

Idael Matheus Góes Lopes
Marcelo Dourado de Lima
Karine Aparecida Rodrigues de Souza
Camilla Mariane Menezes Souza
(Orgs.)

ZOOTECNIA APLICADA

TECNOLOGIAS, EFICIÊNCIA PRODUTIVA E SUSTENTABILIDADE



científica digital



CIENTÍFICA DIGITAL EDITORIAL LTDA

Barueri - São Paulo - Brasil
www.cientificadigital.org - contato@cientificadigital.org

Diagramação e Arte	Edição © 2026 Científica Digital
Diego Santos	Texto © 2026 Os Autores
Diogo Lima	1ª Edição - 2026
Imagens da Capa	Acesso Livre - Open Access
Adobe Stock - 2026	

© COPYRIGHT - TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. A editora detém os direitos autorais sobre a edição e o projeto gráfico, enquanto os autores mantêm os direitos autorais de seus respectivos textos. Esta obra está licenciada sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional, permitindo o download e compartilhamento integral ou parcial, desde que a fonte seja devidamente citada e os créditos atribuídos aos autores. É obrigatório que a obra permaneça em formato de Acesso Livre (Open Access), sem qualquer alteração. A catalogação em plataformas de acesso restrito ou com fins comerciais é estritamente proibida.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Z87

Zootecnia aplicada: tecnologias, eficiência produtiva e sustentabilidade / Organização de Idael Matheus Góes Lopes, Marcelo Dourado De Lima, Karine Aparecida Rodrigues de Souza, et al. – Barueri/SP: Científica Digital, 2026.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui Bibliografia
ISBN 978-65-6155-214-1
DOI 10.37885/978-65-6155-214-1

1. Zootecnia. 2. Sustentabilidade. I. Lopes, Idael Matheus Góes (Organizador). II. Lima, Marcelo Dourado De (Organizador). III. Souza, Karine Aparecida Rodrigues de (Organizadora). IV. Título.

CDD 636

Elaborado por Janaína Ramos – CRB-8/9166

Índice para catálogo sistemático:
I. Zootecnia

E-BOOK

ACESSO LIVRE ON LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2026

Idael Matheus Góes Lopes
Marcelo Dourado De Lima
Karine Aparecida Rodrigues de Souza
Camilla Mariane Menezes Souza
(Orgs.)

**Zootecnia Aplicada:
Tecnologias, Eficiência Produtiva e
Sustentabilidade**

1ª EDIÇÃO



científica digital

2026 - BARUERI - SP

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho
Prof. Dr. Antônio Marcos Mota Miranda
Prof^a. Ma. Auristela Correa Castro
Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Cordeiro
Prof. Dr. Carlos Alexandre Oelke
Prof^a. Dra. Caroline Nóbrega de Almeida
Prof^a. Dra. Clara Mockdece Neves
Prof^a. Dra. Claudia Maria Rinhel-Silva
Prof^a. Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Prof. Dr. Cristiano Marins
Prof^a. Dra. Cristina Berger Fadel
Prof. Dr. Daniel Luciano Gevehr
Prof. Dr. Diogo da Silva Cardoso
Prof. Dr. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes
Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
Prof^a. Dra. Fernanda Rezende
Prof. Dr. Flávio Aparecido de Almeida
Prof^a. Dra. Francine Náthalie Ferraresi Queluz
Prof^a. Dra. Geuciane Felipe Guerim Fernandes
Prof. Dr. Humberto Costa

Prof. Dr. Joachin Melo Azevedo Neto
Prof. Dr. Jónata Ferreira de Moura
Prof. Dr. José Aderval Aragão
Prof. Me. Julianno Pizzano Ayoub
Prof. Dr. Leonardo Augusto Couto Finelli
Prof. Dr. Luiz Gonzaga Lapa Junior
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva
Prof^a. Dra. Maria Cristina Zago
Prof^a. Dra. Maria Otília Zangão
Prof. Dr. Mário Henrique Gomes
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes
Prof. Dr. Nelson J. Almeida
Prof. Dr. Pedro Afonso Cortez
Prof. Dr. Reinaldo Pacheco dos Santos
Prof. Dr. Rogério de Melo Grillo
Prof^a. Dra. Rosenery Pimentel Nascimento
Prof. Dr. Rossano Sartori Dal Molin
Prof. Me. Silvio Almeida Junior
Prof^a. Dra. Thays Zigante Furlan Ribeiro
Prof. Dr. Wescley Viana Evangelista
Prof. Dr. Willian Carboni Viana
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Acesse a lista completa dos Membros do Conselho Editorial em www.cientificadigital.org/conselho

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra passaram por avaliação do Conselho Editorial e revisão por pares externos (*Peer Review*), recebendo a devida recomendação para publicação.

Nota: Esta obra é fruto de um processo colaborativo, configurando-se como uma coletânea na qual os direitos autorais permanecem resguardados para os respectivos autores. Alguns capítulos podem ter origem em trabalhos anteriormente apresentados em eventos acadêmicos; no entanto, os autores foram orientados a adotar o devido rigor na prevenção do autoplágio. A responsabilidade pelo conteúdo de cada capítulo, assim como pela originalidade e integridade das informações publicadas, é inteiramente dos respectivos autores e autoras. O conteúdo da obra não reflete, necessariamente, a opinião da editora, dos organizadores ou dos membros do conselho editorial.

APRESENTAÇÃO

Esta obra resulta de um esforço colaborativo que reuniu professores, estudantes e pesquisadores, cujo engajamento qualificou as reflexões desenvolvidas neste espaço formativo. Fruto de iniciativas interinstitucionais de incentivo à pesquisa, o livro congrega especialistas de diversas áreas do conhecimento, vinculados a instituições de educação superior públicas e privadas, no Brasil e no exterior.

O objetivo central é fortalecer a integração entre instituições por meio de redes de pesquisa voltadas à formação continuada de profissionais da educação, promovendo a produção e a ampla disseminação do conhecimento.

Agradecemos aos autores pela dedicação e compromisso na construção desta obra, que se propõe a ser um recurso didático-pedagógico relevante para estudantes, docentes de diferentes níveis de ensino e demais interessados na temática.

Idael Matheus Góes Lopes

Marcelo Dourado De Lima

Karine Aparecida Rodrigues de Souza

Camilla Mariane Menezes Souza

SUMÁRIO

Capítulo 01

RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS NA PRODUÇÃO ANIMAL: BASES BIOQUÍMICAS DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E ROTAS TECNOLÓGICAS DE VALORIZAÇÃO

Julia Marixara Sousa da Silva; Weslane Justina da Silva; Ana Maria Vilas Boas Moraes; Lara Vilas Boas Moraes; Stéfane Alves Sampaio; Jessica Cristina Alvarenga; Josilene Silva Sousa; Cibebe Silva Minafra

doi 10.37885/260321441 9

Capítulo 02

BEM-ESTAR ANIMAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA PRODUÇÃO PECUÁRIA: REVISÃO INTEGRATIVA

Lara Ramos Nunes; Danilo Hécio Alves Guidice Fraga; Lerner Arévalo Pinedo; Vanessa Peripolli; Paula Gabriela da Silva Pires; Pietra Viertel Molinari; Betina Raquel Cunha dos Santos

doi 10.37885/260321467 25

Capítulo 03

INFLUÊNCIA DA EMBALAGEM, TEMPERATURA E TEMPO DE ARMAZENAMENTO NA QUALIDADE INTERNA E EXTERNA DE OVOS COMERCIAIS

Yasmin Barboza Telles Pereira; Geicimara Cristiane Moura Nunes; Wallace Gonçalves da Silva; Sarah Kamilly Peixoto Costa Fernandes; Nikole Cardoso de Souza; Fernanda Santos Andrade; Maria Letícia Martins Costa; Cristina Maria Lima Sá-Fortes; Felipe Gomes da Silva; Fabiana Ferreira

doi 10.37885/260321493 48

Capítulo 04

PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SILAGEM DE FORRAGEIRAS DE INVERNO EM SISTEMAS DE TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA

Ana Aline de Oliveira Kolcheski; Susamara Souza Silva; Monica Bertonecelli; Cassio Silva Matos; Edi Kava Kailer; Jonas Cattelam

doi 10.37885/260421737 65

Capítulo 05

NUTRIÇÃO E BEM-ESTAR ANIMAL: ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA SISTEMAS PRODUTIVOS MAIS EFICIENTES

Luiz Felipe Diniz Aniceto e Silva; Pablinny Nascimento; Stéfane Alves Sampaio; Gabriel Carvalho de Andrade; Nathan Ferreira da Silva; Fabiana Ramos dos Santos; Nicollas Anciutti Cardoso; Stefany Rodrigues Pereira; Wanderson Lopes dos Santos Freitas; Cibebe Silva Minafra

doi 10.37885/260521922 80

Capítulo 06**PERDAS ECONÔMICAS DECORRENTES DE CONDENAÇÕES TOTAIS DE CARCAÇAS SUÍNAS EM ESTABELECIMENTOS SOB SERVIÇO DE INSPEÇÃO FEDERAL EM MATO GROSSO**

Elizama Amorim de Souza; Cássia Aldrin de Mello; Elayne Pereira Rodrigues; Kétura Rízia Silva Franco; Carla Batista Vaz; Ercures Ramágio Rocha Guimarães; Felype Yutaka Yonezawa; Milleny Melo; Gabrielly Silva Oliveira; Jonathan Mádsen dos Santos Almeida

doi 10.37885/260521967 100

Capítulo 07**BEM-ESTAR ANIMAL NA SUINOCULTURA: EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO E TENDÊNCIAS DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA**

Valdemir de Oliveira Jr; Felype Yutaka Yonezawa; Elizama Amorim de Souza; Carla Batista Vaz; Emanuel Bulhões Bezerra; Uriel Francisco de Jesus Silva; Kamila Vitória; Camilly Fernandes da Silva Sovernigo; Cauã dos Santos Carvalho; Janaina Januário da Silva

doi 10.37885/260521969 123

Capítulo 08**QUALIDADE EXTRÍNSECA DE PELES DE CAPRINOS ABATIDOS NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS - MA**

