	- 0,39	- 0,30	0,47	- 0,40	- 0,46	- 0,50	- 0,63	0,84	0,72	1,0

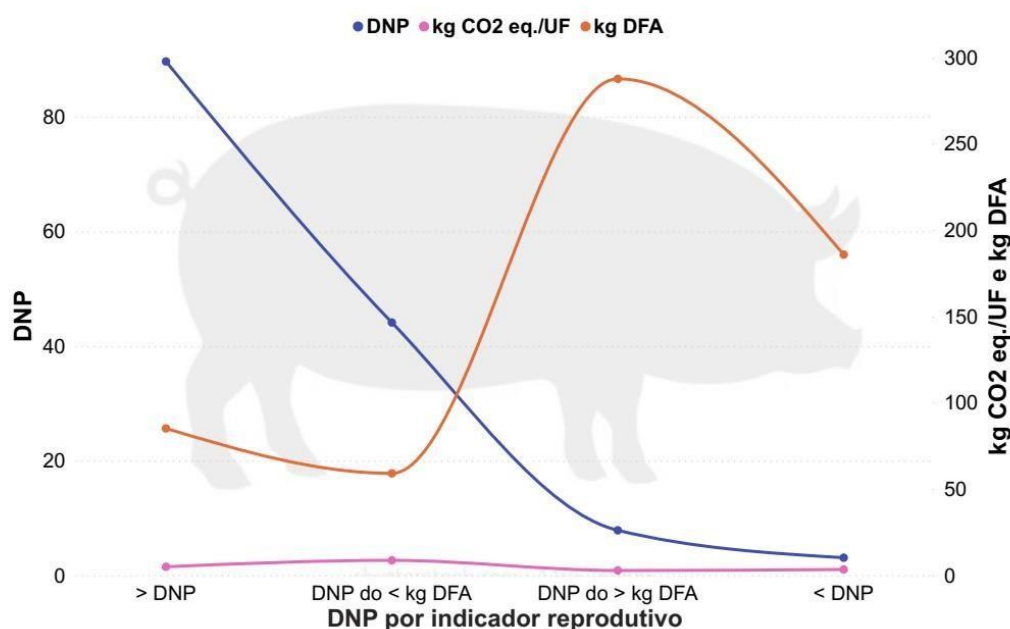
Correlação de Pearson, realizada a partir do software RStudio (versão 4.2.1).

RC – Retorno ao cio; IDE – Intervalo desmame-cio; TP – taxa de parto; PFA – Partos/fêmea/ano; DF – Desmamados/fêmea (por parto); PD – Peso médio de leitão ao desmame; PDA – Peso de desmamados/fêmea/ano; CO₂ eq.1 – Dióxido de Carbono Equivalente da etapa de produção animal; CO₂ eq.2 – Dióxido de Carbono Equivalente da etapa de manejo dos dejetos animais; CO₂ eq.T – Dióxido de Carbono Equivalente total do sistema avaliado.

Observa-se na Tabela 5 que dentre os indicadores reprodutivos que afetam a taxa de parto, as perdas reprodutivas aparecem como índices passíveis de serem aferidos e controlados mais precisamente. No entanto, mesmo não influenciando diretamente as emissões de GEE, o retorno de cio (indicador que expressa a ineficiência da fêmea em fertilizar o óvulo pela inseminação ou manter a gestação) influencia indicadores reprodutivos que impactam as mudanças climáticas. Outro indicador, que não expressa a perda reprodutiva mas sim o resultado da gestação, é o número de nascidos vivos (NV), que relaciona-se negativamente com a variação das emissões de GEE da produção de ração e criação animal ($R^2 = -0,63$) e pode ser regulado pelo indicador RC com uma correlação entre ambos de $R^2 = -0,72$. Estes resultados corroboram com as afirmações feitas por Grossi *et al.* (2019), que discutiram sobre a eficiência animal ser atenuante para a mitigação dos impactos ambientais, no entanto estes autores não sugerem que os indicadores reprodutivos sejam fortemente relacionados as emissões de GEE. Reckmann *et al.* (2015) também concluíram que o número de leitões nascidos vivo é um parâmetro da reprodução da matriz que pode ser melhorado afim de mitigar os impactos das mudanças climáticas.

Na Figura 4, observa-se que quando DNP é alto, o valor de DFA é menor, isso acontece porque este indicador representa um período do ano em que a fêmea é improdutiva. Desta forma, quando a matriz suína encontra-se nesta situação, ela reduz o número de partos que uma fêmea tem ao ano (PFA), tendo menos ciclos produtivos anuais, reduzindo o peso de DFA. O indicador DNP apresentou-se como um número que refletiu nas emissões da etapa de produção animal com uma correlação de $R^2=0,59$, corroborando com Pietramale *et al.* (2021) que afirmou que quando o DNP é alto o potencial de aquecimento global tende a elevar-se.

Figura 4. Comportamento das médias dos indicadores de ineficiência reprodutiva relacionadas com o total de emissões/UF



DFA – Desmamados/fêmea/ano; DNP – Dias não-produtivos; CO₂ eq. – Dióxido de carbono equivalente.

As emissões referentes ao processamento das rações utilizadas na alimentação das matrizes, foi mais expressiva na fase de gestação, sendo cerca de 1,722 kg de CO₂ eq/kg de leitão desmamado (Tabela 6). Dentro desta emissão, menos de 1% refere-se as emissões geradas pelo transporte das rações somadas ao kWh consumido na UP (Figura 4).

Tabela 6. Inventário de emissões da etapa de produção animal*

Indicadores	Unidade de medida	Valor
Emissão pelo processamento da ração de gestação	Kg de CO ₂ /kg	0,438
Emissão pelo processamento da ração de lactação	Kg de CO ₂ /kg	0,431
Emissão pelo processamento da ração de pré-cobertura (matrizes e marrãs)	Kg de CO ₂ /kg	0,429
Emissão pelo consumo de kWh na granja	CO ₂ /kWh	0,018
Emissão pelo consumo diesel transporte ração gestação	Kg eq./UF	CO ₂ 0,017
Emissão pelo consumo diesel transporte ração lactação	Kg eq./UF	CO ₂ 0,004
Emissão pelo consumo diesel transporte ração pré-cobertura matrizes	Kg eq./UF	CO ₂ 0,001
Emissão pelo consumo diesel transporte ração pré-cobertura marrãs	Kg eq./UF	CO ₂ 0,001

CO₂ – Dióxido de carbono equivalente; UF – Unidade funcional de 1 kg de leitão desmamado.

Fonte – elaborado pelo autor. Kg – quilograma.

*Excluindo a etapa de manejo dos resíduos.

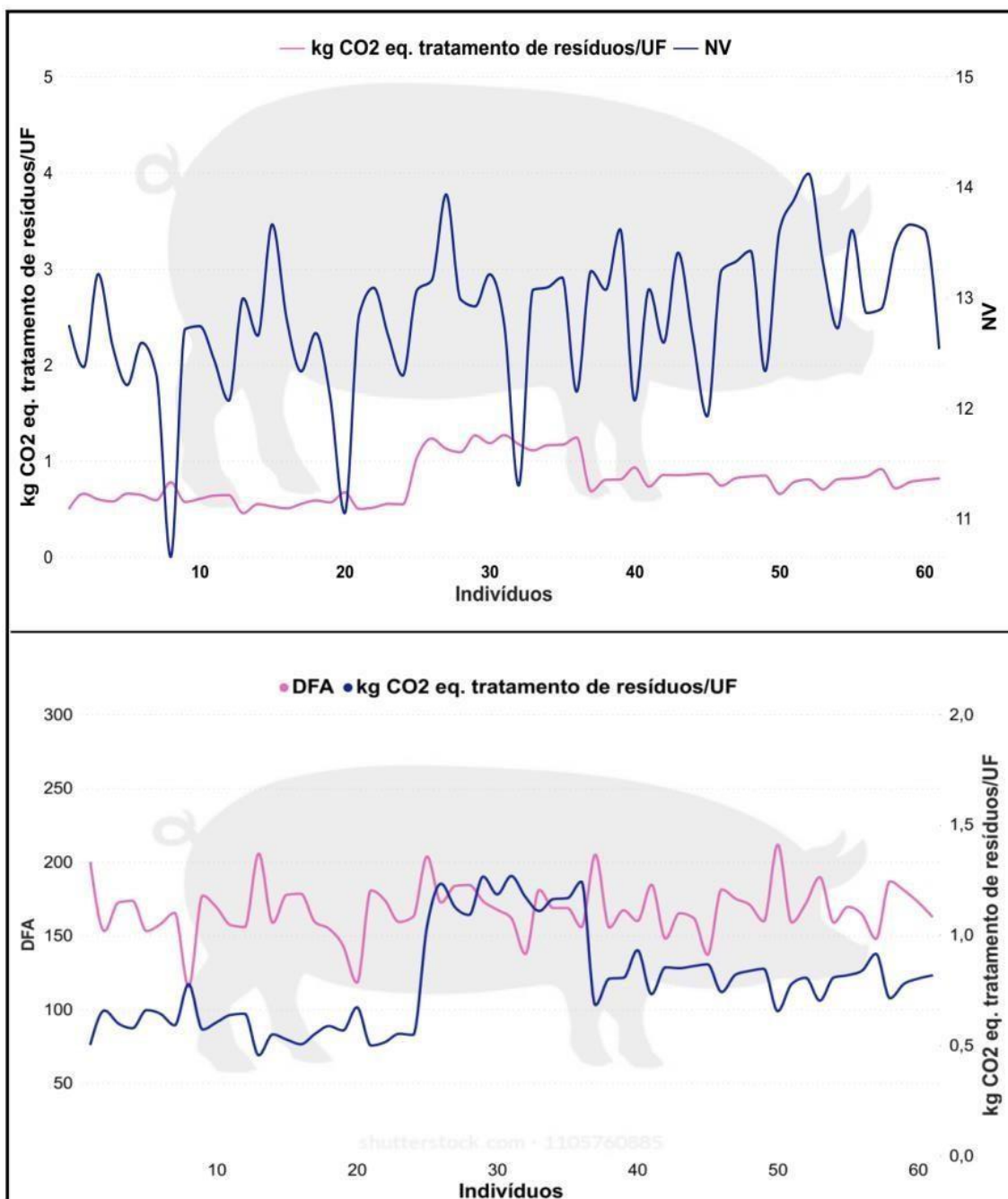
As emissões de CH₄ entérico foram estimadas em 0,036 kg/UF, sendo a fase gestacional a que expressou maiores valores. Tais resultados ocorreram devido ao período gestacional ser de 115 dias em média, sendo a etapa mais longa de consumo de um único tipo de ração pela matriz dentro da produção de leitões desmamados. Além de que, nesta fase, a matriz consome maiores percentuais de cereais, pois cerca de 96% dos ingredientes são de milho e farelo de soja (promotores de fermentação entérica). A fase de gestação também representou o maior volume de fezes por quilo de leitão desmamado e, conseqüentemente, maior potencial de emissão de CO₂ eq do resíduo antes do tratamento por biodigestor.

Emissões relacionadas ao tratamento dos resíduos

Conforme observado na Figura 5, as emissões oriundas do tratamento de resíduos representam 22,34% do total de emissões do sistema para produzir os leitões desmamados. Contrariando o afirmado por Wiedemann et al. (2016), que explanaram sobre estas emissões ocuparem cerca de 64% do total. Dos 22,34% de emissões de GEE deste estudo, o dejetos *in natura* ocupa 69,91%, considerando o período de 5 dias que permanece dentro das instalações até que seja destinado a biodigestão.

Conforme observado na Tabela 5, as emissões do tratamento de resíduos não possui alta correlação ($R^2 < 0,10$) com os indicadores reprodutivos. Isso fica explícito quando se analisa os mesmos indicadores reprodutivos e os correlaciona com os resultados das emissões dos resíduos, conforme mostra a Figura 5 que expõe o comportamento dos indicadores de emissões do tratamento dos dejetos com os indicadores reprodutivos. No entanto, Grossi *et al.* (2019) elencaram o tratamento e armazenamento de digestato como altamente influenciado pelo aumento da produtividade, quando visto na perspectiva do manejo de resíduos.

Figura 5. Relação dos NV/parto com o GEE do tratamento dos dejetos



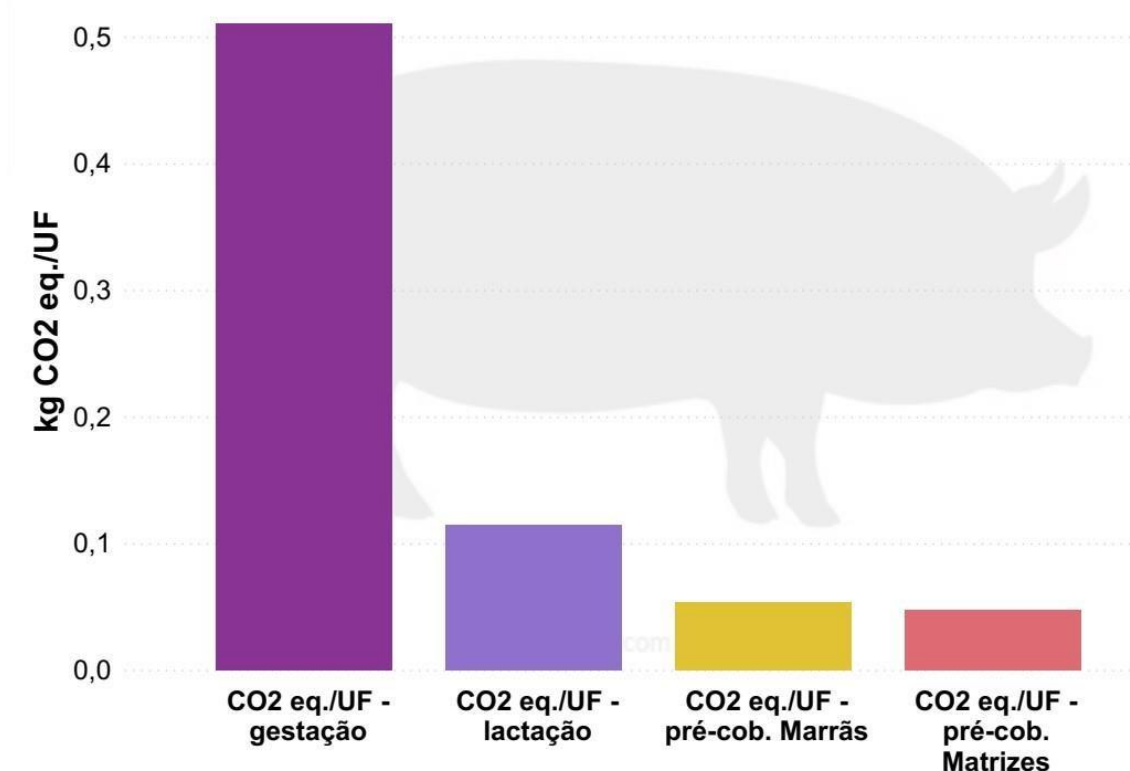
UF – Unidade funcional (1kg de leitão desmamado); Kg CO₂ eq.2 – Quilos de Dióxido de carbono equivalente do tratamento de resíduos; Kg CO₂ eq._WT – equivalente ao CO₂ eq.2; NV – Nascidos vivos; LBPF – equivalente a NV; NWS – desmamados/matriz suína.

Seguindo a discussão sobre as emissões do tratamento de dejetos, neste estudo observou-se que cerca de 51% do potencial emissivo deste material produzidos pelas matrizes suínas pode ser mitigado a partir do tratamento por biodigestor. Os resultados deste estudo estimaram que a emissão de GEE dos dejetos antes do tratamento é cerca de 0,153 kg de CO₂eq./UF, considerando que o dejetos *in natura* fica dentro das instalações apenas por 5 dias antes que este seja descarregado para o biodigestor. Para cada quilograma de leitão desmamado, o dejetos sem tratamento (fora das instalações e antes do biodigestor) poderia emitir cerca de 0,003kg de CH₄, e cada matriz produz em

média 164,29 kg de leitões por ano, resultando em um potencial de emissão de aproximadamente 0,45 kg de CH₄/matriz/ano, apenas dos dejetos fora das instalações e antes do biodigestor.

Ao ponderar sobre o potencial de emissões de CO₂ eq. total/kg de UF do dejetos, percebeu-se que a fase de gestação expressou a maior produção dos gases de efeito estufa (Figura 6). É importante observar que as emissões do dejetos *in natura*, alocado nas instalações, é o maior fator de emissão no manejo dos resíduos (Figura 2).

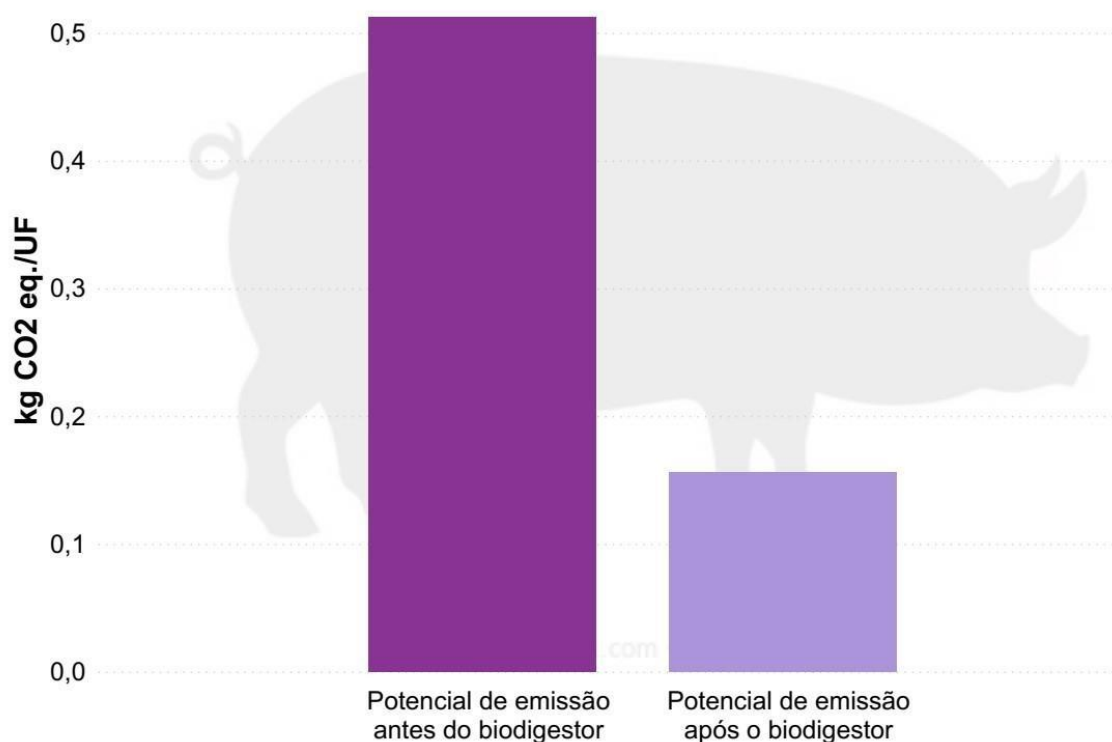
Figura 6. Potencial de CO₂ eq. do manejo de resíduos por fase reprodutiva



CO₂ eq. – Dióxido de carbono equivalente; UF – Unidade funcional (1 kg de leitão desmamado).

Dentro das emissões dos resíduos, foi possível observar que o uso do biodigestor promoveu uma redução no potencial de GEE do efluente sem tratamento, cerca de 51,2% (Figura 7). Este valor aproxima-se do constatado por Inoue *et al.* (2016), que identificaram uma redução de 55% entre o antes e o depois do biodigestor. Apesar de não expressar reduções de GEE de mais de 60%, como o encontrado por Kaparaju e Rintala (2011) e por Rosa (2023), o valor potencial de mitigação de GEE deste estudo pode ser considerado expressivo.

Figura 7. Capacidade de redução do potencial de emissão dos dejetos pelo tratamento por biodigestor



CO2 eq. – Dióxido de carbono equivalente; UF – Unidade funcional (1 kg de leitão desmamado); Pré-trat. – Ponto de coleta do resíduo antes do biodigestor; Final trat. – Ponto de coleta do resíduo no final da lagoa de estocagem do efluente tratado.

Além do potencial de redução, os dejetos tratados podem gerar um produto de alta valor , o Biogás (Villarroel-Schneider *et al.*, 2022). Mesmo que o manejo de dejetos cause mais emissões por UF, o fato de esse processo gerar biogás, que pode ser usado como fonte de energia, sugere que há um retorno tecnológico, apesar do impacto ambiental. O potencial de produção de energia elétrica somando todas as fases das matrizes pôde ser estimado em 0,00085 kWh/kg de leitão desmamado (Tabela 6) e, ao extrapolar o valor pelo kg de DFA, tem-se que cada matriz pode produzir cerca de 3,36 kWh/dia por matriz. A calculadora da Embrapa Suínos e Aves, para produção de biogás e de energia elétrica, estima que cada fêmea produz cerca de 3,60 kWh, aproximado do valor reproduzido por este estudo.

Tabela 7. Potencial de produção de Biogás, Energia elétrica e CO₂ eq./UF

	Potencial Biogás/UF		Potencial kWh/UF		CO2 eq. total/UF	
	MD	SD	MD	SD	MD	SD
Gestação	4,80E-04	5,84E-05	7,76E-04	9,44E-05	0,5104	0,0621
Lactação	4,44E-05	3,20E-06	7,17E-05	5,16E-06	0,1148	0,0083
Pré-cobertura						
Matrizes	1,76E-06	1,26E-07	2,84E-06	2,03E-07	0,0476	0,0034

Pré-cobertura Marrãs						
	4,86E-07	2,43E-08	2,71E-06	1,35E-07	0,0537	0,0027
TOTAL	5,27E-04	1,55E-05	8,53E-04	2,50E-05	0,726	0,019

MD – Média; SD – Desvio padrão; UF – Unidade funcional (1 kg de leitão desmamado).

CONCLUSÕES

Diante dos resultados discutidos neste estudo, é possível concluir que:

- 1 – Os indicadores reprodutivos, ao serem analisados detalhadamente, são passíveis de melhoras e ainda resultarão na mitigação de emissões de GEE; 2 – As emissões do manejo de resíduos, no caso o tratamento por biodigestor, não são influenciadas pela produtividade, no entanto otimizar o uso dos recursos pode diluir as emissões de todo o processo;
- 3 – Os dejetos provenientes da produção de leitões desmamados têm potencial de geração de energia elétrica;
- 4 – O estudos que estimam as emissões de GEE na suinocultura dependem de muitos detalhes da cadeia, demandando indicadores e informações precisas e originais;
- 5 – Poucas pesquisas recentes realizaram e estimaram emissões através de cálculos que utilizam inventários produtivos da criação de matrizes originais, dificultando a discussão dos resultados deste estudo.

Ao observar as conclusões acima, é possível refletir sobre a necessidade do estreitamento com as empresas do setor em prol da construção de inventários de emissões de GEE. Apesar da precisão dos indicadores de produção utilizados neste estudo, quanto as informações de dietas, fabricação, energia elétrica e de manejo de resíduos, foi preciso estrapolar os resultados adquiridos de apenas algumas unidades produtivas. Sendo assim, esforços devem ser aplicados na divulgação de estudos que utilizem a Avaliação do Ciclo de Vida como base para as empresas interessadas.

Com a mudança tecnológica de produção e o empenho dos Órgãos Públicos em incentivar cada vez mais uma suinocultura sustentável, é necessário chamar a

atenção da iniciativa privada em reforçar os laços com a comunidade científica para que estudos como este possam ser cada vez mais assertivos. A suinocultura brasileira é altamente tecnificada e possui um controle de produção de alta precisão, possibilitando que a aplicação de modelos como os desta pesquisa em nível acima do Tier 2.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE SUÍNOS – ABCS. MANUAL BRASILEIRO DE BOAS PRÁTICAS AGROPECUÁRIAS NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS. 2021.

Disponível em: <https://abcs.org.br/wp-content/uploads/2021/02/MANUAL-BRASILEIRO-DE-BOAS-PRATICAS-AGROPECUARIAS-NA-PRODUCAO-DE-SUINOS.pdf>. Acesso em fevereiro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE SUÍNOS – ABCS. ABCS leva crise da suinocultura como tema de encontro político do setor na sede do IPA, em Brasília. 2021. Disponível em <https://www.assuvap.com/assoc/pt/noti/?m=2405>. Acesso em fevereiro de 2023.

ANGOURIA-TSOROCHIDOU, Elisavet *et al.* Life cycle assessment of digestate post-treatment and utilization. *Science of The Total Environment*, v. 815, p. 152764, abr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152764>.

BASAK, Jayanta Kumar *et al.* Applicability of statistical and machine learning-based regression algorithms in modeling of carbon dioxide emission in experimental pig barns. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 6 jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01225-9>.

BOLIN, BERT; BISCHOF, WALTER. Variations of the carbon dioxide content of the atmosphere in the northern hemisphere. *Tellus*, v. 22, n. 4, p. 431-442, ago. 1970. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1970.tb00508.x>.

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

CARO, Dario; MIKKELSEN, Mette Hjorth; THOMSEN, Marianne. Non-CO2 emissions embodied in trade of Danish pork. *Carbon Management*, v. 10, n. 3, p. 323-331, 4 maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17583004.2019.1610831>.

CHERUBINI, Edivan *et al.* Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 87, p. 68-77, jan. 2015a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.035>.

CHERUBINI, Edivan *et al.* The finishing stage in swine production: influences of feed composition on carbon footprint. *Environment, Development and Sustainability*, v. 17, n. 6, p. 1313-1328, 2015b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-014-9607-9>.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo**. 2021. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>. Acesso em nov. 2023.

DÄMMGEN, Ulrich; HUTCHINGS, Nicholas J. Emissions of gaseous nitrogen species from manure management: A new approach. *Environmental Pollution*, v. 154, n. 3, p. 488-497, ago. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.03.017>.

DETMANN, Edenio. *et al.* Métodos para análise de alimentos. Visconde do Rio Branco: Suprema, 214., 2012.

ERISMAN, Jan Willem *et al.* Consequences of human modification of the global nitrogen cycle. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 368, n. 1621, p. 20130116, 5 jul. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0116>.

FOWLER, David *et al.* The global nitrogen cycle in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 368, n. 1621, p. 20130164, 5 jul. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0164>.

GROSSI, Giampiero *et al.* Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*, v. 9, n. 1, p. 69-76, 12 nov. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>.

GUO, Jiao *et al.* Chinese greenhouse gas emissions from livestock: trend and predicted peak value. *Journal of Agro-Environment Science*, v. 36, n. 10, p. 2106-2113, 2017. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20183088455>.

HAMELIN, Lorie, WESNÆS, Marianne, WENZEL, Henrik. Life Cycle Assessment of Biogas from Separated Slurry. Environmental project no. 1329. Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University [online], 2010. Available from: <http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2010/978-87-92668-03-5/pdf/9788792668-04-2.pdf>.

HAMELIN, Lorie *et al.* Environmental Consequences of Future Biogas Technologies Based on Separated Slurry. *Environmental Science & Technology*, v. 45, n. 13, p. 5869-5877, jul. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es200273j>.

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, p. 159494, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159494>.

HUTCHINGS, Nicholas J. *et al.* Modelling the potential of slurry management technologies to reduce the constraints of environmental legislation on pig production. *Journal of Environmental Management*, v. 130, p. 447-456, nov. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.063>.

INOUE, Keles R. A. *et al.* POTENTIAL OF REDUCTION IN THE EMISSION OF METHANE AND NITROUS OXIDE FROM SWINE WASTEWATER AFTER TREATED BY TWO DIFFERENT SYSTEMS. *Engenharia Agrícola*, v. 36, n. 6, p. 1198-1205, dez. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18094430eng.agric.v36n6p1198-1205/2016>.

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

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

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

IZMAYLOV, Andrey *et al.* Pig Manure Management: A Methodology for Environmentally Friendly Decision-Making. *Animals*, v. 12, n. 6, p. 747, 16 mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12060747>.

KAPARAJU, Prasad *et al.* Circular-BioEconomy Through Anaerobic Digestion. In: *Circular Economy Adoption: Catalysing Decarbonisation Through Policy Instruments*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. P. 449-468. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-48031_14.

LE GOFF, Gwénola; NOBLET, Jean. Utilisation digestive comparée de l'énergie des aliments chez le porc em croissance et la truie adulte. *Journées de la Recherche Porcine*, Paris, France. Editions ITP-INRA, v. 33, p. 211-220, 2001. https://www.researchgate.net/profile/Jean-Noblet/publication/242411654_Utilisation_digestive_comparee_de_lenergie_de_s_aliments_chez_le_porc_en_croissance_et_la_truie_adulte/links/0'85e53205ec32655a000000/Utilisation-digestive-comparee-de-lenergie-des-alimentschezle-porc-en-croissance-et-la-truie-adulte.pdf.

MACLEOD, M. J. *et al.* Invited review: A position on the Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM). *Animal*, v. 12, n. 2, p. 383-397, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731117001847>.

MENGEL, Konrad *et al.* (ed.). *Principles of Plant Nutrition*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2001. E-book. ISBN 9781402000089. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-94-010-1009-2>.

MØLLER, Henrik B. *et al.* Agricultural Biogas Production—Climate and Environmental Impacts. *Sustainability*, v. 14, n. 3, p. 1849, 6 fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14031849>.

NDUE, Kennedy; PÁL, Goda. 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>.

NILOOFAR, Parisa *et al.* Data-driven decision support in livestock farming for improved animal health, welfare and greenhouse gas emissions: Overview and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 190, p. 106406, nov. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106406>.