Danilo Pavão Monteiro de Lima; Gabriel Rodrigues Silva; Vítor Manoel Araújo Gomes; Adelmo Teixeira Silva; Carlos Alberto Veras Dias Júnior; Istefanny Rayany Viegas Barbosa; Francisco Carneiro Lima; Hélder Luís Chaves Dias; Danilo Cutrim Bezerra; Nancyleni Pinto Chaves Bezerra

doi 10.37885/260622142 144

Capítulo 09**DA OBSERVAÇÃO VISUAL AO MANEJO BASEADO EM DADOS: A PECUÁRIA DE PRECISÃO EM SISTEMAS LEITEIROS**

Igor Kieling Severo; Douglas Airton Farsen; Alisson Gabriel Savicki; Emanuel Felipe Ludwig; Enzo Ivan Weiss

doi 10.37885/260722329 160

Capítulo 10**ESTUDO MODELO PARA ANÁLISE DE PEDIGREES EM CAVALOS PURO-SANGUE LUSITANOS**

Larissa Yahagi Rodrigues; José Manuel Martins Teixeira Gomes; António Pedro Andrade Vicente; Vítor Hugo da Silva Mendes; Ana Rafael Barbosa de Matos Teixeira; Gustavo Henrique Alberto; Nuno Carolino; Rosa Lino Neto Pereira; Josineudson Augusto II Vasconcelos Silva; Ricardo António da Silva Faria

doi 10.37885/260722342 179

Capítulo 11

**BIOFERTILIZANTES PRODUZIDOS A PARTIR DA CAMA DE GALINHAS CAIPIRAS
POEDEIRAS: BASES BIOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E APLICAÇÕES NA
AGRICULTURA SUSTENTÁVEL**

Adelir José dos Santos; Weslane Justina da Silva; Ana Maria Vilas Boas Moraes; Lara Vilas Boas Moraes; Stéfane Alves Sampaio; Jessica Cristina Alvarenga; Josilene Silva Sousa; Julia Marixara Sousa da Silva; Cibeles Silva Minafra

 10.37885/260822613 **201**

SOBRE OS ORGANIZADORES **226**

ÍNDICE REMISSIVO **228**

RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS NA PRODUÇÃO ANIMAL: BASES BIOQUÍMICAS DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E ROTAS TECNOLÓGICAS DE VALORIZAÇÃO

Julia Marixara Sousa da Silva
Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Weslane Justina da Silva
Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Ana Maria Vilas Boas Moraes
Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Lara Vilas Boas Moraes
Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Stéfane Alves Sampaio
Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Jessica Cristina Alvarenga
Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Josilene Silva Sousa
Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Cibele Silva Minafra
Instituto federal Goiano (IFGOIANO)

RESUMO

Resíduos agropecuários da produção animal, como dejetos, cama, efluentes e sobras orgânicas, apresentam alta carga de matéria orgânica biodegradável e nutrientes. Quando manejados inadequadamente, podem causar eutrofização e redução do oxigênio dissolvido na água, alterar as condições físico-químicas do ambiente, gerar odores e favorecer a proliferação de vetores. Por outro lado, esses resíduos podem ser aproveitados por processos biológicos controlados, principalmente a compostagem e a digestão anaeróbia, com produção de composto orgânico, biogás e digestato. Esta revisão discute os fundamentos bioquímicos da degradação da matéria orgânica e das transformações do carbono e do nitrogênio, destacando como fatores como umidade, aeração, pH, temperatura, relação C/N, alcalinidade e carga orgânica afetam a eficiência, a estabilidade e a qualidade dos produtos. Também aborda os riscos sanitários e ambientais associados ao material de entrada e ao pós-processo. As evidências indicam que, na compostagem, as principais perdas de nitrogênio ocorrem pela volatilização de amônia em condições de alta temperatura e pH elevado, enquanto, na digestão anaeróbia, o desempenho do sistema depende do controle da amônia livre e da manutenção do equilíbrio microbiano. Ao final, propõe-se um modelo de decisão tecnológico baseado na escala produtiva e nas características do resíduo. **Palavras-chave:** dejetos; compostagem; digestão anaeróbia; biogás; economia circular.

INTRODUÇÃO

A intensificação dos sistemas pecuários aumentou a geração e a concentração de resíduos orgânicos, ampliando os desafios ambientais e sanitários, mas também criando oportunidades para seu aproveitamento na produção de energia e na fertilização do solo (PENG *et al.*, 2023). Em sistemas confinados, o manejo inadequado de dejetos e efluentes

pode comprometer a qualidade da água, favorecer patógenos e vetores, gerar odores e elevar a carga de nutrientes e matéria orgânica lançada no ambiente, com riscos à saúde pública e ao abastecimento hídrico (WU *et al.*, 2024).

Do ponto de vista bioquímico, esses resíduos apresentam três componentes principais: matéria orgânica biodegradável, nitrogênio reativo e nutrientes minerais. O termo nitrogênio reativo refere-se às formas biologicamente e quimicamente ativas do nitrogênio, como amônio, amônia, nitrato e compostos orgânicos nitrogenados facilmente transformáveis no ambiente. A matéria orgânica biodegradável atua como substrato para microrganismos em processos aeróbios e anaeróbios (EL ASRI *et al.*, 2022). O nitrogênio reativo pode favorecer volatilização de amônia, eutrofização e instabilidade da digestão anaeróbia (SABINA *et al.*, 2025). Os nutrientes minerais agregam valor agronômico ao composto e ao digestato, mas exigem manejo para evitar acúmulo no solo e perdas por escoamento superficial (KOVAČIĆ *et al.*, 2022). Quando bem manejados, esses resíduos constituem uma matéria-prima estratégica para recuperação de energia e nutrientes com menor impacto ambiental. Apesar dos avanços recentes, ainda há carência de revisões que integrem, de forma aplicada, os fundamentos bioquímicos das transformações da matéria orgânica e do nitrogênio com os critérios de escolha entre rotas tecnológicas de valorização, especialmente em função da escala produtiva e das características do resíduo

DESENVOLVIMENTO

Tipos de resíduos agropecuários e propriedades relevantes

Na produção animal, os principais resíduos gerados incluem dejetos sólidos e semissólidos, dejetos líquidos e efluentes, cama de aviário, sobras de ração,

restos orgânicos e materiais estruturantes, como palha, serragem e bagaço (SHAH *et al.*, 2025; CHEN *et al.*, 2026).

A quantidade e a composição desses resíduos variam conforme a espécie animal, a categoria produtiva, a dieta, o uso de água e o tipo de instalação. Em sistemas a pasto, a deposição é dispersa, dificultando a coleta e limitando o tratamento; em confinamentos e galpões, os resíduos ficam concentrados, favorecendo o tratamento e a valorização (CORIOLETTI *et al.*, 2022).

A escolha da rota de tratamento deve considerar principalmente as propriedades físico-químicas do resíduo, e não apenas sua origem, pois elas determinam o metabolismo microbiano e os riscos do processo (UDDIN *et al.*, 2023). Entre os fatores mais importantes estão umidade, teor de sólidos, biodegradabilidade, nitrogênio, pH, alcalinidade, minerais e salinidade (LEITE *et al.*, 2023; SAAD *et al.*, 2024; YANG *et al.*, 2025; WANG *et al.*, 2023).

Matéria orgânica e frações biodegradáveis

A matéria orgânica biodegradável dos resíduos agropecuários, frequentemente estimada por parâmetros como sólidos voláteis, demanda química de oxigênio (DQO, ou COD do inglês chemical oxygen demand) e carbono orgânico, define o potencial de estabilização e valorização biológica desses materiais, pois reúne compostos passíveis de conversão microbiana em energia e biomassa (JHA *et al.*, 2022). No entanto, essa fração é heterogênea, e sua degradação depende da composição química e da recalcitrância dos compostos (AHMED *et al.*, 2022). Carboidratos solúveis e amido são degradados rapidamente, favorecendo a formação de CO₂, ácidos orgânicos, calor e AGVs (HARIRCHI *et al.*, 2022). Celulose e hemicelulose degradam-se mais lentamente, enquanto a lignina reduz a acessibilidade microbiana, tornando materiais fibrosos menos reativos (GONZALEZ-GONZALEZ *et al.*, 2022). Lipídios têm alto potencial energético, mas, em excesso, podem comprometer a atividade metanogênica e aumentar a instabilidade em biodigestores (HOLOHAN *et al.*, 2022). Proteínas e compostos nitrogenados liberam nitrogênio amoniacal, influenciando

perdas, odores e estabilidade do processo (LEE *et al.*, 2022).

Na compostagem, o nitrogênio pode ser perdido como NH_3 ; na digestão anaeróbia, a amônia livre pode inibir metanogênicos (XU *et al.*, 2023; GONDE, 2023; EFREMENKO *et al.*, 2022).

Impactos do descarte inadequado: explicação bioquímica do dano

No ambiente aquático, o lançamento de resíduos agropecuários adiciona matéria orgânica biodegradável e nutrientes reativos, desencadeando depleção de oxigênio e eutrofização (TIWARI *et al.*, 2022).

A matéria orgânica estimula microrganismos heterotróficos, que consomem oxigênio dissolvido ao degradar o carbono orgânico, aumentando DBO e DQO (LV *et al.*, 2024). Quando esse consumo supera a reaeração natural, ocorre queda do oxigênio dissolvido, favorecendo hipóxia ou anóxia e comprometendo peixes e invertebrados aquáticos (NWEREM *et al.*, 2025).

Ao mesmo tempo, o excesso de nitrogênio e fósforo estimula a proliferação de algas e cianobactérias, aumentando a turbidez e alterando a dinâmica trófica do ecossistema (KHATTAK *et al.*, 2026). A decomposição dessa biomassa intensifica a respiração microbiana e agrava a perda de oxigênio dissolvido (MULOIWA *et al.*, 2024).

No solo, o descarte inadequado favorece microambientes com pouco oxigênio, nos quais predominam fermentações e processos anaeróbios (JANG *et al.*, 2025). Nessas condições, formam-se compostos voláteis responsáveis por odores, putrefação e atração de vetores (ARENIELLO *et al.*, 2024).

A amônia intensifica volatilização, odores e perdas de nitrogênio (CHAMOLI *et al.*, 2024; JIN *et al.*, 2024).