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

OLIVEIRA, P. A. V. *et al.* 2020. Modélisation du volume de lisier produit par les truies em maternité et em gestation au Brésil. *Journées Recherche Porcine*, v. 52, p. 325-330. 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/216084/1/final9462.pdf>

O PRESENTE RURAL. Brasil tem 90% de suinocultores integrados e 10% independentes, estima ABPA. Mai. 2023. P. 9. Disponível em: <https://www.flip3d.com.br/pub/opresenterural/?numero=229&edicao=5486.#page/9>. Acesso em set. 2023.

PEXAS, Georgios *et al.* Cost-effectiveness of environmental impact abatement measures in a European pig production system. *Agricultural Systems*, v. 182, p. 102843, jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102843>.

PIETRAMALE, Rita Therezinha Rolim *et al.* How much the reproductive losses of sows can be impacting the carbon footprint in swine production? *Livestock Science*, v. 250, p. 104594, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104594>.

RECKMANN, K.; TRAULSEN, I.; KRIETER, J. Life Cycle Assessment of pork production: A data inventory for the case of Germany. *Livestock Science*, v. 157, n. 2-3, p. 586-596, nov. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.09.001>.

RECKMANN, K.; KRIETER, J. Environmental impacts of the pork supply chain with regard to farm performance. *The Journal of Agricultural Science*, v. 153, n. 3, p. 411-421, 27 jun. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s0021859614000501>.

RIBEIRO FILHO, Henrique Mendonça Nunes; OLIVEIRA JUNIOR, Luíz Carlos Soares de; DIAS, Kamila Maciel. Avaliação nutricional da polpa de maçã como suplementação energética para bovinos. *Ciência Rural*, v. 42, n. 9, p. 1627-1633, 31 jul. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-84782012005000065>.

RIGOLOT, C. *et al.* Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part I: animal excretion and enteric CH₄, effect of feeding and performance. *Animal*, v. 4, n. 8, p. 1401-1412, 2010^a. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731110000492>.

RIGOLOT, C. *et al.* Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Animal*, v. 4, n. 8, p. 1413-1424, 2010^b. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731110000509>.

ROSA, Carolina Obregão. AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE LEITÕESNAFASE PÓS-DESMAME. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios. Disponível em: https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-AGRONEGOCIOS/Teses%20Defendidas/Tese_Carolina%20Obregao%20da%20Rosa.pdf.

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

TONIAZZO, Fabiane *et al.* AVALIAÇÃO DA LIBERAÇÃO DE CO₂ EM SOLO COM ADIÇÃO DE ÁGUAS RESÍDUARIAS SUÍNICOLAS E IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS DA SUINOCULTURA. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 7, n. 1, p. 253, 19 fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e12018253-274>.

VELOSO, Alessandro Vieira *et al.* CUSTO ENERGÉTICO DE CONSTRUÇÃO DE BIODIGESTORES PARA O MANEJO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA. *ENERGIA NA AGRICULTURA*, v. 33, n. 4, p. 330-337, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/energagric.2018v33n4p330-337>.

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

VECHI, Nathalia T.; JENSEN, Nina S.; SCHEUTZ, Charlotte. Methane emissions from five Danish pig farms: Mitigation strategies and inventory estimated

emissions. *Journal of Environmental Management*, v. 317, p. 115319, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115319>.

VILLARROEL-SCHNEIDER, J. *et al.* Energy self-sufficiency and greenhouse gas emission reductions in Latin American dairy farms through massive implementation of biogas-based solutions. *Energy Conversion and Management*, v. 261, p. 115670, jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115670>.

VOGEL, Everton; BEBER, Caetano Luiz. Carbon footprint and mitigation strategies among heterogeneous dairy farms in Paraná, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 349, p. 131404, maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131404>.

VU, T. K. V. *et al.* Assessing Nitrogen and Phosphorus in Excreta from Growerfinisher Pigs Fed Prevalent Rations in Vietnam. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 23, n. 2, p. 279-286, 22 dez. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.90340>.

WESNÆS, Marianne., WENZEL, Henrik., PETERSEN, Bjørn Molt. Life cycle assessment of slurry management technologies. Environmental project no. 1298. [online], 2009. Disponível em: <http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2010/97887-9266803-5/pdf/978-8792668-04-2.pdf>.

WHITTAKER, Robert H.; LIKENS, Gene E. Primary production: The biosphere and man. *Human Ecology*, v. 1, n. 4, p. 357-369, set. 1973. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/bf01536732>.

WIEDEMANN, Stephen G.; MCGAHAN, Eugene J.; MURPHY, Caoilinn M. Environmental impacts and resource use from Australian pork production determined using life cycle assessment. 2. Energy, water and land occupation. *Animal Production Science*, v. 58, n. 6, p. 1153, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/an16196>.

YAN, Bojie *et al.* Potential reduction of greenhouse gas emissions from pig production in China on the basis of households' pork consumption. *Environment International*, v. 177, p. 108008, jul. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108008>.

XIONG, Chuanhe *et al.* Influencing mechanism of non-CO2 greenhouse gas emissions and mitigation strategies of livestock sector in developed regions of eastern China: a case study of Jiangsu province. *Environmental Science and Pollution Research*, 3 fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356022-18937-1>.

CAPÍTULO IV

A integração das variáveis produtivas, ambientais e reprodutivas da suínocultura brasileira sob a ótica da Análise de Componentes Principais

Integration of Productive, Environmental, and Reproductive Variables in Brazilian Pig Farming Using Principal Component Analysis

PIETRAMALE, Rita Therezinha Rolim^{1*}; CALDARA, Fabiana Ribeiro¹; SENO, Leonardo Oliveira¹; RUVIARO, Clandio Favarini¹.

¹Programa de Pós-Graduação em Zootecnia – Faculdade de Ciências Agrárias/FCA – Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD.

*Autor correspondente – e-mail: rolimpiezoo@gmail.com

RESUMO: O uso do método de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) indicado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO/ONU para fins da construção de Inventários do Ciclos de Vida (ICV), depende de coletas de informações confiáveis de dados precisos sobre o ciclo de vida do produto ou serviço, além de modelos que estimem os impactos ambientais causados. Além da coleta dos dados existe a interpretação e o que se pode exprimir dos mesmos. Portanto, a apresentação dos resultados apenas como inventário não expressa toda complexidade e potencial do estudo. Uma forma de analisar ICVs com grande volume de informações é fazer com que eles sejam resumidos sem perda de qualidade dos dados. Uma técnica utilizada para esta finalidade é a Análise de Componentes Principais (ACP). O presente estudo buscou aplicar os conceitos de Análise de Componentes Principais em um Inventário de Ciclo de Vida das emissões de GEE da produção brasileira de leitões desmamados, desenvolvido conforme as normas das ISOs 14040 e 14044. O ICV foi desenvolvido a partir da aplicação da ferramenta ACV em um banco de dados brasileiro composto por indicadores reprodutivos de matrizes suínas. O banco de dados utilizado relaciona-se aos indicadores agropecuários referentes aos anos de 2016 a 2020, das diferentes regiões geográficas do Brasil (Norte, Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste) e sistemas de produção (UPL, UPD e UCC). As emissões de GEE/kg de leitão desmamado identificado para os 5 anos estudados foi de 3,28 kg de CO₂ eq., sendo 77,74% originado das etapas de produção de rações e manejo/criação animal e, 22,26% para a etapa dos dejetos produzidos e manejo dos efluentes. A ACV expôs que alguns indicadores reprodutivos afetam as emissões, mas apenas isso não explica os resultados. O uso da ACP proporcionou uma visualização clara sobre como os indicadores de produção podem estar influenciando os impactos ambientais. A eficiência produtiva têm sido o fator principal sobre o uso dos recursos e os impactos causados pelo sistema. Muitos dos indicadores que acabam ficando no centro de discussões não explicam de forma clara os resultados de emissões de GEE. O período de gestação, por exemplo, possui influencia nas emissões, mas é um

indicador que não pode ser alterado em prol de mitigar a produção de GEE. A ACP permitiu que outros indicadores reprodutivos aparecessem e demonstrassem suas reais influências sobre os produtos (leitão desmamado e emissões de GEE).

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida; Emissões de Gases de Efeito Estufa; Suinocultura Brasileira; Dados Zootécnicos; Interpretação de resultados de ACV.

ABSTRACT: *The use of the Life Cycle Assessment (LCA) method indicated by the Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO/UN for the purpose of constructing Life Cycle Inventories (LCI) relies on the collection of reliable information of accurate data about the life cycle of the product or service, as well as models that estimate the environmental impacts caused. Data interpretation is crucial in LCA studies. Presenting results solely as an inventory fails to capture the study's complexity and potential. Principal Component Analysis (PCA) is a technique used to summarize large volumes of LCI data without losing data quality. This study applied the concepts of Principal Component Analysis (PCA) to a Life Cycle Inventory (LCI) of GHG emissions from Brazilian weaned piglet production. The LCI was developed according to ISO 14040 and 14044 standards using the LCA tool and a Brazilian database of reproductive indicators from sow herds. The database covers agricultural indicators from 2016 to 2020 for different geographic regions (North, South, Southeast, Midwest, and Northeast) and production systems (UPL, UPD, and UCC) in Brazil. GHG emissions per weaned piglet: 3.28 kg CO₂ eq. Main sources of emissions, as a feed production and animal management were almost 77.74% and manure and effluent management, almost 22.26%. The LCA results showed that reproductive indicators affect emissions, but this alone does not explain the results. The PCA results showed a clear visualization of how production indicators can be influencing environmental impacts. Productive efficiency has been the main factor driving resource use and environmental impacts within the system. Many indicators that are often at the center of discussions do not clearly explain greenhouse gas (GHG) emission results. Gestation period, for example, influences emissions, but it is an indicator that cannot be changed to mitigate GHG production. Principal Component Analysis (PCA) allowed other reproductive indicators to emerge and demonstrate their true influence on products (weaned piglets and GHG emissions).*

Keywords: *Life Cycle Assessment; Greenhouse Gas Emissions; Brazilian Pig Farming; Zootechnical Data; Interpretation of LCA Results.*

INTRODUÇÃO

A indústria suinícola desempenha um papel significativo no avanço econômico e social em múltiplas localidades do Brasil. Essa relevância econômica se evidencia ao considerar que, até setembro de 2023, a produção atingiu cerca de 4 milhões de toneladas, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). Este marco demonstra o impacto substancial e a

contribuição sólida da suinocultura para o panorama nacional, reforçando seu papel como um setor vital para o crescimento sustentável do país. Ademais, com o crescimento da suinocultura no Brasil, surgem preocupações quanto aos impactos ambientais decorrentes das mudanças climáticas na produção animal e no setor industrial, incluindo a geração de resíduos poluentes e a emissão de gases prejudiciais.

No entanto, por meio da implementação de estratégias voltadas para o aumento da eficiência produtiva animal e o manejo sustentável, é possível otimizar o uso de recursos essenciais à atividade e promover a sustentabilidade ambiental do setor, alinhando-se com as demandas crescentes por práticas agrícolas mais responsáveis e ecoeficientes. Assim, ao investir em tecnologias e métodos inovadores que priorizem a eficiência e a sustentabilidade, a suinocultura brasileira pode desempenhar um papel fundamental na mitigação dos impactos ambientais associados à produção animal, consolidando sua posição como um setor comprometido com o desenvolvimento sustentável e a preservação do meio ambiente.

O uso do método de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) indicado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO/ONU (FAO, 2018) para fins da construção de Inventários do Ciclos de Vida (ICV), é dependente de coleta de informações fiáveis e de aplicações ou desenvolvimento de modelos que estimam os potenciais impactos ambientais (ISO 14048, 2002). Porém, nem sempre é possível coletar todos os itens que participam do ciclo de vida de um produto, tornando a construção do ICV uma etapa morosa da desenvolvimento do estudo. Do ponto de vista de Forés *et al.* (2011), essa complexidade justifica o fato das pesquisas em ACV não cobrirem todas as etapas em um único ensaio científico, apenas se conhece a completude de uma cadeia produtiva a partir da junção de inúmeros estudos sequenciais. Portanto, a ACV surge como uma ferramenta pela qual o banco de dados original da cadeia produtiva é analisado, resultando em indicadores que estimam os impactos com valores bastante variáveis.

Além da coleta dos dados produtivos originais, da aplicação da ACV e da construção do ICV, existe a interpretação destes valores e o que se pode exprimir dos mesmos dentro da tomada de decisões dos gestores que participam da cadeia avaliada. Portanto, a apresentação dos resultados apenas como inventário não expressa toda complexidade e potencial do estudo. Por conseguinte, a necessidade de análises numéricas que possam conjugar todas

as variáveis e demonstrar os pontos do processo que elucidariam os fundamentos da cadeia, passa a ser uma questão a ser respondida a partir dos resultados expressos em um ICV.

As análises estatísticas em estudos de ACV propõem que métodos que avaliem as incertezas sejam aplicados com a finalidade de determinar o quanto que os resultados estimados se aproximam dos reais (Gum, 2003). De acordo com Brasil *et al.* (2008), a incerteza dentro de estudos que avaliam as emissões de gases de efeito estufa (GEE) ocorre devido a variabilidade de componentes que participam do processo, como o exemplo do percentual de álcool etílico anidro na gasolina (de 20 a 25%). Os autores ainda salientam quanto a precisão dos dados de produção e de emissões, a necessidade de conhecimento detalhado do processo e de entendimento dos fatores que participam do sistema de produto avaliado.

Neste sentido, a produção suinícola compõe-se por sistemas produtivos variados (unidades produtivas especializadas em diferentes fases animais ou unidades compostas por todas as fases dentro de um mesmo módulo produtivo), os quais podem interferir nos resultados detalhados no ICV (Röös *et al.*, 2013). Essa variabilidade pode representar uma sensibilidade do banco de dados, quando alguns dos dados analisados precisam ser estimados (Cadero *et al.*, 2018). Dentro desta perspectiva, ao buscar realizar um estudo de emissões de GEE da produção animal, como a suinocultura, o pesquisador necessita do entendimento sobre os fatores biológicos e não biológicos que participam desta cadeia.

Os estudos de ACV na produção animal tendenciam a confirmar se os dados são de qualidade e se possuem alto grau de certeza sobre os resultados, propiciando uma tomada de decisão mais assertiva. Um estudo que corrobora com essa ideia é o realizado por Mackenzie *et al.* (2015), que identificaram, a partir da análise de Monte Carlo, que algumas fases do desenvolvimento dos suínos seriam mais sensíveis que as outras devido a variabilidade dos resultados do ICV e atribuíram essas diferenças às regiões produtivas do estudo.

Quando não avaliam a incerteza, utilizam, em sua maioria, apenas as informações numéricas resultantes dos modelos e os correlacionam com os fatores produtivos em busca de pontos que possam ser gerenciados para mitigar tais impactos ambientais. Em um estudo realizado por Pietramale *et al.* (2021), foi necessário compreender sobre o ciclo reprodutivo da matriz suína, além dos processos de fabricação das rações consumidas, para identificar como as perdas

reprodutivas poderiam interferir nas emissões de GEE. Esta abordagem proporcionou a comunidade científica uma breve análise do ICV, sem avaliação estatística. Mas para a tomada de decisão, apenas correlacionar os fatores de produção com os impactos não se apresenta como uma análise estatística e não expressa genuinamente a relação entre os indicadores de produção e os de impacto ambiental, principalmente em vastos bancos de dados.