Diante desses impactos, torna-se essencial adotar rotas de tratamento capazes de estabilizar a matéria orgânica, reduzir riscos sanitários e ambientais e recuperar valor a partir dos resíduos. Entre as principais alternativas biológicas aplicadas à produção animal, destacam-se a compostagem e a digestão anaeróbia, que diferem quanto ao metabolismo microbiano, ao destino do carbono e do nitrogênio e aos produtos gerados.

Compostagem: microbiologia, cinética e metabolismo do N e do C

A compostagem é um processo biológico aeróbio de estabilização da matéria orgânica, no qual microrganismos convertem carbono orgânico em CO_2 , H_2O , calor e biomassa microbiana, gerando um material mais estável e agronomicamente útil (SONI; DEVI, 2022). O aumento da temperatura resulta desse metabolismo, pois parte da energia liberada na oxidação do carbono é dissipada como calor, enquanto outra parte é incorporada à biomassa microbiana, refletindo a eficiência metabólica do consórcio microbiano atuante (SPORMANN, 2023). Do ponto de vista microbiológico, a compostagem depende de oxigênio, água e da acessibilidade do substrato às enzimas microbianas (OSHINS *et al.*, 2022). Na fase inicial, predominam compostos de rápida degradação, como açúcares, amido e frações proteicas, com alta respiração microbiana e liberação de CO_2 (BHER *et al.*, 2022). Com o esgotamento desses compostos, aumenta a participação de microrganismos capazes de degradar celulose e hemicelulose, tornando a hidrólise mais limitante (BHATIA *et al.*, 2024; LLIMÓS TURET *et al.*, 2022).

Na maturação, a respiração diminui e o material torna-se mais estável, com menor risco de fermentações indesejáveis e odores (PICCOLO; DROSOS, 2025; GAO *et al.*, 2023). O nitrogênio influencia o valor fertilizante e as perdas do processo, podendo ser volatilizado como NH_3 em alta temperatura e pH (XU *et al.*, 2023; ZHAO *et al.*, 2025).

Digestão anaeróbia: consórcios microbianos, termodinâmica e controle de estabilidade

A digestão anaeróbia (DA) em biodigestores é uma tecnologia que converte resíduos orgânicos sólidos e líquidos em biogás e digestato. Em relação aos processos aeróbios, destaca-se pela recuperação de energia, principalmente na forma de CH_4 , pela redução da carga orgânica e, em muitos casos, pela menor demanda de área operacional (MEEGODA *et al.*, 2025).

Do ponto de vista de engenharia, o sistema envolve uma câmara fechada, na qual as reações ocorrem sem oxigênio, e uma estrutura para armazenamento do biogás.

Ao final, forma-se também um efluente rico em nutrientes com potencial agrônomo, o digestato (KEPRATE *et al.*, 2025).

Na maioria dos casos, o desempenho da DA depende mais do equilíbrio microbiano e da química do meio do que do modelo de biodigestor em si, especialmente em relação ao pH, à alcalinidade, aos ácidos graxos voláteis (AGVs) e à amônia (ABUBAKAR *et al.*, 2022). Microbiologicamente, a DA ocorre em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (SUBRAMANIAN; SURESH, 2024). Na hidrólise, compostos como amido, fibras, proteínas e lipídios são quebrados em moléculas menores.

Em resíduos ricos em fibra e lignina, essa etapa tende a ser limitante, devido à menor acessibilidade do substrato às enzimas (TEACĂ *et al.*, 2023). Na acidogênese, os compostos hidrolisados são fermentados, formando AGVs, CO_2 , H_2 e outros intermediários. Na acetogênese, compostos como propionato e butirato são convertidos em acetato, H_2 e CO_2 . Essa etapa depende do consumo contínuo de H_2 pelas arqueias metanogênicas, pois o acúmulo de hidrogênio compromete sua viabilidade termodinâmica (NUGROHO *et al.*, 2025). Na etapa final, a metanogênese converte acetato e CO_2/H_2 em CH_4 , sendo essencial para a estabilidade do sistema (SMRITHI *et al.*, 2025).

A estabilidade da digestão anaeróbia depende, portanto, do equilíbrio entre essas etapas. Quando a metanogênese é inibida, ocorre acúmulo de H_2 e AGVs, queda do pH e redução da produção de metano, caracterizando instabilidade do reator (MU *et al.*, 2023).

Nessas condições, a alcalinidade deixa de tamponar adequadamente o sistema, intensificando o desequilíbrio (ORLANDO, 2025). Por isso, pH, AGVs e alcalinidade são indicadores centrais de controle.

Entre os principais fatores de risco em dejetos animais, destaca-se a amônia. A degradação de proteínas e ureia aumenta o nitrogênio amoniacal, e a fração de amônia livre (NH_3), mais elevada em pH e temperatura altos, é a mais tóxica para os metanogênicos (ABBASPOUR *et al.*, 2024). A NH_3 atravessa a membrana celular, altera o pH intracelular e aumenta o gasto energético para manter a homeostase, reduzindo a eficiência metabólica (WANG *et al.*, 2024). Na prática, isso leva à menor conversão de intermediários em CH_4 , maior acúmulo de AGVs e queda no teor de metano do biogás (AMBROSE *et al.*, 2025).

Para mitigar esse problema, podem ser adotadas estratégias como codigestão com substratos ricos em carbono, adaptação gradual da carga orgânica, controle do pH e remoção ou recuperação de amônia (LI *et al.*, 2024). Outros fatores que também afetam a estabilidade incluem sobrecarga orgânica, sulfetos e ácidos graxos de cadeia longa (WU *et al.*, 2022).

O biogás, formado principalmente por CH₄ e CO₂, é o principal produto energético da DA. Sua composição reflete o estado fisiológico do reator: em condições estáveis, a produção de CH₄ é maior; em situações de acidificação ou inibição, sua fração diminui (SIHLANGU *et al.*, 2024; WANG *et al.*, 2024).

O digestato, por sua vez, apresenta valor agrônômico por concentrar macro e micronutrientes, embora também exija manejo adequado para evitar perdas por volatilização e lixiviação (KOVAČIĆ *et al.*, 2022; SENEVIRATHNE; KAPARAJU, 2025).

Além disso, riscos residuais podem permanecer, como microrganismos, metais e resíduos farmacêuticos, o que pode exigir pós-tratamentos, como separação sólido-líquido e compostagem da fração sólida (CZATZKOWSKA *et al.*, 2025; FONT-POMAROL *et al.*, 2026).

Em síntese, a digestão anaeróbia é uma tecnologia com alto potencial para transformar resíduos em energia e fertilizante, mas seu sucesso depende do controle bioquímico do processo, especialmente do equilíbrio entre AGVs, pH, alcalinidade e nitrogênio amoniacal.

Compostagem vs. digestão anaeróbia: trade-offs bioquímicos e de engenharia

Compostagem e digestão anaeróbia são duas rotas distintas de tratamento de resíduos agropecuários, com diferenças importantes no destino do carbono, no comportamento do nitrogênio e no nível de controle exigido pelo processo (PENG *et al.*, 2025).

Na compostagem, o carbono orgânico é degradado na presença de oxigênio e convertido, em grande parte, em CO₂, com liberação de calor. O produto tende a ser mais estável, menos reativo e com maior proporção de frações húmicas (LEE; KHOR, 2025).

Na digestão anaeróbia, por outro lado, parte importante do carbono é convertida em metano (CH_4), permitindo recuperação de energia na forma de biogás (QIAN *et al.*, 2025). A digestão anaeróbia depende do equilíbrio entre etapas fermentativas e metanogênicas. Quando esse equilíbrio é perdido, ocorre acúmulo de hidrogênio e ácidos graxos voláteis, queda do pH e redução da produção de metano, caracterizando instabilidade do sistema (WU *et al.*, 2022; HE *et al.*, 2025).

Na compostagem, o principal desafio é manter boa oxigenação e umidade adequada, evitando áreas anaeróbias e garantindo degradação eficiente, elevação de temperatura e maturação do material (AMUAH *et al.*, 2022).

O nitrogênio também diferencia fortemente as duas rotas. Na compostagem, a degradação do nitrogênio orgânico forma NH_4 e, em pH elevado e alta temperatura, aumenta a formação de NH_3 , favorecendo volatilização, redução do valor fertilizante e odores (YU *et al.*, 2025). Na digestão anaeróbia, o nitrogênio tende a ser mais conservado

no digestato, com aumento da fração mineral e maior aproveitamento agrônomo de curto prazo (NYANG'AU *et al.*, 2022).

Assim, a digestão anaeróbia conserva melhor o nitrogênio, mas exige controle; a compostagem é mais simples operacionalmente, porém tende a perder mais N quando o manejo não é adequado (JACOB *et al.*, 2025).

Framework de decisão por escala produtiva

Em pequena escala, a compostagem estruturada tende a ser a alternativa mais adequada, por exigir menor complexidade operacional e permitir boa estabilização dos resíduos quando há controle básico de umidade, porosidade e aeração (MANEA *et al.*, 2024). Nessa condição, é fundamental padronizar o manejo da cama e dos dejetos sólidos,

realizar revolvimento ou aeração conforme a umidade e a compactação, e acompanhar o processo por indicadores simples, como temperatura, odor, aspecto e umidade. A aplicação agrônoma deve ser orientada por análise básica do material e do solo, priorizando pH e matéria orgânica e, quando possível, estimativas de N e P.

Quando houver resíduos mais líquidos e demanda local por energia, biodigestores simplificados podem complementar o sistema, principalmente para geração térmica

e redução de odores, desde que o manejo do digestato minimize perdas de nitrogênio

(MEEGODA *et al.*, 2025).

Em média escala, a digestão anaeróbia contínua tende a ser mais eficiente quando há fluxo regular de resíduos, especialmente com separação sólido-líquido e plano agrônômico baseado no nutriente limitante e na demanda da cultura (SLEPETIENE *et al.*, 2023). Nessa escala, a estabilidade do processo é essencial para garantir retorno energético, o que exige alimentação regular, prevenção de sobrecarga e manutenção da mistura (KABEYI *et al.*, 2024).