Uma forma de analisar ICVs com grande volume de informações é possibilitar que os mesmos sejam resumidos sem que haja a perda de qualidade dos dados (Basson e Petrie, 2007; Thomassen, 2008). Uma técnica utilizada para esta finalidade é a Análise de Componentes Principais (ACP), que, de acordo com Kasambara (2017), viabiliza a sintetização de um grande acervo de informações quantitativas descritas por múltiplas variáveis intercorrelacionadas. Uma outra vantagem da ACP é a representação gráfica do comportamento de uma coleção de alternativas oportunizando apontar quais destas se diferem umas das outras e em quais parâmetros isso acontece (Basson e Petrie, 2007).

Desta forma, o objetivo deste estudo foi aplicar uma ACP em um ICV da produção de leitões desmamados, relacionado aos indicadores agropecuários referentes aos anos de 2016 a 2020, das diferentes regiões geográficas do Brasil (Norte, Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste) e sistemas de produção (UPL, UPD e UCC). Para tanto, foi necessário o desenvolvimento do ICV a partir da aplicação da ferramenta de ACV em um banco de dados produtivos oriundos de cerca de 60% do plantel brasileiro de matrizes suínas.

METODOLOGIA

O presente estudo buscou aplicar os conceitos de Análise de Componentes Principais em um Inventário de Ciclo de Vida das emissões de GEE da produção brasileira de leitões desmamados, desenvolvido conforme as normas das ISOs 14040 e 14044 (ABNT, 2014^a; ABNT, 2014b). O ICV foi desenvolvido a partir da aplicação da ferramenta ACV em um banco de dados brasileiro composto por indicadores reprodutivos de matrizes suínas.

Procedimentos do desenvolvimento do ICV

Os estudos de ACV propõem análises que envolvem todas as entradas de recursos da natureza e todas as saídas (emissões e produtos) de cada processo que envolve o ciclo de produção de um produto, de acordo com a ISO 14040 e

14044 (ABNT, 2014^a; ABNT, 2014b) dimensionados em uma unidade funcional (UF) definido de acordo com o produto. No caso deste estudo foi utilizada a UF de um quilograma de peso vivo de leitão desmamado no portão da granja. Esta ferramenta insere dados desde a extração dos recursos utilizados no processo de produção da matéria prima que compõe a dieta dos animais até os dados sobre os produtos resultantes no final da fase produtiva analisada.

Na suinocultura brasileira, a produção de leitões destinados a engorda é controlada por meio de softwares que fazem a gestão dos dados, sendo a maior proporção centralizada em uma única empresa (Pietramale *et al.*, 2020). A empresa possui um anuário, no qual ela ranqueia os melhores produtores de leitões desmamados do Brasil, de forma geral e dentro de diversas categorias. O anuário publicado pela empresa detentora dos dados nacionais, em 2022, atendeu 1725 unidades produtivas, totalizando 1,6 milhões de matrizes suínas (Agriness, 2023), cerca de 77,3% do plantel brasileiro (EMBRAPA aves e suínos, 2023).

O objetivo da ACV desenvolvida neste estudo foi de estimar as emissões dos principais GEE decorrentes da produção de leitões desmamados, abrangendo a formulação e processamento da dieta, o uso de energia elétrica dentro das unidades produtivas, os indicadores zootécnicos referentes as matrizes e leitões a serem produzidos e o tratamento de dejetos por meio do biodigestor. O acervo de dados brutos utilizado propulsionou a construção do ICV a partir da aplicação de modelos matemáticos (Rigolot *et al.*, 2010^a; Rigolot *et al.*, 2010b; Cherubini *et al.*, 2015; FAO, 2018) e de coletas de materiais residuais para análise laboratoriais, que derivaram as emissões de GEE do tratamento de resíduos suínos. Os GEE foram Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄) e Óxido Nitroso (N₂O). A unidade funcional (UF) foi de 1 kg de leitão desmamado ao final do sistema de produto avaliado (Figura 1). Os indicadores zootécnicos referiam-se a 5 anos do anuário “Melhores da Suinocultura”, sendo utilizado os dados brutos das granjas.

Figura 1. Limites de sistema da produção de leitões desmamados no Brasil

são correlacionadas (Hongyu *et al.*, 2016). Esta vantagem, reduz as muitas variáveis a eixos representativos ortogonais de forma a explicar a variação dos dados em uma decrescência e independência. No entanto, as desvantagens da escolha da ACP como meio de reagrupamento de um grande conjunto de informações é a sensibilidade à presença de muitos valores $x_i = 0$ ou muito discrepantes, além de não ser possível realizá-la se houverem dados ausentes (Hongyu *et al.*, 2016).

Aplicação da ACP no ICV de GEE

A identificação dos potenciais impactos ambientais através da ferramenta de ACV é dependente de informações biológicas e físicas, sobre as quais compreendem muitos componentes que se comunicam englobando etapas do processo que variam em tempo, espaço e biologia (Sumner *et al.*, 2012). Os indicadores numéricos que alimentaram o ICV resultaram dos modelos matemáticos já mencionados na metodologia de ACV deste artigo, estas fórmulas de cálculo procuraram integrar estas variáveis biológicas, temporais, espaciais e físicas dentro de uma única análise quantitativa. O obstáculo, após a construção do inventário, foi expressar os resultados expostos no ICV de forma que se resumissem o vasto volume de dados e não perdessem as principais características da coleção numérica.

Em um conjunto de dados com grande volume de variações, como os resultados de uma ACV, a complexidade de realizar uma observação analítica é grande, sendo este um tipo de estudo no qual se aplicaria a ACP (Grillo *et al.*, 2017). As diferentes fontes de dados produtivos que constituem estudos de ACV, além de variados modelos de aplicação da ferramenta, traz alta variabilidade dos resultados. Isso faz com que os ICVs desenvolvidos expressem superficialmente os resultados a partir de informações pouco precisas, dificultando a comparação de sistemas ou a padronização da análise de uma mesma cadeia produtiva (Pietramale, 2020).

A mesma condição foi observada por Grillo *et al.* (2017) ao estudarem sobre os impactos ambientais da cadeia de soja brasileira, onde concluíram que a alta variabilidade dentro da ferramenta de ACV não assegura a precisão das informações e nem sustenta uma análise estatística fiável. No entanto, sugere-se que o uso de ACP poderia ser discutido quanto a investigar as fontes de variação dos ICVs, suas correlações e a conjunção dos mesmos nos dados (Zortea,

2015). O uso da ACP oportunizou uma avaliação sobre os sistemas de produção (UPD¹, UPL² e UCC³), ¹ observando qual o modelo produtivo poderia ser o menos emissor. Também foi possível examinar o perfil das regiões geográficas brasileiras em relação ao desenvolvimento da suinocultura.

Assim, com o ICV construído constando todas as emissões referentes aos GEE da produção de leitões desmamados, foi possível avaliar as possibilidades aplicáveis dentro da estatística multivariada. Selecionou-se a Análise de Componentes Principais devido ao volume de indicadores e sua alta variabilidade, contando com 7415 unidades produtivas (UPs) de leitões desmamados divididas em 5 anos de produção.

Análise de consistência dos dados e aplicação da ACP

O banco de dados que constitui o ICV tem 7415 linhas (UPs), 3 colunas de caracterização (ano, região e sistema produtivo das UPs), 15 colunas de informações reprodutivas e 2 colunas de valores relacionados às emissões de GEE (Quadro 1).

Quadro 1. Estrutura do ICV da produção de leitões desmamados

INDICADORES	SIGLA ¹	CARACTERIZAÇÃO
Indicadores agropecuários de caracterização ³		
Anos	Years	2016 a 2020
Região Geográfica Brasileira	Region	Norte (1), Sul (2), Sudeste(3), Centro-Oeste(4) e Nordeste(5).
Sistema de produção	Production systems	UPL (11), UPD (22) e UCC(33).
Indicadores reprodutivos		

¹ UPD – Unidade produtora de leitões desmamados; ² UPL – Unidade produtora de leitões desmamados e descrechados; ³ UCC – Unidade de ciclo completo.

Idade da primeira cobertura	AFAI	Em dias desde o nascimento da marrã até a 1ª inseminação.
Taxa de retorno de cio	RTE	% de matrizes (incluindo as marrãs) do lote inseminado que retorna o cio após a inseminação.
Taxa de aborto	Ab	% de matrizes (incluindo as marrãs) do lote inseminado que aborta.
Intervalo desmame – estro	WTEI	Intervalo em dias entre o desmame das matrizes até que esta seja inseminada novamente.

¹ As análises estatísticas foram realizadas utilizando as siglas em inglês para fins de publicação em revistas internacionais. ³

Taxa de parto	FR	Percentual de matrizes (incluindo as marrãs) que mantem a gestação até a data de parto.
Partos/fêmea/ano	FSY	Quantidade de ciclos que uma fêmea tem em um ano produtivo.
Dias não produtivos	NPD	Quantidade de dias em que a matriz não está nem gestante e nem lactante.
Período de gestação	GL	Período (em dias) entre a inseminação e o parto.
Nascidos vivos	LBPV	Quantidade de leitões nascidos vivos por parto
Peso médio ao nascimento	BW	Peso do leitão neonato no momento do nascimento.
Mortalidade de leitões na maternidade	MR	Taxa em percentual que quantifica os leitões mortos durante o período lactente.
Desmamados/fêmea em uma lactação	NWS	Números de leitões que uma matriz desmama em cada lactação/ciclo.
Período de lactação	LL	Período em dias em que o leitão permanece lactente.
Peso de desmame dos leitões	WPW	Peso do leitão no dia do desmame.
Quilos de Desmamados/fêmea/ano	WPWY	Volume em kg de leitões que uma matriz desmama por ano
Indicadores de emissões de GEE		
Dióxido de carbono equivalente da produção animal	CO ² eq. AP	Emissões dos GEE (CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O) da etapa de produção e manejo animal
Dióxido de carbono equivalente do tratamento de resíduos	CO ₂ eq. WT	Emissões dos GEE (CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O) da etapa de tratamento dos resíduos animais

Após a obtenção do arquivo ICV, os dados foram analisados com o apoio computacional R (Team 2020), por meio do Software RStudio (Team 2015), utilizando os pacotes factextra e FactoMineR (citações correspondentes !!!). O banco de dados foi submetido a uma Análise de Componentes Principais, com a finalidade de reduzir o conjunto de variáveis em componentes principais e analisar suas relações. No entanto, quando analisamos o conjunto completo (7.415 linhas), verificamos uma sobreposição gráfica que comprometeu a interpretação dos resultados. Assim, decidiu-se dividir os indicadores reprodutivos e de emissões GEE pelos fatores agropecuários (anos, região geográfica brasileira, sistema de produção), resultando em 61 indivíduos assim identificados: Year – 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020; Region: Norte: 1; Sul: 2; Sudeste: 3; Centro-Oeste: 4; Nordeste: 5.; Psystem: UPD: 11; UPL: 22; UCC: 33. O arquivo contendo os 61 indivíduos segue com apêndice

Após a combinação das 3 características (ano, região e sistema de produção) de forma linear, os 61 indivíduos passam a ser chamados de novas variáveis as quais representam, de forma genuína, o banco de dados original, conforme descrito por (Onat *et al.*, 2019).

Padronização dos dados

Na análise de componentes principais, o escalonamento (ou padronização) das variáveis é uma prática frequente e altamente recomendada. Isso se torna ainda mais importante quando as variáveis são medidas em diferentes escalas, como quilogramas, percentuais, dias etc. A omissão do escalonamento nesses casos pode levar a resultados distorcidos na ACP, comprometendo a confiabilidade da análise.

Após essa redução no volume de informações, auto valores (eigen value) e os auto vetores foram calculados. O número de auto valores obtidos resultou no número de componentes principais. Portanto, para determinar com precisão os componentes essenciais para a ACP, examinamos os autovalores (eigen values). Aqueles que apresentaram resultados iguais ou superiores a 1 e abrangem uma alta variância nos dados agrupados foram selecionados, enquanto os que tiveram resultados inferiores a 1 foram descartados. Para cada período de coleta de dados, o número de dimensões selecionadas foi o mínimo necessário para explicar pelo menos 70% da variância cumulativa (Morgan *et al.*, 2021).

A estatística descritiva (Tabela 1) representada pelas médias, desvio padrão, mínimo e máximo dos indicadores reprodutivos e de emissões GEE para os fatores anos, região geográfica brasileira, sistema de produção foi realizada utilizando-se o pacote pastecs (Grosjean *et al.*, 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram analisadas 7415 Unidades Produtivas (UP) de leitões desmamados, divididas em 5 regiões brasileiras e 3 sistemas produtivos – UPD (Unidade produtora de desmamados), UPL (Unidade produtora de leitões) e UCC (Unidade de ciclo completo) – ao longo de 5 anos (2016 a 2020). As UPs brasileiras possuem indicadores de perdas produtivas que variam de 0 a 42,21% e 20,74 %, para retorno de cio e aborto, respectivamente (Tabela 1). Além das perdas reprodutivas referentes as matrizes, observou-se na Tabela 1 que a taxa de mortalidade de leitões na fase lactente variou de 0 a 28,19%, com média de perdas de 8,68 %, valor 1,33% maior do que o encontrado por Bortoli e Covatti (2023) para a produção de leitões desmamados do Oeste do Paraná.

Os parâmetros que expressam a eficiência da produtividade de uma produção de leitões desmamados, desempenharam valores médios de 14,93

dias não-produtivos (NPD), 87,14% de taxa de parto (FR) e 2,35 partos/fêmea/ano (FSY). Os valores da produção foram de 13,10 nascidos vivos/parto (LBPF) com 1,36 kg de peso vivo (BW) cada leitão e, 11,92 desmamados/parto (NWS) com 6,69 kg de PV (BWP). Callegari *et al.* (2019) identificaram, em 2016, que o Brasil possuía uma média de 15,6 NPD e 89,2 % de taxa de parto, o que expõe que a média para os 5 anos subsequentes obtivera melhora de 1 dia para o primeiro indicador e uma piora de 2% para a taxa de parto. Sobre a quantidade de partos/fêmea/ano, estes autores obtiveram resultados de 2,4, já Reis e Gameiro (S/D) revelaram que em 2016 o FSY era acima de 2,3 e em 2020 acima de 2,45. Para o número de leitões nascidos vivos/parto e o peso médio de cada um, Resende *et al.* (2022) expuseram um valor de 1,34 kg/leitão ao nascimento, Rocha e Piasa (2023) o valor de 1,38 kg e 14,63 leitões nascidos vivos e Callegari *et al.* um valor de 12,7 leitões nascidos vivos/parto. Ainda sobre os resultados de Callegari *et al.* (2023), os autores também identificaram que as fêmeas desmamaram 11,6 leitões/parto com peso médio de 6,34kg.