A codigestão é útil quando o resíduo principal apresenta alto teor de nitrogênio, pois melhora a relação C/N, reduz o efeito do nitrogênio amoniacal e aumenta a estabilidade microbiana (WANG *et al.*, 2022). No pós-processo, armazenamento coberto e aplicação em momento adequado são fundamentais para reduzir perdas e aumentar a eficiência do digestato (GROBELAK *et al.*, 2025).

Em grande escala, a tendência é adotar plantas de biogás com controle sistemático,

monitorando AGVs/alcalinidade, pH e teor de CH₄ no biogás (PALADINO, 2022). Nessa escala, o manejo do nitrogênio torna-se estratégico para evitar inibição por amônia e aumentar a eficiência, podendo incluir biometano e integração energética externa (AHUJA *et al.*, 2023; HIDALGO *et al.*, 2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resíduos agropecuários da produção animal representam, ao mesmo tempo, um desafio ambiental e uma oportunidade estratégica para sistemas mais sustentáveis. Quando manejados de forma inadequada, podem causar impactos sanitários e ambientais relevantes; porém, quando submetidos a processos adequados, podem ser valorizados como fontes de energia e nutrientes.

Nesse cenário, a compostagem e a digestão anaeróbia se destacam como alternativas eficientes, cuja escolha deve considerar as características do resíduo,

a escala de produção, a estrutura disponível e os objetivos do sistema produtivo. Ambas dependem do controle adequado das variáveis de processo para garantir eficiência, estabilidade e segurança do produto. Assim, a valorização desses resíduos configura-se não apenas como medida de mitigação ambiental, mas como estratégia central para promover economia circular, eficiência produtiva e sustentabilidade na produção animal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal Goiano pelo apoio institucional e pela infraestrutura disponibilizada para a elaboração desta revisão. Agradecem, ainda, às agências de fomento pelo suporte financeiro às pesquisas relacionadas ao manejo, tratamento e aproveitamento de resíduos orgânicos na produção animal.

REFERÊNCIAS

- ABBASPOUR, Mitra *et al.* Recovery of ammonia from agricultural and animal waste. *In: Progresses in Ammonia: Science, Technology and Membranes*. Elsevier, 2024. p. 275-297.
- ABANADES, Stephane *et al.* A conceptual review of sustainable electrical power generation from biogas. **Energy Science & Engineering**, v. 10, n. 2, p. 630-655, 2022.
- ABUBAKAR, Abdulhalim Musa. Biodigester and feedstock type: Characteristic, selection, and global biogas production. **J. Eng. Res. Sci.**, v. 1, n. 3, p. 170-187, 2022.
- AHMED, Banafsha *et al.* New insights into thermal-chemical pretreatment of organic fraction of municipal solid waste: Solubilization effects, recalcitrant formation, biogas yield and energy efficiency. **Fuel**, v. 319, p. 123725, 2022.
- AHUJA, Vishal *et al.* A mini-review on syngas fermentation to bio-alcohols: current status and challenges. **Sustainability**, v. 15, n. 4, p. 3765, 2023.
- AMBROSE, Herald Wilson *et al.* Impact of chemical and biological additives on microbial community and methane emissions in pig slurry storage. *In: 13th International Symposium on Anaerobic Microbiology*. 2025.
- AMUAH, Ebenezer Ebo Yahans *et al.* A review of the principles of composting: understanding the processes, methods, merits, and demerits. **Organic Agriculture**, v. 12, n. 4, p. 547-562, 2022.
- ARENIELLO, Marica *et al.* H₂S-laden biogas triggers sulfur amino acids production in microbial protein synthesized during mixed culture fermentation by methane and sulfur oxidizing bacteria. **Chemical Engineering Journal**, v. 490, p. 151648, 2024.

BAMANIYA, Pinak *et al.* Linking Terrestrial and Aquatic Systems: Pollutant Transport, Bioaccumulation Cycles, and Global Food Security. *In: Plastic Tides: Tackling Plastic Pollution for Global Food Security*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2026. p. 195-228.

BHATIA, Tanya *et al.* A review on cellulose degrading microbes and its applications. **Industrial Biotechnology**, v. 20, n. 1, p. 26-39, 2024.

BHER, Anibal *et al.* Biodegradation of biodegradable polymers in mesophilic aerobic environments. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 20, p. 12165, 2022.

CASTELLANI, Pietro *et al.* Anaerobic digestion or composting? Small-scale plants design and holistic evaluations in a Sub-Saharan African context. **Environmental Development**, v. 51, p. 101008, 2024.

CHAMOLI, Arti *et al.* Ammonia, nitrite transformations and their fixation by different biological and chemical agents. **Chemistry and Ecology**, v. 40, n. 2, p. 166-199, 2024.

CHEN, Jiaping Paul *et al.* Advances in Livestock Waste Treatment. **Industrial Water and Waste Treatment**, p. 195-216.

CORIOLETTI, Níbia Sales Damasceno *et al.* Processos, tipos e usos de biodigestores, no tratamento de resíduos de origem animal. Processes, types and uses of biodigestors, in the treatment of waste of animal origin. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 7, p. 53775-53805, 2022.

CZATZKOWSKA, Małgorzata *et al.* Heavy metal and antimicrobial residue levels in various types of digestate from biogas plants—a review. **Sustainability**, v. 17, n. 2, p. 416, 2025.

DOUGHMI, Ayoub *et al.* Transforming sewage sludge into a safe circular economy agronomic input through (co-) composting: Nutrient value, soil-structure benefits, and contaminant control. **Ecological Engineering & Environmental Technology**, 2026.

EFREMENKO, Elena *et al.* Strategies for variable regulation of methanogenesis efficiency and velocity. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 106, n. 19, p. 6833-6845, 2022.

EL ASRI, Ouahid. Anaerobic biodegradation: the anaerobic digestion process. *In: Handbook of biodegradable materials*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 1-26.

FONT-POMAROL, Jana *et al.* New Trends in the Valorisation of the Solid Fraction of Digestate for the Production of Value-Added Bioproducts. **Processes**, v. 14, n. 3, p. 577, 2026.

GAO, Youhui *et al.* An innovative way to treat cash crop wastes: the fermentation characteristics and functional microbial community using different substrates to produce agricultural Jiaosu. **Environmental Research**, v. 227, p. 115727, 2023.

GONDE, Lonestar. **The effect of pH control on ammonium release in anaerobic digestion**. 2023. Dissertação de Mestrado. University of Pretoria (South Africa).

GONZALEZ-GONZALEZ, M. del R.; MIRANDA-LOPEZ, R. Cellulases, hemicellulases and ligninolytic enzymes: mechanism of action, optimal processing conditions and obtaining value-added compounds in plant matrices. **MOJ Food Processing and Technology**, v. 10, n. 1, p. 30-37, 2022.

GROBELAK, Anna *et al.* Conditioning biomass for biogas plants: Innovative pre-treatment and digestate valorization techniques to enhance soil health and fertility. **Sustainability**, v. 17, n. 8, p. 3289, 2025.

GUEBOUDJI, Zakia. Waste valorization techniques. *In: Generation of Energy from Municipal Solid Waste: Circular Economy and Sustainability*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 29-52.

HARIRCHI, Sharareh *et al.* Microbiological insights into anaerobic digestion for biogas, hydrogen or volatile fatty acids (VFAs): a review. **Bioengineered**, v. 13, n. 3, p. 6521-6557, 2022.

HE, Huiban *et al.* A review of temperature and key parameters influencing the hydrolysis-methanogenesis balance in anaerobic digestion. **Fuel**, v. 394, p. 134927, 2025.

HIDALGO, Dolores *et al.* Waste-Derived Fertilizers: Conversion Technologies, Circular Bioeconomy Perspectives and Agronomic Value. **Agronomy**, v. 15, n. 9, p. 2167, 2025.

HOLOHAN, B. Conall *et al.* Principles, advances, and perspectives of anaerobic digestion of lipids. **Environmental science & technology**, v. 56, n. 8, p. 4749-4775, 2022.

JACOB, Samuel *et al.* Anaerobic digestion-derived digestate valorization: green chemistry innovations for resource recovery and reutilization. **Green Chemistry**, v. 27, n. 25, p. 7472-7505, 2025.

JHA, Shivangi *et al.* A review of thermochemical conversion of waste biomass to biofuels. **Energies**, v. 15, n. 17, p. 6352, 2022.

JANG, Sojeong; IM, Hongrae; JANG, Am. Comparative evaluation of nitrogen removal in moving bed biofilm reactors (MBBRs) treating anaerobic digestion effluent: effect of external carbon source and biocarrier autopsy. **Bioresource Technology**, p. 133175, 2025.

JIN, Yu-Qing *et al.* Role of hydrogen sulfide in health and disease. **MedComm**, v. 5, n. 9, p. e661, 2024.

KABEYI, Moses Jeremiah Barasa; OLANREWAJU, Oludolapo Akanni. Biogas production and applications in the sustainable energy transition. **Journal of Energy**, v. 2022, n. 1, p. 8750221, 2022.

KEPRATE, Arvind *et al.* Biogas Production: Anaerobic Digester Design and Biogas Analysis. *In: Biofuels*. CRC Press, 2025. p. 141-163.

KHATTAK, Waseem Ahmed *et al.* Cyanobacterial Bloom Impacts on Aquatic Food Webs and Ecosystem Services. *In: Cyanobacterial Blooms: Ecology, Evolution and Biogeochemical Impacts: Microbial Dynamics and Global Implications*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2026. p. 217-250.

KIBWIKA, Anthony Kintu; SEO, Il-Hwan; KANG, In-Sun. Quantification of CH₄ and N₂O Fluxes from Piggery Wastewater Treatment System for Emission Factors Development. 2025.

KOVAČIĆ, Đurđica *et al.* Digestate management and processing practices: a review. **Applied Sciences**, v. 12, n. 18, p. 9216, 2022.

KUMAR, Kuldeep; KUMAR, Ravi; CHAUHAN, Dimpal. Impacts of nitrogen pollution on soil properties. *In: Nonpoint Source Nitrogen Pollution*. Elsevier, 2026. p. 277-288.