As emissões de GEE/kg de leitão desmamado identificado para os 5 anos estudados foi de 3,28 kg de CO₂ eq., sendo 77,74% originado das etapas de produção de rações e manejo/criação animal e, 22,26% para a etapa dos dejetos produzidos e manejo dos efluentes. Este resultado corrobora com Gutiérrez *et al.* (2016), que identificaram que a etapa de produção de ração e manejo das matrizes emitiu cerca de 2,76 kg de CO₂ eq./kg de leitão desmamado. Reckmann *et al.* (2013) observaram que a etapa de produção e manejo dos animais emitiu 93,47% do total de 3,22 kg de CO₂ eq./kg de PV.

Tabela 1. Estatística descritiva do Inventário do Ciclo de Vida (ICV).

	Valor mínimo	Valor máximo	Desvio	Variáveis	Média
	da variável	da variável	Padrão	Indicadores	reprodutivos
AFAI_days	120.00	725.00	232.74		19.72
RTE	0.00	42.21	7.84		4.25
Ab	0.00	20.74	1.53		1.05
WTEI	3.00	42.33	6.34		1.82
FR	27.55	97.99	87.14		5.46
FSY	1.61	2.61	2.35		0.11
NPD	3.07	89.67	14.93		7.45
GL	110.67	118.45	115.05		0.71
LBPF	9.13	16.45	13.10		0.90

BW	0.71	2.04	1.36	0.12
MR	0.00	28.19	8.68	3.25
NWS	7.34	15.40	11.92	0.95
LL	15.00	451.57	25.43	5.79
WPW	2.70	9.31	6.69	0.85
WPWY	59.05	287.46	187.78	29.22
Indicadores de emissões de GEE				
CO2eq_AP	1.68	10.33	2.55	0.41
CO2eq_WT	0.33	2.02	0.73	0.23

AFAI – Idade em dias da marrã na primeira cobertura; RTE - % de retorno de cio; Ab - % de aborto; WTEI – Intervalo desmame-estro; FR – Taxa de parto (%) FSY – Partos/fêmea/ano; NPD – Dias não-produtivos; GL – Período de gestação; LBPF – Quantidade de leitões nascidos vivos por parto; BW – Peso do leitão neonato no momento do nascimento; MR – Taxa que quantifica os leitões mortos durante o período lactente; NWS – Números de leitões que uma matriz desmama em cada lactação/ciclo; LL – Período de lactação; WPW – Peso do leitão no dia do desmame; WPWY – Volume em kg de leitões que uma matriz desmama por ano.

Os resultados da ACV demonstraram, a priori, que alguns indicadores reprodutivos influenciaram nas emissões, no entanto apenas explicar sobre este ponto não torna a interpretação destes resultados em algo claro. Para que gestores possam utilizar resultados como estes para uma tomada de decisão, representações gráficas foram necessárias.

Desta forma, após definir quais componentes utilizar na ACP, foram selecionados os autovalores (eigen values) que foram iguais ou maiores que 1, capturando uma alta variância nos dados agrupados. Os autovalores com resultados inferiores a 1 foram descartados, conforme a Tabela 2. Neste caso, selecionou-se as 5 primeiras dimensões para a expressão dos resultados da ACP em gráficos. Estas 5 dimensões somaram 79,12% da representatividade estatística do banco de dados transformado.

Tabela 2. Auto valores, variância e variância acumulada

	Eigen value	Variance %	Cumulative var %
Dim.1	7.699	38.496	38.496
Dim.2	3.324	16.622	55.118
Dim.3	1.899	9.497	64.615
Dim.4	1.708	8.538	73.153
Dim.5	1.193	5.967	79.120
Dim.6	0.871	4.357	83.477
Dim.7	0.743	3.713	87.190
Dim.8	0.710	3.548	90.739
Dim.9	0.617	3.083	93.822

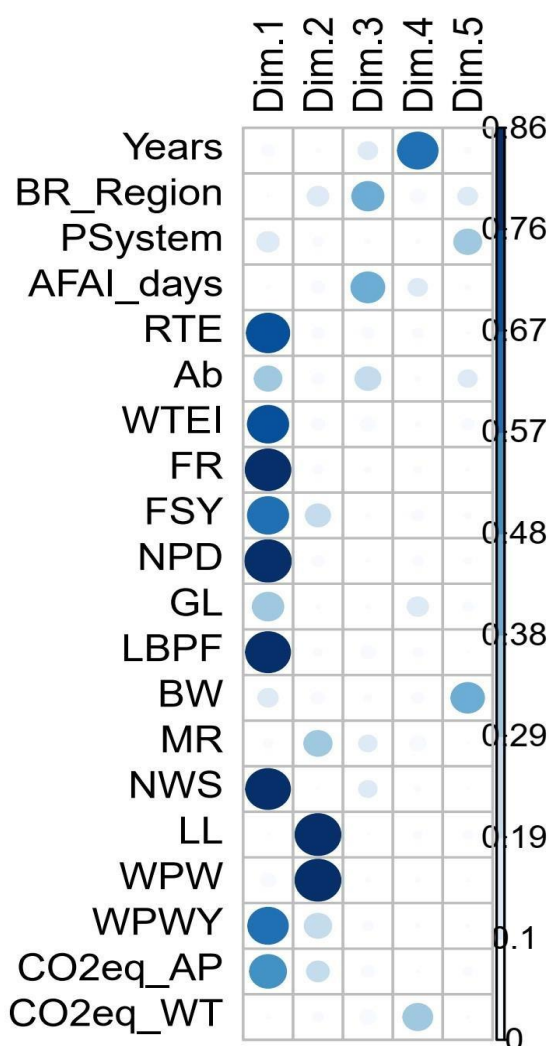
Dim.10	0.389	1.946	95.768
Dim.11	0.288	1.440	97.208
Dim.12	0.216	1.082	98.290
Dim.13	0.131	0.656	98.946
Dim.14	0.105	0.527	99.473
Dim.15	0.045	0.223	99.696
Dim.16	0.036	0.180	99.876
Dim.17	0.020	0.099	99.975
Dim.18	0.004	0.018	99.993
Dim.19	0.001	0.005	99.998
Dim.20	0.000	0.002	100.000

Fonte: produzido pelo autor.

Idioma em inglês para fins de publicação.

Dentro de cada dimensão (D) estão expostos as variáveis que se relacionam entre si e como tais relações acontecem. As relações ocorrem na intensidade das cores e tamanhos dos círculos dispostos na imagem dentro de cada uma das dimensões (Figura 2). Assim na Figura 3 observa-se que na 1D encontram-se a maior concentração de variáveis, cerca de 38% das variâncias ocorrem nesta dimensão (Tabela 2). Já na 2D encontram-se cerca de 16% das variações, seguido da 3D com 9,5%, 4D com aproximadamente 6% e 5D com 4,3% (Tabela 2).

Figura 2. Representação do Cos² Correlação dos indicadores zootécnicos e as emissões de GEE.



PSystem – Sistemas produtivos; AFAI_days – Idade da primeira cobertura das marrãs em dias; RTE – Retorno de Cio; Ab – Aborto; WTEI – Intervalo desmame-cio; FR – Taxa de parto; FSY – Partos/fêmea/ano; NPD – Dias não-produtivos; GL – Período de gestação; LBPF – Nascidos vivos/fêmea/parto; BWP – Peso médio de nascimento do leitão; MRP – Taxa de mortalidade de leitões; NWS – Desmamados/fêmea/parto; LL – Período de lactação; WPW – Peso médio do leitão ao desmame; WPWY – Kg de leitões desmamados/fêmea/ano; CO2eq._AP – kg de CO2 eq./kg de leitão desmamado da etapa de produção e manejo animal; CO2 eq./kg de leitão desmamado da etapa de tratamento dos resíduos animais.

Na 1D os indicadores taxa de parto (FR), dias não-produtivos (NPD), nascidos vivos/parto (LBPF) e desmamados/parto (NWS), possuem a mesma intensidade de cor azul forte e tamanhos de círculos iguais. Já os indicadores intervalo desmame-cio (WTEI), partos/fêmea/ano (FSY), retorno e cio (RTE) e quilos de desmamados/fêmea/ano (WPWY) apresentam um tom de azul menos intenso, mas ainda forte, mas com tamanhos de círculos semelhantes aos de azul mais escuro. Por conseguinte, os indicadores que expressam o aborto (Ab) e tempo de gestação (GL), encontram-se ainda na 1D, mas com um tamanho de círculo menor e com um tom de azul mais claro. E por fim, as emissões de GEE da etapa de produção e manejo animal, mesmo estando na mesma dimensão,

apresenta um tom de azul e tamanho de círculo menos intenso que os de azul mais forte.

Sobre as dimensões 2D a 5D (Figura 2), é possível notar que somente na 4D é que as emissões de CO₂ eq. do tratamento de resíduos aparecem, mas com um tamanho e cor de círculo menos intenso. Mas mesmo apresentando um baixo indício de relação, os indicadores zootécnicos que se expressam em dias, como a Idade da 1ª cobertura das marrãs (AFAI_days) e o período de gestação (GL), são os que se relacionam com as emissões do tratamento de resíduos (CO₂_eqWT). Isso porque estes parâmetros expressam um maior consumo de um único tipo de ração pelas fêmeas em um maior período, resultando em maior volume de fezes e, conseqüentemente, maior emissão. No entanto, o período de gestação de 115 dias em média é tido como normal, e é um parâmetro que, fisiologicamente, não poderia ser reduzido.

O FR representa a taxa de parto e está diretamente relacionado ao RTE, NPD, LBPF e NWS, pois estes indicadores demonstram que quando o retorno de cio (RTE) é mais alto, diretamente a taxa de parto diminui, cerca de 10% para cada fêmea que retornou ao serviço (Koketsu *et al.*, 2017). Estes mesmos autores expõem que o NPD se relaciona com as taxas de aborto (Ab) e de RTE, pois engloba os indicadores de perdas reprodutivas, prejudicando a eficiência de uma granja e conseqüentemente elevando as emissões de GEE. Pietramale *et al.* (2021) identificaram que alguns indicadores de perdas reprodutivas, como o NPD, ao variarem para piores cenários, podem elevar as emissões.

Sobre os indicadores de produtividade, como FR, FSY, LBPF e NWS, observou-se que os mesmos estando na mesma dimensão, significa que existe relação, oportunizando a interpretação de que quanto melhor/menor é a eficiência do sistema, menor poderia ser emissão da etapa de produção e manejo animal. Reckmann e Krieter (2015) observaram resultados que corroboram com este estudo, afirmando que um LBPF maior propicia em menor emissão de CO₂ eq. Já Alfonso (2019) expôs que não se pode afirmar que uma melhora na eficiência reprodutiva da matriz contribuiria para uma redução expressiva de GEE.

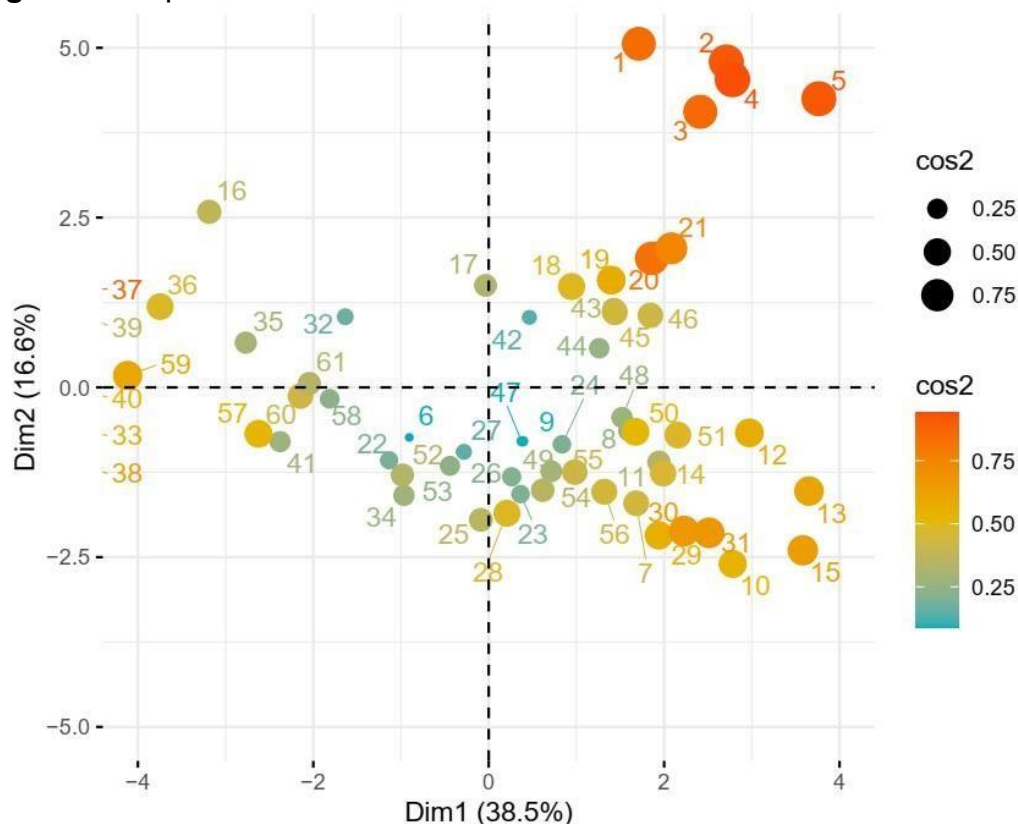
Resende *et al.* (2022) explanaram sobre a responsabilidade da melhora do manejo reprodutivo sobre a evolução da produtividade suinícola no Brasil. Os indicadores reprodutivos que mais participam desta evolução é o número de leitões desmamados/fêmea/ano, o parto/fêmea/ano, o intervalo desmame-cio, peso de nascimento e os dias não-produtivos, taxa de parto e etc.

Os índices de produtividade da fêmea suína estão interligados fisiologicamente, por um ser influenciado pela eficiência do outro. Quanto aos parâmetros zootécnicos que podem ser manejados em prol de mitigação de emissões de GEE, as relações devem ser analisadas e discutidas indiretamente, considerando que uma melhora na eficiência geral da granja reduzirá os impactos ambientais (Dorca-Preda *et al.*, 2021).

Considerando que os indicadores zootécnicos influenciam nas emissões de GEE, observou-se na Figura 2 que os indicadores reprodutivos e de emissões, que encontram-se nas mesmas dimensões possuem ínfimas relações entre si. Estes resultados corroboram com as afirmações feitas por Grossi *et al.* (2019), ao debaterem sobre a eficiência animal ser atenuante na tomada de decisão sobre manejos mitigatórios dos impactos ambientais, no entanto estes autores não sugerem que os indicadores reprodutivos sejam fortemente relacionados as emissões de GEE.

Na Figura 3, podemos observar a dispersão de cada um dos 61 indivíduos, que representam as 7415 granjas do ICV, conforme os resultados da ACP em relação as variáveis do ICV. Esta imagem, ao sobrepor as figuras subsequentes, expressa o comportamento de cada indivíduo em cada uma das características qualitativas (sistema de produção, região geográfica e ano de origem dos dados).

Figura 3. Dispersão dos 61 indivíduos analisados na ACP.