LEE, Boon Hong; KHOR, Sook Mei. Biodegradation versus composting. *In: Handbook of biodegradable materials*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 1-34.

LEITE, S. A. F. *et al.* The effects of agitation in anaerobic biodigesters operating with substrates from swine manure and rice husk. **Chemical Engineering Journal**, v. 451, p. 138533, 2023.

LI, Mingxiu *et al.* Microbial functional metabolism drives the effects of exogenous additives on carbon storage and degradation during aerobic composting. **Frontiers in Environmental Science**, v. 12, p. 1396099, 2024.

LI, Xiaoyong *et al.* A comprehensive review of the strategies to improve anaerobic digestion: their mechanism and digestion performance. **Methane**, v. 3, n. 2, p. 227-256, 2024.

LLIMÓS TURET, Jordi *et al.* Lignocellulolytic enzymes production via Solid-State Fermentation of agroindustrial residues: process optimization and application. 2022.

LIU, Yan *et al.* A global meta-analysis of greenhouse gas emissions and carbon and nitrogen losses during livestock manure composting: Influencing factors and mitigation strategies. **Science of the Total Environment**, v. 885, p. 163900, 2023.

LV, Zongqing *et al.* Effectiveness of chemical oxygen demand as an indicator of organic pollution in aquatic environments. **Ocean-Land-Atmosphere Research**, v. 3, p. 0050, 2024.

MANEA, Elena Elisabeta *et al.* Composting as a sustainable solution for organic solid waste management: Current practices and potential improvements. **Sustainability**, v. 16, n. 15, p. 6329, 2024.

MARIAPPAN, Iyyadurai *et al.* Exploring cutting-edge approaches in anaerobic digestion and anaerobic digestate management. **ChemBioEng Reviews**, v. 11, n. 3, p. 573-594, 2024.

MCKENZIE, Imanni *et al.* Comparative Review of Aerobic and Anaerobic Composting for the Reduction of Organic Waste. **Agricultural Reviews**, v. 43, n. 2, 2022.

MEEGODA, Jay N.; CHANDE, Charmi; BAKSHI, Ishani. Biodigesters for sustainable food waste management. **International journal of environmental research and public health**, v. 22, n. 3, p. 382, 2025.

MU, Lan *et al.* Emerging strategies for enhancing propionate conversion in anaerobic digestion: A review. **Molecules**, v. 28, n. 9, p. 3883, 2023.

MULOIWA, Mpho; ZVINOWANDA, Caliphs; SIBIYA, Innocentia Velaphi. The effect of microbes and dissolved oxygen concentration on inorganic and organic substances elimination in a climate changing environment: The aerobic bioreactor. **Environmental Challenges**, v. 17, p. 101021, 2024.

NUGROHO, Wahyunanto Agung *et al.* Exploring the mechanisms of supplemented CO₂ in enhancing methane production in anaerobic digestion process, a review. **Bioengineered**, v. 16, n. 1, p. 2531667, 2025.

NYANG'AU, Jared Onyango; MØLLER, Henrik Bjarne; SØRENSEN, Peter. Nitrogen dynamics and carbon sequestration in soil following application of digestates from one-and two-step anaerobic digestion. **Science of the Total Environment**, v. 851, p. 158177, 2022.

NWEREM, Judith Ogechukwu *et al.* Impact of industrial effluent on the self-purification characteristics and oxygen sag level of Ajali River, South east Nigeria. **PLoS Water**, v. 4, n. 4, p. e0000320, 2025.

OMAR, Abdullah *et al.* Advances in nitrogen-rich wastewater treatment: a comprehensive review of modern technologies. **Sustainability**, v. 16, n. 5, p. 2112, 2024.

ORLANDO, Meneses-Quelal. Design Implications of Headspace Ratio VHS/V tot on Pressure Stability, Gas Composition and Methane Productivity—A Systematic Review. **Energies**, v. 19, n. 1, p. 193, 2025.

OSHINS, Cary *et al.* The composting process. *In*: **The composting handbook**. Academic Press, 2022. p. 51-101.

OYEBIYI, Oluwatoyosi O. *et al.* Organic Amendments for Sustainable Agriculture: Effects on Soil Function, Crop Productivity and Carbon Sequestration Under Variable Contexts. **C**, v. 12, n. 1, p. 7, 2026.

OVURU, Kurotimipa Frank *et al.* Slaughterhouse facilities in developing nations: Sanitation and hygiene practices, microbial contaminants and sustainable management system. **Food Science and Biotechnology**, v. 33, n. 3, p. 519-537, 2024.

PALADINO, Ombretta. Data driven modelling and control strategies to improve biogas quality and production from high solids anaerobic digestion: A mini review. **Sustainability**, v. 14, n. 24, p. 16467, 2022.

PENG, Hao *et al.* Life cycle assessment of the integrating system of anaerobic digestion and aerobic composting for treating rural organic solid waste. **Environmental Technology & Innovation**, p. 104487, 2025.

PENG, Xiaoxuan *et al.* Recycling municipal, agricultural and industrial waste into energy, fertilizers, food and construction materials, and economic feasibility: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 21, n. 2, p. 765-801, 2023.

PICCOLO, Alessandro; DROSOS, Marios. The essential role of humified organic matter in preserving soil health. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 12, n. 1, p. 21, 2025.

PILARSKI, K. *et al.* Kinetics and Energy Yield in Anaerobic Digestion: Effects of Substrate Composition and Fundamental Operating Conditions. **Energies** 2025, v.18, 18 (23), 6262 [em linha]. 2025.

QIAN, Shiqing *et al.* Research on methane-rich biogas production technology by anaerobic digestion under carbon neutrality: A review. **Sustainability**, v. 7, n. 4, p. 1425, 2025.

SAAD, Said AA; MHARB, Faeza; ALDAREH, Mahboba. Basic Biodegradability Assessments (Aerobic/ Anaerobic). **African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences**, p. 419-426, 2024.

SABINA, Rd *et al.* Synthetic nitrogen fertilizer pollution: global concerns and sustainable mitigating approaches. *In: Agricultural nutrient pollution and climate change: Challenges and opportunities*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. p.57-101.

SENEVIRATHNE, Nimesha; KAPARAJU, Prasad. Enhancing the Agronomic Value of Anaerobic Digestate: A Review of Current vs. Emerging Technologies, Challenges and Future Directions. **Agriculture**, 2025.

SHAH, Ali Mujtaba *et al.* The vital roles of agricultural crop residues and agroindustrial by-products to support sustainable livestock productivity in subtropical regions. **Animals**, v. 15, n. 8, p. 1184, 2025.

SIHLANGU, Ephodia *et al.* Investigating methane, carbon dioxide, ammonia, and hydrogen sulphide content in agricultural waste during biogas production. **Sustainability**, v. 16, n. 12, p. 5145, 2024.

SLEPETIENE, Alvyra *et al.* Solid and liquid phases of anaerobic digestate for sustainable use of agricultural soil. **Sustainability**, v. 15, n. 2, p. 1345, 2023.

SMRITHI, Vemula; SINGH, Shalini; MOHAN, S. Venkata. Biogas upgrading via hydrogenotrophic methanogenesis and hematite-GAC assisted in-situ CO₂-to-CH₄ conversion. **Chemical Engineering Journal**, p. 170830, 2025.

SONI, Sanjiv K.; SONI, Raman. Nutrient recovery and soil enrichment: Sustainable practices for resource recycling. *In: Green biorefinery solutions: Transforming biodegradable waste into resources*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025. p. 209-248.

SPORMANN, Alfred M. **Principles of microbial metabolism and metabolic ecology**. Springer, 2023.

SUBRAMANIAN, Kathiresan; SURESH, Kagne. Metabolic and biochemical pathways for anaerobic digestion. *In: Anaerobes and waste conversion technologies*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p.3-25.

TEACĂ, Carmen-Alice *et al.* In-Soil Degradation of Polymer Materials Waste-A Survey of Different Approaches in Relation with Environmental Impact. **BioResources**, v. 18, n. 1, 2023.

- TIWARI, Amit K.; PAL, Dan B. Nutrients contamination and eutrophication in the river ecosystem. *In: Ecological significance of river ecosystems*. Elsevier, 2022. p. 203-216.
- UDDIN, Md Mosleh; WRIGHT, Mark Mba. Anaerobic digestion fundamentals, challenges, and technological advances. **Physical Sciences Reviews**, v. 8, n. 9, p. 2819-2837, 2023.
- WANG, Lawrence K. *et al.* Composting processes for disposal of municipal and agricultural solid wastes. *In: Solid Waste Engineering and Management: Volume 1*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 399-523.
- WANG, Liqin *et al.* The active role of metabolic regulators in nitrogen loss reduction and organic nitrogen transformation during different materials composting. **Journal of Cleaner Production**, v. 345, p. 131134, 2022.
- WANG, Ming *et al.* Low-temperature pretreatment of biomass for enhancing biogas production: a review. **Fermentation**, v. 8, n. 10, p. 562, 2022.
- WANG, Yue *et al.* Responses of CH₄, N₂O, and NH₃ emissions to different slurry pH values of 5.5–10.0: Characteristics and mechanisms. **Environmental Research**, v. 234, p. 116613, 2023.
- WANG, Zhongzhong; YIN, Qidong; WU, Guangxue. Ammonia-induced inhibition and its alleviation strategies in anaerobic digestion ecosystems. *In: Anaerobic Digestion: Fundamentals, Modelling, and Applications*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 97-116.
- WU, Di *et al.* Thermodynamics of volatile fatty acid degradation during anaerobic digestion under organic overload stress: the potential to better identify process stability. **Water research**, v. 214, p. 118187, 2022.
- WU, Xiaomei *et al.* Environmental health hazards of untreated livestock wastewater: potential risks and future perspectives. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, n. 17, p. 24745-24767, 2024.
- XU, Zhiming *et al.* Mechanisms and effects of novel ammonifying microorganisms on nitrogen ammonification in cow manure waste composting. **Waste Management**, v. 169, p. 167-178, 2023.
- YANG, J. *et al.* Ammonia inhibition in anaerobic digestion of organic waste: a review. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 22, n. 5, p. 3927-3942, 2025.
- YU, Ying *et al.* Unveiling the nitrogen metabolism mechanism for nitrogen retention in compost via in-situ ammonia recycling strategy. **Journal of Environmental Management**, v. 379, p. 124863, 2025.
- ZHAO, Lin *et al.* Nitrogen transformation mechanisms and compost quality assessment in sustainable mesophilic aerobic composting of agricultural waste. **Sustainability**, v. 17, n. 2, p. 575, 2025.