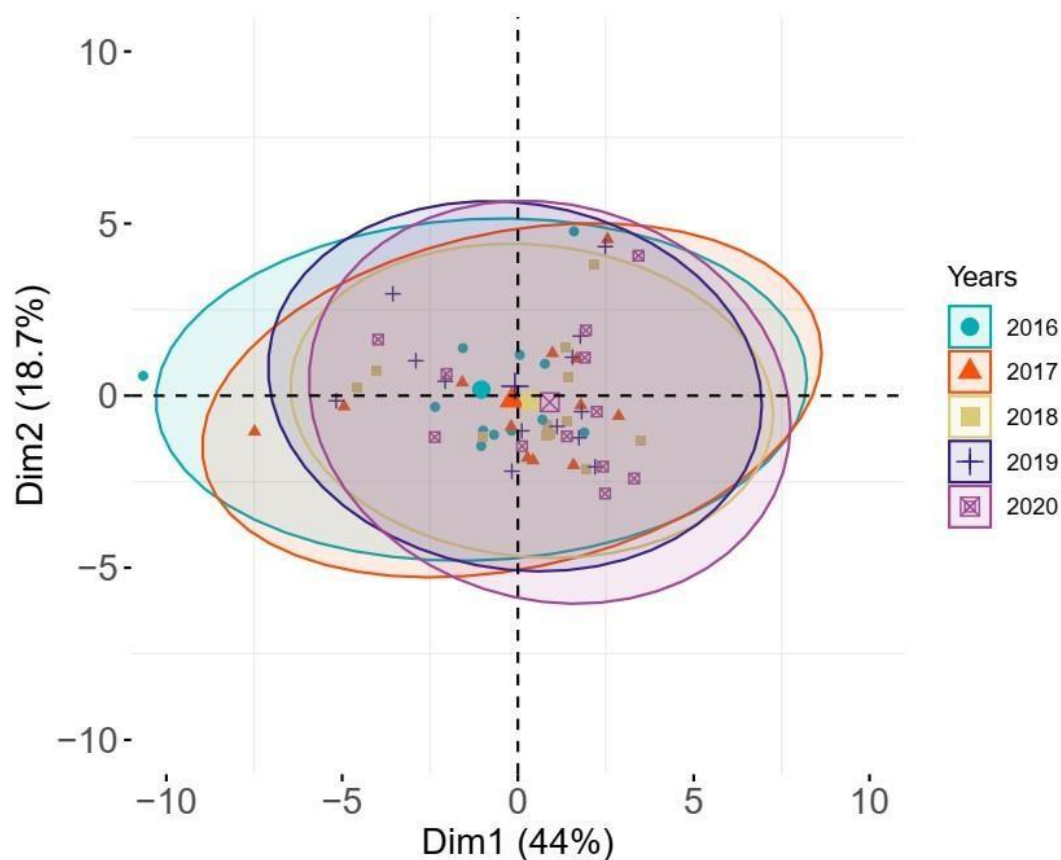


Os indivíduos 1 a 5 (conforme aquivo em anexo), posicionam-se mais distante dos seus semelhantes (região sul), sendo passível a interpretação de que este grupo de elementos representam mais os indicadores LL, WPW e WPWY. Ao averiguar sobre estes 5 indivíduos, observou-se que eles possuem a maior média de peso de desmame e maior período de lactação, colocando-os em um grupo com maior produtividade, pensando em Kg de leitões desmamados/matriz/ano. As emissões da produção e manejo animal deste grupo ficaram entre de 2,21 a 2,48 kg de CO₂ eq./UF (kg de leitão desmamado) e as do tratamento de resíduos foram de 0,45 a 1,04 kg de CO₂ eq/UF.

Clusters

Na Figura 5 podemos observar a dispersão dos 5 clusters de ano (2016 a 2020). Apesar de ter ocorrido evolução nos indicadores reprodutivos afirmados pela Agriness (2020), as 5 elipses (Figura 4) sobrepõe-se umas sobre as outras acompanhando o eixo x, indicado que os anos não contribuem para a variação dos dados de ICV. Apenas dois indivíduos dos anos 2016 e 2017 saem fora do padrão observado nos outros 59 elementos. São os indivíduos 37 e 38, os quais expressam a região norte, do sistema UCC, com valores de emissões totais de GEE de 4,6 e 4,28 kg de CO₂ eq./kg de leitão desmamado, respectivamente. Os mesmos indivíduos, apresentaram uma média de kg de leitão desmamado/porca/ano de 115,29 e 118,14, respectivamente. Além destes baixos resultados de produção, observou-se nestes dois indivíduos indicadores de perdas reprodutivas bastante elevados, sendo 14,42 e 16,13 para RTE e 36,05 e 32,75 para NPD, respectivamente. Quanto a estes valores prejudiciais a atividade, Koketsu *et al.* (2017) expuseram que altas taxas de RTE resulta em maiores NPDs e baixo números de nascidos vivos/parto e consequentemente menor quantidade de leitões desmamados/fêmea/ciclo.

Figura 4. Clusters dos anos analisados



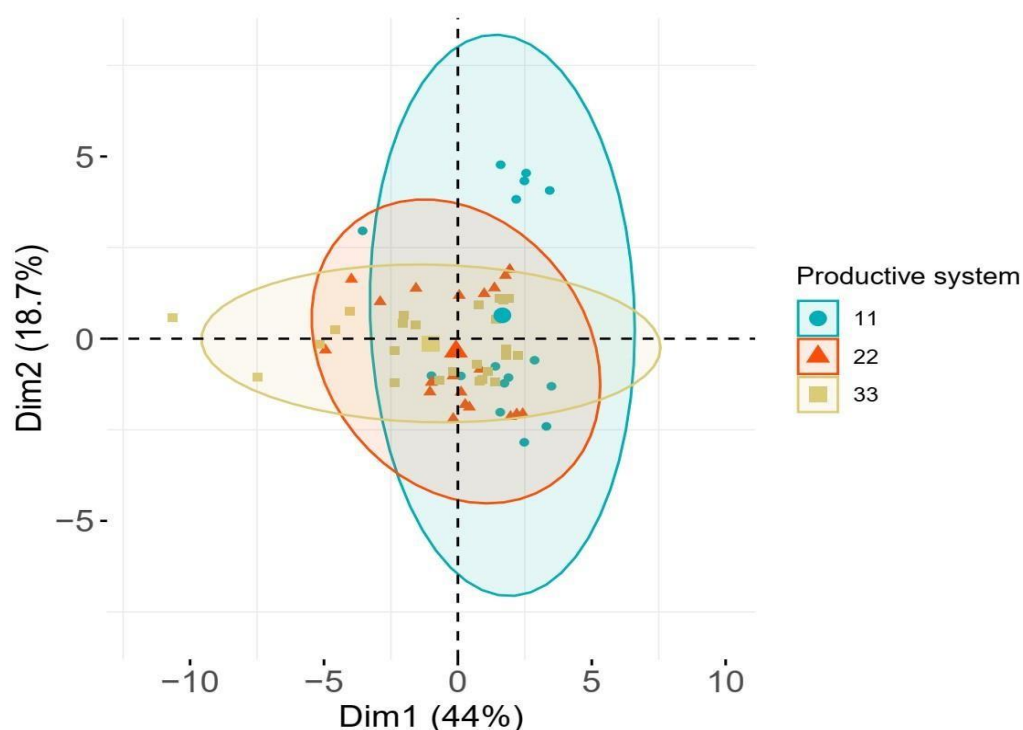
Fonte: Elaborado pelo autor.

Além da observância sobre os parâmetros produtivos e de impacto ambiental dos indivíduos de 1 a 5, notou-se que os mesmos eram similares quanto ao sistema de produção, no caso o de UPD (Figura 5). Neste sistema produtivo as granjas são especializadas apenas em produzir leitões desmamados, pontuando sobre o fato de que ser específico em sua atividade traz melhores retornos produtivos e consequentemente menores impactos ambientais. No entanto, na Figura 4 não observou-se grandes diferenças entre os sistemas produtivos para os outros 56 indivíduos, pois os 3 clusters encontram-se sobrepostos uns aos outros.

Os sistemas de UPD (11) e UPL (22), devido a similaridade de produzirem apenas leitões, diferindo apenas no peso em que o animal deixa a granja, possuem um formato ovóide, sendo que os indivíduos ocupam praticamente a mesma área (Figura 5). No entanto, o cluster do sistema de UPD (em azul) possui maior abrangência verticalizada no plano. Já no sistema de UCC (33), mesmo com seus indivíduos ocupando a mesma área dos sistemas anteriores, seu formato difere por ser elíptico. De acordo com a Figura 5, os indivíduos que ocupam a elipse formada pelo cluster 33 (UCC), acompanham mais o eixo x, já os que ocupam os formatos ovóides, dos clusters 11 e 22, tendem a acompanhar

o eixo y. E conforme já fora abordado, os indivíduos 37 e 38, posicionam-se mais afastado dos outros 59 elementos.

Figura . Clusters dos sistemas de produção analisados



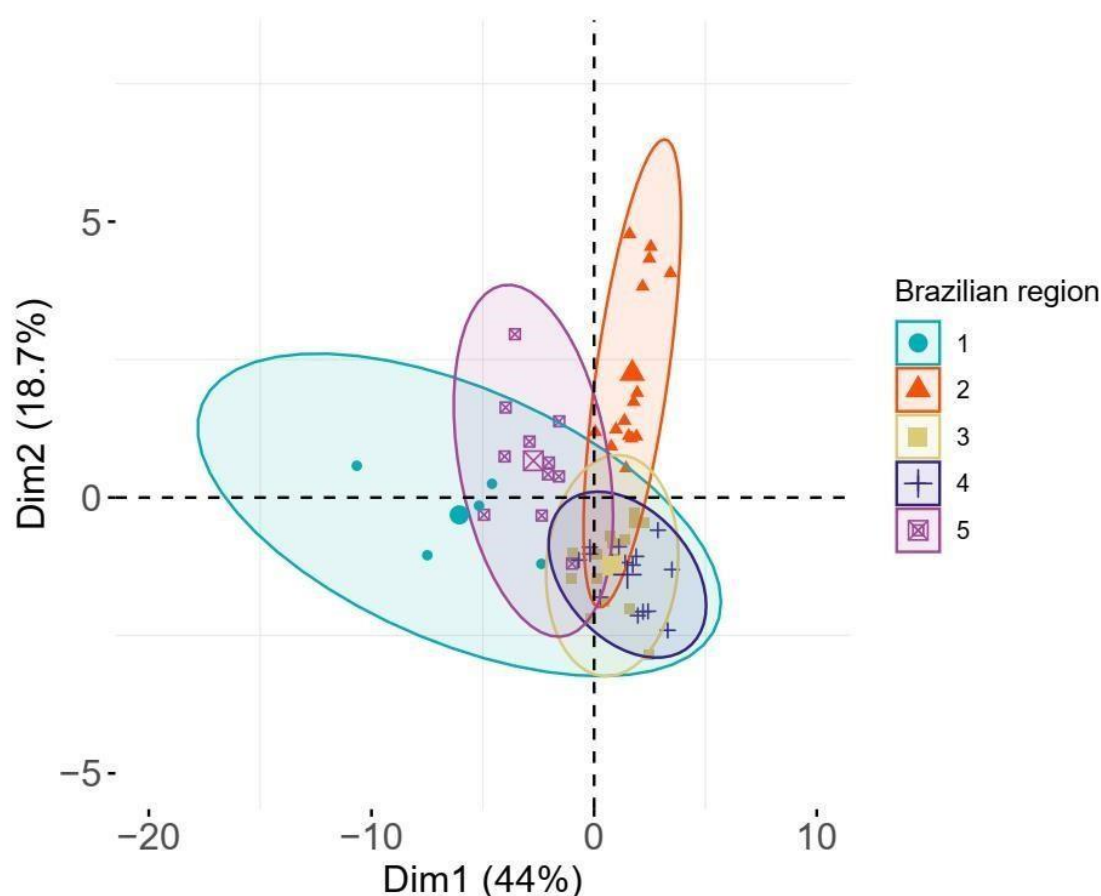
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6, observou-se que os indivíduos que representam a região sul e o sistema de UPD, independente dos anos analisados, ocuparam o quadrante superior direito do gráfico. O sistema de UPD é especializado em produzir leitões desmamados com 5 a 10 kg (a depender do manejo adotado pelo produtor e/ou integradora/cooperativa). Geralmente este modelo aloja fêmeas de reposição, matrizes ativas e, dependendo da região e oportunidade, uma central de produção de sêmen. O produtor especializado em uma única fase animal proporciona à sua criação uma maior seguridade sanitária, melhor aplicação de tecnologia e maior controle do tipo de resíduo animal produzido e seu tratamento (Machado e Dallanora, 2014).

Os 5 clusteres de regiões (Figura 6) posicionaram-se mais divergentes que os clusters de sistemas de produção e de anos (Figuras 3 e 4). A partir desta figura, é possível interpretar sobre as divergências entre as regiões produtivas. A região norte, em azul na Figura 6, possui os indivíduos com os menores pesos de desmamados/fêmea/ano (WPWY), entre 115,2 e 147,8 kg, como também indicadores de RTE entre 10 e 16,2 %, além de NPDs entre 18 e 36 dias. Diferentemente da região Sul, em laranja, onde os indivíduos de mesmo sistema

produtivo dos mencionados da região Norte, UCC, os valores são de 177 a 186,8 kg para WPWY, 7,2 a 8,25 % para RTE e 14,36 a 15,67 para NPD. Entre ambas as regiões, as emissões totais de GEE foi de 3,67 a 4,60 kg de CO₂eq/UF para a região Norte e de 2,98 a 3,81 kg de CO₂eq./UF para a região Sul. Os clusters para as regiões Sudeste (3 – amarelo) e Centro-Oeste (4 – roxo), não apresentaram diferenças nas posições dos indivíduos. Já a região Nordeste (5 – fúcsia), acompanhou a região Norte mas seguindo a mesma aproximação do eixo y, que a região Sul.