BEM-ESTAR ANIMAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA PRODUÇÃO PECUÁRIA: REVISÃO INTEGRATIVA

Lara Ramos Nunes

Universidade Federal do Recôncavo Baiano

Danilo Hécio Alves Guidice Fraga

Universidade Federal de Sergipe

Lerner Arévalo Pinedo

Universidade Federal do Recôncavo Baiano

Vanessa Peripolli

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense

Paula Gabriela da Silva Pires

Universidade de São Paulo

Pietra Viertel Molinari

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense

Betina Raquel Cunha dos Santos

Embrapa Caprinos e Ovinos

RESUMO

O bem-estar animal consolidou-se como componente estratégico da produção pecuária contemporânea e elemento central no debate sobre a sustentabilidade dos sistemas alimentares. No contexto da Agenda 2030, a produção animal passou a ser analisada não apenas sob a perspectiva produtiva, mas também em sua capacidade de contribuir para metas globais relacionadas à segurança alimentar, saúde pública, padrões responsáveis de produção e conservação ambiental. Apesar do crescimento da literatura sobre o tema, permanecem lacunas na integração conceitual entre bem-estar animal, sustentabilidade e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Esta revisão narrativa de caráter integrativo, baseada em publicações científicas revisadas por pares em inglês e português, com recorte temporal prioritário das últimas duas décadas e seleção por relevância temática, tem como objetivo analisar criticamente a evolução conceitual do bem-estar animal na produção pecuária e articular suas interfaces com os ODS, identificando sinergias, limites e desafios de implementação, principalmente no contexto de sistemas produtivos tropicais. São discutidos os principais referenciais teóricos (Cinco Liberdades e Cinco Domínios), os determinantes estruturais do manejo (ambiência, nutrição, instalações e interação humano-animal) e suas implicações para eficiência produtiva, saúde animal e mitigação de pressões ambientais. A análise indica que a incorporação do bem-estar animal pode contribuir potencialmente para os ODS 2, 3, 12, 13 e 15, ao favorecer sistemas mais resilientes, reduzir perdas produtivas, minimizar o uso de antimicrobianos e fortalecer práticas ambientalmente responsáveis. Contudo, a implementação permanece heterogênea, particularmente em sistemas familiares e tropicais, onde barreiras estruturais e econômicas limitam sua consolidação. Conclui-se que o alinhamento entre bem-estar animal e sustentabilidade requer abordagens integradas que articulem produtividade, ética e governança dos sistemas produtivos, apoiadas por políticas públicas, instrumentos regulatórios e estratégias de capacitação técnica.

Palavras-chave: Agenda 2030; ods; Produção Animal; Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O bem-estar animal constitui um dos pilares fundamentais da produção animal contemporânea, sendo reconhecido mundialmente como requisito ético, científico e econômico (Sardar *et al.*, 2023). A intensificação dos sistemas produtivos, as mudanças climáticas e a crescente demanda dos consumidores por produtos de origem animal obtidos de forma responsável impulsionam debates sobre práticas sustentáveis na zootecnia (Brennan *et al.*, 2023).

Nas últimas décadas, o tema deixou de ser tratado apenas como uma questão ética para assumir papel estratégico nas cadeias agroalimentares globais, influenciando políticas públicas, comércio internacional e a aceitação social da produção pecuária (Broom, 2011; Fraser, 2008). Esse movimento acompanha a transição da ciência do bem-estar animal de uma abordagem centrada na ausência de sofrimento para uma perspectiva baseada na qualidade de vida e nos estados afetivos positivos dos animais (Mellor, 2016; Dawkins, 2017; Mellor *et al.*, 2020).

Historicamente, a estrutura conceitual do bem-estar animal foi fortemente influenciada pelo relatório Brambell (1965), que originou o modelo das Cinco Liberdades, posteriormente consolidado pelo Farm Animal Welfare Council (FAWC, 2009). Esse modelo estabeleceu que os animais devem estar livres de fome e sede, desconforto, dor, lesões e doenças, medo e estresse, além de poder expressar comportamentos naturais. Embora amplamente adotadas em políticas públicas e certificações, as Cinco Liberdades evoluíram para abordagens mais abrangentes. O Modelo dos Cinco Domínios, proposto por Mellor e colaboradores (Mellor; Reid, 1994; Mellor, 2016), ampliou a avaliação ao incorporar explicitamente os estados mentais e experiências positivas, reforçando que o bem-estar não se restringe à ausência de sofrimento, mas envolve qualidade de vida.

A literatura contemporânea reconhece o bem-estar animal como um conceito multidimensional que integra três perspectivas principais: o funcionamento biológico, os estados afetivos e a possibilidade de vida natural (Fraser, 2008; Dawkins, 2017). Essa abordagem tem sido fundamental para o desenvolvimento de indicadores científicos e protocolos de avaliação aplicados aos sistemas produtivos, especialmente diante do crescimento das cadeias globais de alimentos de origem animal.

Compreender os fatores que influenciam o bem-estar dos animais de produção é essencial para garantir eficiência produtiva, saúde animal e sustentabilidade ambiental. A importância do bem-estar animal está diretamente associada ao desempenho zootécnico, pois animais submetidos a condições inadequadas de ambiência, nutrição ou manejo apresentam maior incidência de estresse, doenças e mortalidade, afetando índices reprodutivos, crescimento e qualidade de produtos (Rivero; Lee, 2022). Além disso, evidências indicam que melhorias no bem-estar podem resultar em maior eficiência alimentar, redução de perdas produtivas e diminuição do uso de antimicrobianos, contribuindo para sistemas produtivos mais resilientes e alinhados ao conceito de One Health (Gerber *et al.*, 2013; Keeling *et al.*, 2022).

A Agenda 2030 das Nações Unidas estabeleceu os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) como um marco global para a transição de sistemas produtivos mais resilientes, inclusivos e ambientalmente responsáveis (United Nations, 2015). Nesse contexto, a produção animal ocupa posição estratégica e, ao mesmo tempo, controversa, devido à sua contribuição simultânea para a segurança alimentar e para pressões ambientais associadas ao uso de terra, água e emissões de gases de efeito estufa (Gerber *et al.*, 2013; Grossi *et al.*, 2019).

Estudos têm demonstrado que a incorporação do bem-estar animal às cadeias produtivas pode gerar sinergias entre múltiplos ODS, especialmente aqueles relacionados à segurança alimentar (ODS 2), saúde pública e resistência antimicrobiana (ODS 3), padrões sustentáveis de produção (ODS 12) e conservação da biodiversidade e dos ecossistemas terrestres (ODS 15) (Keeling *et al.*, 2022; Sossidou *et al.*, 2025). Ao reduzir perdas produtivas, melhorar a sanidade dos rebanhos e favorecer sistemas de manejo mais eficientes e resilientes, o bem-estar animal contribui para a sustentabilidade dos sistemas alimentares e para a aceitação social da pecuária. Entretanto, a literatura também aponta que a integração efetiva entre bem-estar animal e sustentabilidade ainda é limitada e heterogênea entre regiões e sistemas produtivos, evidenciando a necessidade de abordagens científicas que articulem produtividade, ética e conservação ambiental de forma integrada (Keeling *et al.*, 2022).

Apesar dos avanços conceituais e normativos, a articulação entre bem-estar animal, sustentabilidade e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável ainda se

apresenta de forma heterogênea na literatura e na prática produtiva, principalmente em contextos com sistemas pecuários estruturalmente diversos, nos quais barreiras econômicas, técnicas e educacionais limitam sua implementação (FAO, 2019; Sakamoto *et al.*, 2020).

Mesmo com o crescimento expressivo da produção científica sobre bem-estar animal, a literatura ainda se encontra fragmentada entre abordagens conceituais, produtivas e ambientais, sendo relativamente escassas as sínteses que integrem de forma crítica o bem-estar animal ao debate contemporâneo sobre sustentabilidade e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Em especial, permanecem lacunas na articulação entre avanços conceituais, desafios de implementação e experiências práticas em sistemas produtivos, particularmente no contexto de países tropicais e de produção heterogênea, como o Brasil. Nesse sentido, revisões que sistematizem e integrem essas dimensões tornam-se essenciais para orientar pesquisa, políticas públicas e práticas produtivas. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar criticamente a evolução conceitual do bem-estar animal na produção pecuária e integrar suas interfaces com sustentabilidade e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, propondo uma articulação teórica que evidencie sinergias, limitações e lacunas de implementação, especialmente no contexto de sistemas produtivos tropicais. Ao sistematizar evidências científicas, marcos regulatórios e dinâmicas de mercado, busca-se contribuir para a consolidação de uma abordagem integrada que articule produtividade, ética e responsabilidade ambiental na governança das cadeias pecuárias.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão narrativa de caráter integrativo, com abordagem crítico-analítica, destinada a discutir e articular a produção científica relacionada ao bem-estar animal na produção pecuária e suas interfaces com sustentabilidade, governança das cadeias produtivas e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

A busca bibliográfica foi conduzida em bases de dados de ampla cobertura internacional (Scopus, Web of Science, PubMed e Google Scholar), utilizando descritores em português e inglês, como “animal welfare”, “livestock production”,

"sustainability", "One Health", "animal welfare legislation", "animal welfare certification" e "Sustainable Development Goals", combinados por operadores booleanos (AND, OR). A seleção das referências priorizou estudos revisados por pares e documentos técnicos de reconhecida relevância institucional.

O recorte temporal privilegiou publicações recentes, especialmente das últimas duas décadas, de modo a contemplar avanços contemporâneos do campo. Entretanto, documentos clássicos e marcos normativos estruturantes foram incluídos independentemente do período de publicação, dada sua relevância conceitual e institucional.