Figura 6. Clusters das regiões brasileiras analisadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

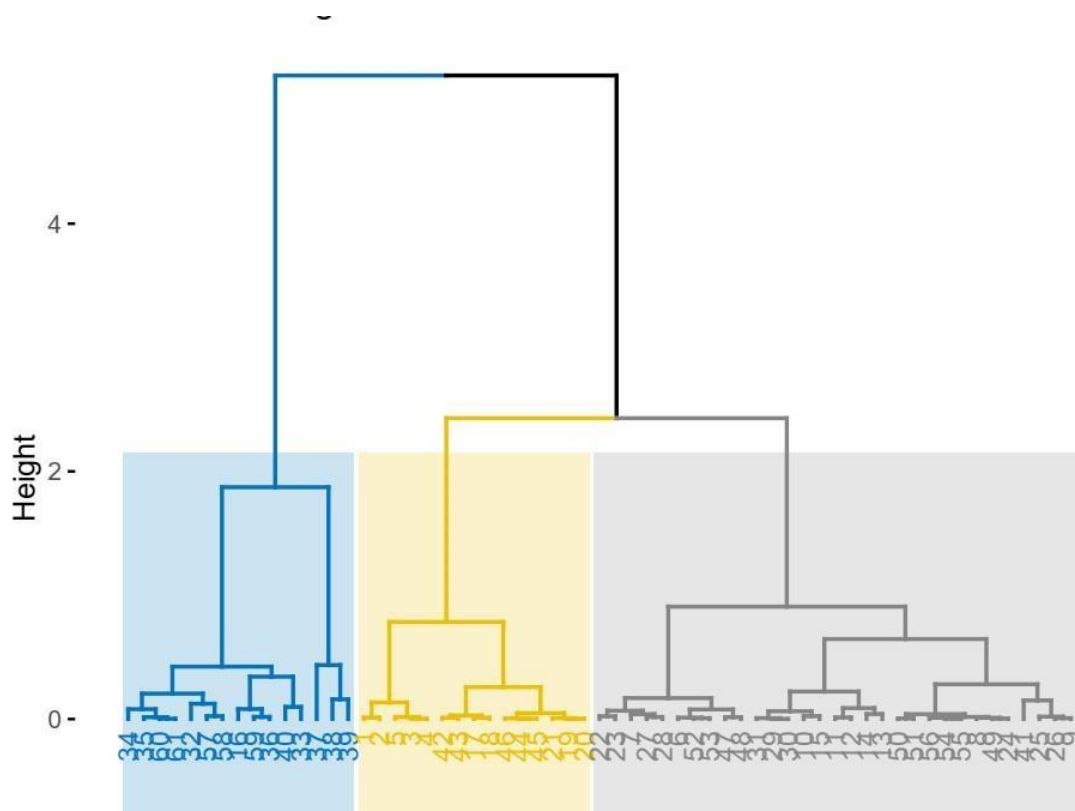
O modelo segregado de produção, dividindo as fases animais por unidade produtiva, é mais comum na região sul (Pereira e Coelho, 2018), corroborando com os indicadores dos indivíduos 1 a 5. O benefício de unidade especializadas em uma única fase animal está em conhecer de forma aprofundada seu sistema, sua dieta e seu produto, além da possibilidade de manutenção do padrão dos produtos (leitão e resíduo), facilitando também o atendimento técnico e a qualificação dos colaboradores. Estes 5 indivíduos expuseram os melhores

resultados produtivos e consequentemente menores emissões, contrapondo as afirmações de que forte crescimento suinícola em larga escala no Centro-Oeste apontaria indicadores de produção melhores que as outras regiões (Oliveira *et al.*, 2020; Pietramale *et al.*, 2020).

O dendograma apresentado na Figura 7, composto por Clados, os quais expressam a proximidade/similaridade entre os indivíduos dentro de cada grupo, e os nós basais conhecido como a "raiz" da "árvore", indicando com os agrupamentos se ramificam, no caso em 3 diferentes cores. As linhas sistemáticas e/ou extensíveis da "árvore" são conhecidas como seus ramos que representam a interconexão entre um ou mais indivíduos. Aqui os clusters não se agrupam de acordo com o ano, sistema ou região brasileira, mas sim de acordo com os indivíduos. Entre os elementos do cluster azul e os elementos do cluster cinza ou até mesmo o amarelo, cada distância reflete a diferença entre os indivíduos.

Os indivíduos que possuem similaridades entre seus valores, como os que compõem o cluster em azul, organizam-se no mesmo grupo de Clados. São 15 elementos que possuem a similaridade de estarem ou na região Norte ou Nordeste e, por produzirem em sistemas de UPL (5 indivíduos) e UCC (9 indivíduos). O cluster em amarelo compõe-se pelos elementos da região Sul e divide-se entre os sistemas UPL e UCC. Já o cluster em cinza, com 26 dos 61 indivíduos, possuem a similaridade em 12 elementos com região Sudeste, 14 para a região Centro-Oeste. Quanto ao sistema de produção, este cluster abrange os 3 modelos, UPD, UPL e UCC.

Figura 7. Dendograma dos 61 indivíduos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, o uso da ACP proporcionou uma visualização mais clara sobre como os indicadores de produção podem estar influenciando os impactos ambientais. De fato, a eficiência produtiva têm sido o fator principal sobre o uso dos recursos e os impactos causados pelo sistema. Essa afirmação corrobora com Yang *et al.* (2023) e He *et al.* (2023).

CONCLUSÕES

De fato o uso da ACP no ICV de produção de leitões desmamados proporcionou interpretações mais aprofundadas sobre todos os pontos do sistema de produção de suínos no Brasil, considerando os diferentes layouts de produção (UPD, UPL e UCC) e as regiões produtoras. A atividade é complexa e possui em seu cerne produtivo indicadores que variam em unidade, valores, importância e características biológicas. No entanto, muitos dos indicadores que acabam ficando no centro de discussões não explicam de forma clara os resultados de emissões de GEE. Um exemplo foi o resultado de que o período de gestação tem uma influencia nas emissões, mas é um indicador que não pode ser alterado em prol de mitigar a produção de GEE.

A ACP permitiu que outros indicadores reprodutivos aparecessem e demonstrassem suas reais influencias sobre os produtos (leitão desmamado e

emissões de GEE). Também deixou claro quais indicadores devem ser observados mais de perto quando o intuito é tornar a atividade mais eficiente ambientalmente.

Outra observação explicada pela ACP é a importância das regiões produtivas, as quais possuem décadas de investimento em tecnologias e conhecimentos sobre a suinocultura industrial. Regiões com histórico muito recente de investimento em suinocultura, mostraram-se menos eficientes ambientalmente, mas também expuseram as margens que pode ser expandidas em prol de melhorar esta realidade.

Todas as regiões brasileiras possuem em algum grau uma suinocultura tecnificada, no entanto, a região sul, por ser pioneira em tecnificação e pesquisas, possui os melhores indicadores de produção e de sustentabilidade. Estudos futuros devem avaliar períodos mais amplos, em prol de averiguar a relação do crescimento ao longo dos anos com a produtividade suína sustentável das regiões brasileiras.

BIBLIOGRAFIA

AGRINESS. Prêmio Melhores da Suinocultura de 2019. 2020. Disponível em: <https://melhores.agriness.com/>. Acesso em Janeiro de 2024.

AGRINESS. Prêmio Melhores da Suinocultura de 2022. 2023. Disponível em: <https://melhores.agriness.com/>. Acesso em Janeiro de 2024.

ALFONSO, L. Impact of incorporating greenhouse gas emission intensities in selection indexes for sow productivity traits. *Livestock Science*, v. 219, p. 57-61, jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.11.016>.

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

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

BASSON, L.; PETRIE, J. G. An integrated approach for the consideration of uncertainty in decision making supported by Life Cycle Assessment. *Environmental Modelling & Software*, v. 22, n. 2, p. 167-176, fev. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.07.026>.

BORTOLI, Isabela; PIASSA, Meiriele Monique Covatti. ANÁLISE COMPARATIVA

DO DESEMPENHO DE LEITÕES EM MATERNIDADE CLIMATIZADA E MATERNIDADE CONVENCIONAL, NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ, EM ÉPOCA DO VERÃO. Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária FAG, v. 6, n. 2, p. 8-22, 2023. Disponível em: <https://themaetscientia.fag.edu.br/index.php/ABMVFAG/article/view/1903>.

BRASIL, Gutemberg Hespanha; JUNIOR, Paulo Antônio De Souza; JUNIOR, João Andrade De Carvalho. Inventários corporativos de gases de efeito estufa: métodos e usos. Sistemas & Gestão, v. 3, n. 1, p. 15-26, 2008.

CADÉRO, A. *et al.* Effects of interactions between feeding practices, animal health and farm infrastructure on technical, economic and environmental performances of a pig-fattening unit. *Animal*, v. 14, p. s348—s359, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731120000300>.

CALLEGARI, Marco Aurélio *et al.* Brazilian panorama of pig breeding sector: a cross-sectional study about specific aspects of biosecurity, facilities, management, feeding, and performance. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 41, n. 2, p. 587-606, 6 mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/16790359.2020v41n2p587>.

CHERUBINI, Edivan *et al.* Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 87, p. 68-77, jan. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.035>.

DORCA-PREDA, Teodora *et al.* Environmental impact of Danish pork at slaughterhouse gate – a life cycle assessment following biological and technological changes over a 10-year period. *Livestock Science*, v. 251, p. 104622, set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104622>.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. Central de Inteligência de Aves e Suínos – CIAS. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>. Acesso em janeiro de 2024.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Environmental performance of pig supply chains: Guidelines for assessment. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. Rome, 172 pp, 2018.

FORÉS, Valeria Ibáñez; BOVEA, Maria-Dolores; SIMÓ, Amelia. Life cycle assessment of ceramic tiles. Environmental and statistical analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 16, p. 916-928, 2011.

GRILLO, Igor Barden *et al.* Avaliação Estatística dos Inventários do Ciclo de Vida da Produção de Soja no Brasil. *LALCA: Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*, v. 1, n. 2 esp., p. 7, 23 ago. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.18225/lalca.v1i1.3069>.

HE, Dawei *et al.* Livestock greenhouse gas emission and mitigation potential in China. *Journal of Environmental Management*, v. 348, p. 119494, dez. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119494>.

HONGYU, Kuang; SANDANIELO, Vera Lúcia Martins; JUNIOR, Gilmar Jorge de Oliveira. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, Aplicação e Interpretação. *E&S Engineering and Science*, v. 5, n. 1, p. 83-90, 29 jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.18607/es201653398>.

HOTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, v. 24, n. 6, p. 417-441, 1933. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/h0071325>.

GROSJEAN, Philippe. *et al.* Package 'Pastecs'. 2024. Disponível em: <http://masterdistfiles.gentoo.org/pub/cran/web/packages/pastecs/pastecs.pdf>. Acesso em fevereiro de 2024.

GUM. Guia para Expressão da Incerteza de Medição. Terceira Edição Brasileira do Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. ISBN 85-07 00251X. Rio de Janeiro: INMETRO, ABNT, 2003, 120 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2023. Pesquisa Trimestral do Abate de Animais. Disponível em [\[https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-pecuaria/9203pesquisas-trimestrais-do-abate-de-animais.html\]](https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-pecuaria/9203pesquisas-trimestrais-do-abate-de-animais.html) Acesso em Novembro de 2023.

ISO – International Organization Standardization. Environmental management – Life cycle assessment. 2022. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/29872.html>.

KASSAMBARA, Alboukadel. Principal Component Methods in R: Practical Guide. Principal Component Methods in R: Practical Guide. STHDA, 2017. Disponível em: <http://www.sthda.com/english/articles/31-principal-componentmethods-in-rpractical-guide/112-pca-principal-component-analysis-essentials/>. Acesso em Dezembro de 2023.

KOKETSU, Yuzo; TANI, Satomi; IIDA, Ryosuke. Factors for improving reproductive performance of sows and herd productivity in commercial breeding herds. *Porcine Health Management*, v. 3, n. 1, 9 jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40813-016-0049-7>.

MACHADO, G.; DALLANORA, D. Evolução histórica dos sistemas de produção de suínos. In: *Produção de suínos: teoria e prática*. 1. Ed. Brasília: Associação Brasileira de Criadores de Suínos, 2014. v. 1p. 95–125. E-book.

MACKENZIE, S. G. *et al.* Accounting for uncertainty in the quantification of the environmental impacts of Canadian pig farming systems¹. *Journal of Animal Science*, v. 93, n. 6, p. 3130-3143, 1 jun. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8403>.

OLIVEIRA, P. A. V. *et al.* Modélisation du volume de lisier produit par les truies en maternité et en gestation au Brésil. *Journées Recherche Porcine*, v. 52, p. 325-330. 2020. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/216084/1/final9462.pdf>.

ONAT, Nuri C.; KUCUKVAR, Murat; AFSHAR, Shiva. Eco-efficiency of electric vehicles in the United States: A life cycle assessment based principal component analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 212, p. 515-526, mar. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.058>.

PEARSON, Karl. LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, v. 2, n. 11, p. 559-572, nov. 1901. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14786440109462720>.

PEREIRA, Isabela Kamura; COALHO, Márcia Regina. Estudo sobre o perfil do consumo de carne suína comercializados na cidade de Cambé e Londrina-PR. *Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa*, v. 34, n. esp., p. 231243, 2018.

PIETRAMALE, Rita Therezinha Rolim *et al.* How much the reproductive losses of sows can be impacting the carbon footprint in swine production? *Livestock Science*, v. 250, p. 104594, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104594>.

RECKMANN, K.; TRAULSEN, I.; KRIETER, J. Environmental Impact Assessment – methodology with special emphasis on European pork production. *Journal of Environmental Management*, v. 107, p. 102-109, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.015>.

RECKMANN, K.; KRIETER, J. Environmental impacts of the pork supply chain with regard to farm performance. *The Journal of Agricultural Science*, v. 153, n. 3, p. 411-421, 27 jun. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s0021859614000501>.

RESENDE, Vitor José de Andrade *et al.* Eficácia da adição de prebiótico na modulação da resposta imune de cadelas no pós-parto. *Pubvet*, v. 16, n. 6, p. 19, jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v16n06a1126.1-9>.

RIGOLOT, C. *et al.* Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part I: animal excretion and enteric CH₄, effect of feeding and performance. *Animal*, v. 4, n. 8, p. 1401-1412, 2010a. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731110000492>.

RIGOLOT, C. *et al.* Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Animal*, v. 4, n. 8, p. 1413-1424, 2010b. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731110000509>.

RÖÖS, Elin *et al.* Can carbon footprint serve as an indicator of the environmental impact of meat production? *Ecological Indicators*, v. 24, p. 573-581, jan. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.08.004>.

SMITH, Lindsay I. A tutorial on principal components analysis. 2002. Disponível em:

<https://ourarchive.otago.ac.nz/bitstream/handle/10523/7534/OUCS200212.pdf>.

Acesso em Janeiro de 2024.

SUMNER, T.; SHEPHARD, E.; BOGLE, I. D. L. A methodology for global sensitivity analysis of time-dependent outputs in systems biology modelling. *Journal of The Royal Society Interface*, v. 9, n. 74, p. 2156-2166, 4 abr. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsif.2011.0891>.

TEAM, R Core. RStudio: integrated development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. 2015. Disponível em: <http://www.rstudio.com>. Acesso em Janeiro de 2024.

TEAM, R Core. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em Janeiro de 2024.

YANG, Pan *et al.* Carbon Footprint of the Pork Product Chain and Recent Advancements in Mitigation Strategies. *Foods*, v. 12, n. 23, p. 4203, 22 nov. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12234203>.

ZORTEA, Rafael Batista. (2015). Avaliação da Sustentabilidade do Biodiesel da Soja no Rio Grande do Sul: uma abordagem de ciclo de vida. Porto Alegre. 213f. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisa Hidráulicas – UFRGS. 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/129810>. Acesso em janeiro de 2024.

Anexo 1 – Inventário do Ciclo de vida dos 61 indivíduos da Análise de Componentes principais.