A organização da revisão seguiu eixos temáticos definidos a partir da convergência da literatura analisada: evolução conceitual, determinantes produtivos, sustentabilidade, relação com os ODS, desafios de implementação e arcabouço regulatório. A síntese foi conduzida de forma interpretativa, com foco na identificação de convergências, lacunas e tensões teóricas entre produtividade, ética e sustentabilidade.

A elaboração da figura conceitual contou com o apoio de ferramenta de inteligência artificial (ChatGPT), utilizada como suporte na organização e representação visual dos conceitos, sendo o conteúdo final revisado e validado pelos autores.

REVISÃO DE LITERATURA

Evolução Conceitual do Bem-Estar Animal

O bem-estar animal é atualmente compreendido como um constructo científico multidimensional que integra saúde, estados afetivos e a possibilidade de expressão de comportamentos naturais, refletindo diferentes perspectivas complementares sobre a qualidade de vida dos animais (Fraser, 2008; Broom, 2011). Essa compreensão resulta de um processo gradual de desenvolvimento científico e normativo, no qual o conceito deixou de ser associado apenas ao atendimento de necessidades básicas e passou a incorporar indicadores mensuráveis e abordagens baseadas em evidências (Machado Filho *et al.*, 2023).

Um marco importante nesse processo foi o Relatório Brambell (1965), que sistematizou preocupações sobre animais mantidos em sistemas intensivos e estabeleceu princípios iniciais relacionados à liberdade de movimento e à prevenção do sofrimento. A partir desse marco, o conceito foi posteriormente consolidado pelo Farm Animal Welfare Council na formulação das Cinco Liberdades, que estabelecem que os animais devem estar livres de fome e sede, desconforto, dor, lesões e doenças, medo e estresse, além de poder expressar comportamentos naturais (FAWC, 2009). Esse modelo passou a funcionar como referencial normativo amplamente incorporado em políticas públicas, certificações e protocolos de manejo, sendo amplamente utilizado na literatura contemporânea (Tobin *et al.*, 2022).

Com o avanço da ciência do bem-estar animal, tornou-se evidente que abordagens baseadas apenas em requisitos mínimos não capturavam integralmente a complexidade dos estados afetivos e das experiências positivas dos animais. Nesse contexto, o Modelo dos Cinco Domínios ampliou o escopo analítico ao estruturar a avaliação do bem-estar em domínios nutricionais, ambientais, sanitários, comportamentais e mentais, incorporando explicitamente a dimensão subjetiva e a promoção de experiências positivas (Mellor; Reid, 1994; Mellor, 2016). Essa evolução representou um deslocamento importante do foco na prevenção do sofrimento para a promoção de qualidade de vida.

A literatura contemporânea reconhece que essas diferentes perspectivas são complementares e orientam o desenvolvimento de indicadores aplicáveis aos sistemas produtivos, contribuindo para a mensuração objetiva do bem-estar em diferentes contextos de produção (Machado Filho *et al.*, 2023; Dawkins, 2017). Contudo, permanece debate relevante sobre a compatibilização entre produtividade e bem-estar, especialmente em sistemas intensivos, nos quais a intensificação produtiva pode limitar a expressão comportamental e gerar tensões entre eficiência produtiva e naturalidade (Broom, 2011; Dawkins, 2017).

Esses conflitos tornam-se particularmente evidentes em sistemas intensivos de produção, nos quais estratégias voltadas à maximização da eficiência, como aumento da densidade de lotação, seleção genética para alto desempenho e padronização de ambientes altamente controlados, podem restringir a expressão de comportamentos naturais e comprometer aspectos comportamentais

e afetivos do bem-estar. Por outro lado, a adoção de sistemas mais extensivos ou enriquecidos, que favorecem maior liberdade comportamental, pode resultar em menor produtividade por área, maior variabilidade nos resultados e aumento de custos operacionais. Dessa forma, a relação entre bem-estar e eficiência produtiva não se estabelece de maneira linear, sendo fortemente dependente do contexto produtivo, do nível tecnológico e das condições de manejo. A conciliação entre esses elementos requer abordagens integradas que considerem simultaneamente indicadores zootécnicos, comportamentais e sanitários, evitando interpretações simplificadas que tratem esses fatores como necessariamente convergentes.

Assim, a evolução conceitual do bem-estar animal evidencia a transição de modelos normativos para abordagens integrativas baseadas em evidências, fornecendo base científica para sua incorporação aos sistemas produtivos e para sua articulação com sustentabilidade e políticas públicas.

Bem-estar animal na lógica produtiva

No contexto da produção animal, o bem-estar resulta da interação entre ambiente, nutrição, instalações e manejo humano, fatores que determinam a capacidade dos animais de manter a homeostase, expressar comportamentos naturais e atingir desempenho produtivo adequado. Entre esses fatores, a ambiência constitui um dos principais determinantes do bem-estar, especialmente em regiões tropicais e semiáridas, onde a exposição ao calor representa desafio recorrente aos sistemas produtivos (Vaz *et al.*, 2025). O estresse térmico é amplamente reconhecido como fator crítico em sistemas pecuários, particularmente na bovinocultura leiteira, podendo desencadear alterações fisiológicas e comportamentais, como aumento da frequência respiratória, redução do consumo alimentar, comprometimento da reprodução e queda na produtividade (West, 2003; Polsky; von Keyserlingk, 2017). Em sistemas tropicais, essas limitações tendem a ser ampliadas, reforçando a importância da adequação ambiental como componente central do bem-estar (Bento, 2025; Hanzen *et al.*, 2024).

No contexto brasileiro, esse cenário é intensificado pela ocorrência de estresse térmico crônico ao longo de grande parte do ano, especialmente em regiões com elevada temperatura e umidade, o que impõe desafios adicionais

à manutenção da homeostase dos animais. Além disso, limitações de infraestrutura, como ausência de sombreamento adequado, ventilação insuficiente e restrições no acesso à água de qualidade, associadas à elevada variabilidade dos sistemas produtivos, que incluem desde propriedades altamente tecnificadas até sistemas extensivos com baixa adoção tecnológica, contribuem para a heterogeneidade na implementação de práticas de bem-estar.

A nutrição constitui outro eixo estruturante do bem-estar, uma vez que o estado nutricional influencia diretamente a saúde, a imunidade e a estabilidade fisiológica dos animais. Dietas inadequadas ou manejo alimentar deficiente podem resultar em distúrbios metabólicos e maior susceptibilidade a doenças, comprometendo simultaneamente o desempenho produtivo e a qualidade de vida dos animais (Bryden *et al.*, 2021). Dessa forma, a nutrição deve ser compreendida como elemento integrador entre saúde, produtividade e bem-estar.

As condições de alojamento e o espaço disponível influenciam diretamente a possibilidade de expressão de comportamentos naturais, sendo fatores críticos para a avaliação do bem-estar em sistemas produtivos. Superlotação, pisos inadequados e ausência de recursos ambientais podem aumentar a ocorrência de lesões, estresse e interações agonísticas (Santos; Siqueira, 2024). A impossibilidade de expressar comportamentos relevantes à espécie está associada a estados afetivos negativos e frustração, reforçando a importância de ambientes que considerem necessidades comportamentais e emocionais (Fraser; Duncan, 1998).

O manejo humano constitui dimensão transversal desse processo. Técnicas inadequadas de contenção, transporte e ordenha podem gerar medo e respostas de estresse que comprometem o bem-estar e a produtividade (Algers *et al.*, 2009). A interação humano-animal é reconhecida como determinante central da produção animal moderna, influenciando indicadores fisiológicos, comportamentais e produtivos (Hemsworth; Coleman, 1998).

Apesar do reconhecimento desses fatores, a literatura aponta a existência de tensões entre produtividade e bem-estar, especialmente em sistemas intensivos. Embora avanços tecnológicos permitam maior controle ambiental, sanitário e nutricional, a intensificação pode restringir a expressão comportamental e aumentar a dependência de intervenções de manejo (Rushen *et al.*, 2008;

Dawkins, 2012). Esse cenário insere o bem-estar animal no debate mais amplo sobre sustentabilidade e evolução dos sistemas pecuários globais (Thornton, 2010; FAO, 2019; Grossi *et al.*, 2019).

Assim, o bem-estar animal na lógica produtiva deve ser compreendido como resultado de múltiplos fatores interdependentes, cuja gestão integrada é essencial para sistemas produtivos eficientes e sustentáveis.

Sistemas sustentáveis e bem-estar animal

A crescente preocupação com a sustentabilidade dos sistemas alimentares tem ampliado o debate sobre o papel do bem-estar animal na produção pecuária contemporânea. A sustentabilidade da produção animal envolve dimensões ambientais, econômicas e sociais, exigindo abordagens integradas que conciliem eficiência produtiva, conservação ambiental e responsabilidade ética (FAO, 2019; Grossi *et al.*, 2019). Nesse contexto, o bem-estar animal passou a ser reconhecido como componente relevante da sustentabilidade dos sistemas pecuários, influenciando produtividade, sanidade, qualidade dos produtos e aceitação social da atividade.

A intensificação da produção pecuária nas últimas décadas contribuiu para o aumento da oferta de alimentos de origem animal, mas também ampliou pressões ambientais e sociais sobre o setor. A literatura aponta que a transição para sistemas mais sustentáveis requer a incorporação de práticas que reduzam impactos ambientais, melhorem a eficiência no uso de recursos e atendam às crescentes demandas da sociedade por sistemas produtivos mais éticos e transparentes (Grossi *et al.*, 2019). Nesse cenário, o bem-estar animal emerge como elemento central na discussão sobre a evolução dos sistemas pecuários globais.

A adoção de práticas que promovam o bem-estar animal pode contribuir para a resiliência dos sistemas de produção, reduzindo perdas produtivas, melhorando a saúde dos rebanhos e diminuindo a necessidade de intervenções terapêuticas, como o uso de antimicrobianos. Essas estratégias estão alinhadas a abordagens contemporâneas de produção sustentável, que enfatizam a

prevenção de doenças, a eficiência produtiva e a redução de riscos sanitários e ambientais (FAO, 2019).