BR_ Ind.			PSys.	AFAI_ days	RTE	Ab	WTEI	FR	FSY	NPD	GL	LBPF	BWP	MRP	NWS	LL	WPW	WPWY	AP	CO ₂ eq_ WT	CO ₂ eq_ total
Years	Region																				
1	2016	2	11	231.250	7.545	1.252	6.460	86.815	2.317	15.403	114.913	12.744	1.387	7.583	11.726	28.427	7.332	199.366	2.481	0.505	2.986
2	2016	3	11	237.350	8.182	1.960	6.257	84.868	2.380	15.940	115.000	12.372	1.453	8.450	11.212	23.053	5.743	153.162	3.138	0.657	3.795
3	2016	4	11	247.590	5.849	1.406	6.412	88.327	2.409	13.095	115.071	13.213	1.322	9.991	11.875	23.684	6.019	172.495	2.855	0.598	3.453
4	2016	2	22	232.911	8.383	1.483	6.498	85.102	2.338	17.074	115.018	12.557	1.399	9.006	11.379	24.455	6.530	173.573	2.780	0.577	3.357
5	2016	3	22	225.312	8.020	1.613	6.363	86.100	2.378	16.650	114.860	12.210	1.377	11.048	10.780	23.326	5.975	153.111	3.154	0.659	3.812
6	2016	4	22	232.094	7.267	1.635	6.469	86.438	2.373	15.748	115.029	12.592	1.365	10.358	11.237	24.018	5.933	157.843	3.079	0.642	3.721
7	2016	5	22	233.890	10.108	1.570	8.272	86.482	2.316	20.314	114.246	12.308	1.302	7.182	11.416	24.378	6.344	165.487	2.861	0.590	3.451
8	2016	1	33	238.390	14.425	3.030	9.690	75.985	2.115	36.055	113.700	10.655	1.395	10.775	9.525	26.805	5.760	115.288	3.817	0.777	4.594
9	2016	2	33	237.884	7.777	1.488	6.022	86.675	2.366	15.571	114.869	12.717	1.415	8.617	11.585	24.210	6.467	177.111	2.739	0.571	3.310
10	2016	3	33	239.149	6.996	2.002	6.324	87.253	2.405	14.604	114.934	12.742	1.382	8.208	11.638	22.712	6.036	168.990	2.869	0.604	3.473
11	2016	4	33	237.885	7.496	1.885	6.299	85.718	2.366	16.995	114.667	12.435	1.353	9.373	11.196	23.241	5.933	157.133	3.029	0.637	3.666
12	2016	5	33	237.277	10.224	2.218	6.719	79.665	2.344	18.433	114.732	12.069	1.370	8.943	10.931	23.567	6.069	155.866	3.083	0.643	3.725
13	2017	2	11	227.480	7.467	1.341	6.366	87.536	2.335	14.042	114.965	12.993	1.360	7.547	11.992	27.459	7.337	205.525	2.270	0.454	2.724
14	2017	3	11	235.583	5.583	1.603	5.555	89.636	2.445	12.172	114.998	12.656	1.343	9.593	11.356	22.908	5.698	158.717	2.843	0.549	3.392
15	2017	4	11	240.101	6.532	1.412	6.371	88.757	2.426	11.222	114.895	13.662	1.296	9.737	12.329	24.194	5.936	177.754	2.554	0.525	3.079
16	2017	2	22	232.073	8.240	1.683	6.374	86.459	2.351	16.008	115.108	12.805	1.375	9.106	11.613	24.356	6.541	178.405	2.539	0.504	3.044
17	2017	3	22	226.358	6.701	1.881	5.722	88.233	2.431	13.534	114.795	12.334	1.349	11.098	10.888	22.832	5.986	159.251	2.843	0.551	3.393
18	2017	4	22	241.476	7.115	1.905	6.264	87.543	2.393	14.577	115.004	12.679	1.338	10.538	11.331	23.598	5.700	154.707	2.914	0.587	3.501
19	2017	5	22	236.690	17.860	3.060	7.260	75.450	2.290	19.740	114.580	12.100	1.450	10.310	10.980	23.260	5.700	143.322	2.863	0.567	3.430
20	2017	1	33	233.600	16.130	0.660	7.730	74.150	2.150	32.750	114.450	11.050	1.300	11.710	9.760	23.470	5.630	118.140	3.608	0.672	4.280
21	2017	2	33	234.821	7.204	1.615	5.784	87.269	2.378	14.366	114.933	12.846	1.377	8.510	11.701	24.275	6.496	180.650	2.484	0.498	2.982
22	2017	3	33	239.782	6.443	1.798	6.503	88.284	2.405	14.018	115.057	13.089	1.360	8.374	11.925	22.900	6.058	173.835	2.541	0.514	3.055
23	2017	4	33	242.146	7.930	1.821	6.324	85.314	2.377	15.996	114.670	12.657	1.359	9.474	11.371	23.379	5.886	159.273	2.779	0.552	3.331
24	2017	5	33	242.559	10.883	2.161	7.105	83.913	2.367	16.983	114.392	12.295	1.395	8.170	11.228	23.722	6.115	162.683	2.743	0.547	3.289
25	2018	2	11	228.814	8.122	1.379	6.397	87.273	2.331	14.393	115.048	13.070	1.360	8.023	11.991	27.218	7.279	203.611	2.456	1.040	3.496

26	2018	3	11	240.868	7.119	1.559	6.055	88.138	2.390	14.603	115.198	13.156	1.405	9.205	11.896	23.317	6.066	172.373	2.845	1.232	4.077
27	2018	4	11	248.021	6.063	1.409	6.185	89.546	2.444	10.858	114.991	13.934	1.282	9.118	12.660	23.395	5.941	183.677	2.704	1.125	3.829
28	2018	2	22	231.459	8.388	1.612	6.345	87.060	2.353	15.259	115.163	12.983	1.366	8.753	11.805	24.928	6.647	184.348	2.628	1.091	3.719
29	2018	3	22	238.043	7.909	1.903	6.112	86.842	2.390	15.405	115.041	12.922	1.357	8.979	11.766	23.225	6.110	173.265	2.902	1.264	4.166
30	2018	4	22	227.725	5.427	1.618	5.604	90.065	2.442	11.925	114.670	13.211	1.332	9.812	11.870	22.949	5.794	167.530	2.929	1.184	4.113
31	2018	5	22	241.938	9.186	1.972	7.158	86.140	2.370	16.094	114.468	12.764	1.360	9.384	11.552	23.516	5.858	161.885	3.063	1.267	4.329
32	2018	1	33	212.093	13.157	1.010	7.530	79.120	2.217	26.493	115.297	11.300	1.350	10.507	10.140	24.280	6.140	137.594	3.363	1.173	4.536
33	2018	2	33	236.549	8.200	1.626	5.970	87.569	2.372	14.423	115.082	13.072	1.380	9.211	11.809	24.516	6.459	180.997	2.717	1.108	3.825

34	2018	3	33	239.779	7.334	1.939	6.376	87.865	2.383	15.290	115.124	13.094	1.355	9.376	11.808	23.314	5.989	168.738	2.911	1.162	4.073
35	2018	4	33	242.093	7.399	1.882	6.294	87.088	2.389	14.474	114.870	13.183	1.363	9.437	11.857	23.400	5.951	168.711	2.896	1.166	4.063
36	2018	5	33	244.920	13.048	2.440	8.429	80.587	2.268	24.056	114.684	12.150	1.372	8.518	11.058	24.500	6.182	155.783	3.077	1.241	4.318
37	2019	2	11	227.575	8.722	1.308	6.546	86.915	2.320	15.039	115.081	13.240	1.346	8.066	12.153	27.284	7.259	204.838	2.213	0.682	2.895
38	2019	3	11	236.557	7.991	2.005	6.462	86.994	2.336	17.642	115.234	13.071	1.382	11.269	11.497	23.920	5.776	155.474	2.607	0.802	3.409
39	2019	4	11	234.304	8.442	1.710	5.993	86.156	2.384	15.583	114.977	13.619	1.283	9.589	12.244	23.105	5.747	167.160	2.594	0.805	3.400
40	2019	5	11	241.360	16.350	2.040	7.845	77.470	2.185	28.535	115.205	12.070	1.320	5.785	11.390	24.555	6.425	159.925	2.656	0.931	3.587
41	2019	2	22	231.793	8.328	1.447	6.303	87.165	2.351	15.231	115.133	13.076	1.363	9.015	11.836	24.984	6.636	184.496	2.374	0.731	3.106
42	2019	3	22	234.258	8.749	1.678	6.349	87.249	2.386	16.035	115.165	12.594	1.336	12.081	11.001	23.388	5.649	147.952	2.766	0.853	3.619
43	2019	4	22	226.470	6.628	1.589	5.559	89.668	2.440	11.800	114.707	13.407	1.325	10.212	12.004	22.906	5.646	165.217	2.715	0.849	3.564
44	2019	5	22	242.791	12.081	1.823	7.714	82.083	2.277	22.246	114.561	12.654	1.473	12.179	11.046	25.014	6.437	162.015	2.685	0.859	3.544
45	2019	1	33	229.563	15.697	3.587	6.933	74.087	2.253	24.800	114.920	11.927	1.413	8.260	10.883	23.017	5.583	137.081	2.806	0.867	3.672
46	2019	2	33	237.980	8.254	1.523	6.275	86.818	2.353	15.671	114.998	13.248	1.372	9.468	11.917	24.625	6.468	181.297	2.408	0.741	3.149
47	2019	3	33	239.211	7.152	1.908	6.164	88.030	2.393	14.130	115.147	13.328	1.357	9.176	12.036	23.493	6.077	175.000	2.642	0.820	3.462
48	2019	4	33	241.309	7.729	1.831	6.687	87.432	2.386	14.810	114.976	13.423	1.360	10.362	11.925	23.389	6.005	170.885	2.695	0.837	3.531
49	2019	5	33	241.946	11.642	2.344	7.379	82.670	2.313	20.065	114.827	12.336	1.353	9.091	11.183	24.221	6.174	159.725	2.767	0.846	3.613
50	2020	2	11	227.019	7.384	1.180	6.231	87.943	2.339	13.560	115.152	13.611	1.348	8.084	12.481	27.301	7.248	211.632	2.391	0.654	3.045

51	2020	3	11	234.481	5.991	1.899	6.384	90.267	2.407	12.779	115.592	13.887	1.301	12.095	12.099	22.954	5.423	158.956	2.701	0.778	3.479
52	2020	4	11	228.506	6.527	1.325	5.617	88.439	2.458	10.718	114.888	14.121	1.274	9.638	12.763	22.791	5.474	171.723	2.931	0.806	3.736
53	2020	2	22	231.779	7.965	1.407	6.420	87.010	2.340	15.498	115.207	13.310	1.353	9.337	12.012	25.395	6.754	189.610	2.553	0.702	3.255
54	2020	3	22	234.356	8.167	1.899	6.599	86.920	2.367	16.045	115.258	12.723	1.319	11.336	11.209	23.376	5.986	158.834	2.841	0.807	3.649
55	2020	4	22	225.788	6.253	1.692	5.661	89.639	2.438	11.812	114.862	13.612	1.322	9.880	12.221	22.747	5.703	169.515	2.898	0.817	3.715
56	2020	5	22	239.743	12.743	2.443	9.007	79.677	2.233	26.207	114.795	12.862	1.428	10.438	11.500	25.445	6.355	164.463	3.082	0.837	3.919
57	2020	1	33	223.727	10.090	2.000	7.367	80.790	2.340	18.827	114.570	12.897	1.437	9.597	11.460	22.770	5.493	147.751	3.062	0.914	3.976
58	2020	2	33	240.044	7.743	1.534	6.167	86.814	2.350	15.646	115.111	13.474	1.365	9.694	12.120	24.834	6.559	186.785	2.577	0.713	3.289
59	2020	3	33	240.181	7.165	1.877	6.041	87.893	2.392	13.882	115.227	13.661	1.356	9.161	12.356	23.493	6.114	180.659	2.785	0.778	3.563
60	2020	4	33	240.785	7.668	1.892	6.049	86.553	2.372	15.781	115.082	13.612	1.337	10.267	12.169	23.200	5.973	172.802	2.857	0.801	3.659
61	2020	5	33	239.185	11.390	2.336	7.503	82.513	2.300	21.043	114.826	12.543	1.358	8.344	11.442	24.015	6.174	163.034	2.902	0.816	3.718

Ind. – Indivíduos; Years – Anos; BR_Region – Regiões brasileiras (Norte – 1, Sul – 2, Sudeste – 3, Centro-Oeste – 4 e Nordeste – 5); Psystems – Sistemas de produção (Unidades Produtoras de Desmamados – 11, Unidades Produtoras de Leitões – 22 e Unidades de Ciclo Completo – 33); AFAI – Idade em dias da marrã na primeira cobertura; RTE - % de retorno de cio; Ab - % de aborto; WTEI – Intervalo desmame-estro; FR – Taxa de parto (%) FSY – Partos/fêmea/ano; NPD – Dias não-produtivos; GL – Período de gestação; LBPF – Quantidade de leitões nascidos vivos por parto; BW – Peso do leitão neonato no momento do nascimento; MR – Taxa que quantifica os leitões mortos durante o período lactente; NWS – Números de leitões que uma matriz desmama em cada lactação/ciclo; LL – Período de lactação; WPW – Peso do leitão no dia do desmame; WPWY – Volume em kg de leitões que uma matriz desmama por ano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A suinocultura brasileira se caracteriza pela utilização de diversas tecnologias em diferentes etapas, que, à primeira vista, podem parecer desconectadas e sem um propósito único, mesmo que o objetivo final da cadeia suinícola seja a produção de carne. Essa fragmentação, apesar de dificultar o entendimento dos processos, oportuniza uma avaliação precisa do impacto ambiental da cadeia produtiva como um todo.
- A suinocultura brasileira vive um momento de transformação. A mudança tecnológica na produção, aliada ao empenho dos Órgãos Públicos em incentivar a sustentabilidade, abre um horizonte de oportunidades para o setor.
- Embora o Brasil tenha se destacado nos estudos sobre impactos ambientais e no desenvolvimento de tecnologias para a suinocultura, ainda há uma lacuna de conhecimento sobre os resultados específicos do uso dessas tecnologias em conjunto.
- Metodologias para a ACV na suinocultura foram desenvolvidas, mas aplicadas de forma separada em diferentes estudos. Isso impede a compreensão de como essas tecnologias se integram e qual seria o impacto ambiental da produção se fossem avaliadas em conjunto.
- A construção do Inventário de Ciclo de Vida da suinocultura brasileira revelou um panorama complexo e desafiador. A ACV como ferramenta mostrou-se abrangente e detalhada exigindo um conhecimento profundo de cada etapa da produção, desde a criação dos animais até o descarte de seus dejetos. - A Análise de Componentes Principais (ACP) revelou um novo panorama para a suinocultura, evidenciando a relação entre indicadores reprodutivos e a produção de leitões desmamados e emissões de gases de efeito estufa (GEE). - A pesquisa científica assume um papel fundamental. Estudos como o apresentado demonstram o potencial da suinocultura brasileira para se tornar um modelo de produção sustentável. Para que esse potencial seja plenamente aproveitado, é necessário fortalecer a ponte entre a ciência e a iniciativa privada.