Além disso, mudanças no comportamento do consumidor e na governança das cadeias produtivas têm ampliado a relevância do bem-estar animal como critério de sustentabilidade. Tecnologias de monitoramento associadas ao conceito de Precision Livestock Farming (PLF) emergem como ferramentas promissoras para a avaliação contínua do bem-estar animal, permitindo o acompanhamento em tempo real de indicadores comportamentais, fisiológicos e produtivos (Berckmans, 2017; Jiang *et al.*, 2023). Essas tecnologias possibilitam a detecção precoce de alterações no estado dos animais e subsidiam a tomada de decisão baseada em dados, contribuindo para estratégias de manejo mais eficientes e alinhadas à sustentabilidade dos sistemas produtivos (Zhang *et al.*, 2025). A crescente demanda por transparência, rastreabilidade e responsabilidade socioambiental tem incentivado a incorporação de práticas de bem-estar como diferencial competitivo e requisito de mercado, especialmente em cadeias de exportação e certificação internacional (Grossi *et al.*, 2019).

Nesse contexto de transição produtiva, experiências em sistemas integrados e agroecológicos demonstram a viabilidade desses modelos em contextos de agricultura familiar, contribuindo para a diversificação produtiva, segurança alimentar e sustentabilidade dos sistemas rurais. A integração entre componentes agrícolas, florestais e pecuários favorece a eficiência no uso de recursos naturais, aumenta a resiliência produtiva e fortalece a sustentabilidade dos sistemas alimentares (Carvalho *et al.*, 2018; Lemaire *et al.*, 2014). Essas abordagens estão alinhadas à transição global para sistemas produtivos mais resilientes e eficientes, capazes de produzir alimentos com menor impacto ambiental e maior responsabilidade socioambiental (Mottet *et al.*, 2020). Apesar dos avanços, a adoção desses modelos ainda enfrenta desafios relacionados à assistência técnica, capacitação e acesso a mercados diferenciados, especialmente em contextos de agricultura familiar (FAO, 2018; HLPE, 2019; Altieri; Nicholls, 2020).

Relação entre bem-estar animal e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

A incorporação do bem-estar animal ao debate sobre sustentabilidade insere-se em um contexto mais amplo de reconfiguração dos sistemas alimentares globais à luz da Agenda 2030 das Nações Unidas (United Nations, 2015). Embora o bem-estar animal não esteja explicitamente mencionado nos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a literatura recente tem destacado sua relevância como dimensão transversal capaz de articular produção pecuária, responsabilidade ética e governança ambiental (Olmos Antillón *et al.*, 2021; Keeling *et al.*, 2022). Nesse sentido, o bem-estar animal pode ser compreendido como componente integrador entre eficiência produtiva, saúde pública e sustentabilidade ecológica, influenciando tanto o desempenho produtivo quanto a legitimidade social e ambiental das cadeias pecuárias. Além disso, sua efetiva implementação depende da articulação entre diferentes atores institucionais, o que se relaciona diretamente ao ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação), que enfatiza a cooperação multissetorial como elemento central para a promoção do desenvolvimento sustentável. Essa perspectiva evidencia seu potencial de contribuição para diferentes dimensões da sustentabilidade, ainda que de forma não uniforme entre contextos produtivos. Essa relação conceitual é sintetizada na Figura 1.

Figura 1 – Modelo conceitual das inter-relações entre bem-estar animal, sustentabilidade, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e One Health.



Fonte: Elaboração própria.

A partir dessa perspectiva, a produção pecuária assume papel estratégico no alcance dos ODS, especialmente diante da crescente demanda por alimentos de origem animal e dos desafios associados à sustentabilidade dos sistemas produtivos. A Agenda 2030 estabelece metas interdependentes que envolvem segurança alimentar, saúde pública, padrões sustentáveis de produção e mitigação das mudanças climáticas (United Nations, 2015). Nesse cenário, a produção animal destaca-se tanto pela oferta de proteína de alto valor biológico quanto pelos impactos ambientais e sanitários associados, exigindo abordagens que conciliem eficiência produtiva, responsabilidade ambiental e bem-estar animal.

Entre os objetivos mais diretamente relacionados, destaca-se o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável, que enfatiza a necessidade de sistemas produtivos resilientes e eficientes. Condições adequadas de manejo, nutrição e ambiência estão associadas à redução de perdas produtivas, menor incidência de doenças e maior estabilidade reprodutiva, contribuindo para a segurança alimentar e para a sustentabilidade da produção pecuária (Keeling *et al.*, 2022). Assim, práticas que promovem o bem-estar podem fortalecer a eficiência biológica e reduzir vulnerabilidades sanitárias e produtivas. Sistemas que priorizam

manejo adequado, ambiência e nutrição equilibrada tendem a apresentar maior previsibilidade produtiva e menor vulnerabilidade a eventos sanitários, fortalecendo a sustentabilidade da oferta alimentar.

No âmbito do ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), o bem-estar animal apresenta interface com o conceito de One Health, ao influenciar a ocorrência de doenças infecciosas, a necessidade de uso de antimicrobianos e os riscos de resistência antimicrobiana. Estratégias de manejo que reduzem estresse e melhoram condições sanitárias podem contribuir para menor dependência de intervenções terapêuticas, favorecendo a saúde animal e humana de forma integrada (Keeling *et al.*, 2022).

O ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) também se conecta ao bem-estar animal, especialmente no contexto de cadeias produtivas mais transparentes e rastreáveis. A crescente demanda por certificações e por informações sobre condições de criação reflete a valorização de práticas produtivas éticas e sustentáveis, estimulando a adoção de padrões que conciliem desempenho econômico e responsabilidade socioambiental (FAO, 2019; Grossi *et al.*, 2019).

No que se refere ao ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), a produção pecuária é frequentemente apontada como fonte relevante de emissões de gases de efeito estufa. Embora o bem-estar animal não seja, isoladamente, uma estratégia climática, práticas que melhoram eficiência produtiva, saúde do rebanho e longevidade dos animais podem reduzir emissões por unidade de produto, contribuindo indiretamente para a mitigação da intensidade de emissões (Grossi *et al.*, 2019). A integração entre bem-estar, eficiência e manejo adequado pode, portanto, favorecer sistemas mais resilientes frente a eventos climáticos extremos.

Adicionalmente, em determinados contextos, práticas associadas ao bem-estar podem contribuir para o ODS 15 (Vida Terrestre), especialmente quando vinculadas a sistemas integrados, manejo adequado de pastagens e redução de degradação ambiental. Contudo, a literatura indica que essa contribuição é condicionada ao desenho do sistema produtivo e não decorre automaticamente da adoção isolada de protocolos de bem-estar.

Apesar das potenciais sinergias, a integração entre bem-estar animal e ODS ainda é heterogênea entre regiões e sistemas produtivos. Persistem lacunas na

mensuração integrada de indicadores que articulem desempenho produtivo, impactos ambientais e qualidade de vida animal, evidenciando a necessidade de abordagens interdisciplinares que conciliem produtividade, ética e sustentabilidade de forma consistente.

Desafios para implementação do bem-estar animal no Brasil

Em países com grande diversidade de sistemas produtivos, como o Brasil, a implementação do bem-estar animal ocorre de forma desigual entre diferentes níveis de tecnificação e escalas produtivas. A compreensão conceitual do bem-estar ainda apresenta variações entre produtores, técnicos e consumidores, especialmente em sistemas de menor escala, nos quais a associação do bem-estar tende a concentrar-se na alimentação e na sanidade básica, com menor ênfase nos aspectos comportamentais e ambientais.

Apesar dos avanços conceituais e do crescente reconhecimento da importância do bem-estar animal nos sistemas produtivos, sua implementação no Brasil ainda enfrenta desafios estruturais, técnicos e socioeconômicos. O país possui posição de destaque na produção e exportação de produtos de origem animal, o que amplia a necessidade de alinhamento às exigências internacionais relacionadas à sustentabilidade, rastreabilidade e padrões de produção ética (FAO, 2019).

Um dos principais desafios está relacionado à heterogeneidade dos sistemas produtivos, que incluem desde propriedades altamente tecnificadas até sistemas de produção familiar com acesso limitado a assistência técnica e recursos tecnológicos. Essa diversidade dificulta a adoção uniforme de práticas de bem-estar animal e evidencia a necessidade de estratégias diferenciadas de transferência de tecnologia e extensão rural (FAO, 2018; HLPE, 2019).

A capacitação de produtores, técnicos e trabalhadores rurais constitui outro fator crítico para a implementação efetiva de práticas de manejo alinhadas ao bem-estar animal. A literatura destaca que a adoção de boas práticas depende não apenas da disponibilidade de tecnologias, mas também da formação técnica, da percepção dos produtores e do acesso à informação qualificada (Hemsworth; Coleman, 1998; FAO, 2019).

Aspectos econômicos também representam barreiras relevantes. A implementação de melhorias em instalações, manejo e sistemas de produção pode demandar investimentos iniciais que nem sempre são viáveis para pequenos e médios produtores, especialmente na ausência de incentivos econômicos e políticas públicas específicas (HLPE, 2019).

Além disso, a governança das cadeias produtivas e a demanda por certificações internacionais têm ampliado a pressão por padrões de bem-estar animal, criando desafios relacionados à rastreabilidade, monitoramento e padronização de indicadores. Embora essas exigências representem oportunidades de acesso a mercados diferenciados, também evidenciam a necessidade de políticas públicas e mecanismos de apoio que facilitem a adaptação dos produtores às novas demandas (Grossi *et al.*, 2019).

Assim, a implementação do bem-estar animal no Brasil depende da articulação entre políticas públicas, pesquisa, extensão rural e mercado, de modo a viabilizar a adoção de práticas sustentáveis em diferentes realidades produtivas. O enfrentamento desses desafios é fundamental para consolidar sistemas pecuários mais sustentáveis, competitivos e socialmente responsáveis.

Certificações, legislação e mercado consumidor

A consolidação do bem-estar animal na produção pecuária contemporânea tem sido impulsionada pela convergência entre marcos regulatórios, programas de certificação e transformações no comportamento do consumidor. Esses três vetores atuam de forma interdependente, reconfigurando padrões produtivos e estabelecendo novos parâmetros de legitimidade social e competitividade nas cadeias de alimentos de origem animal.

No cenário internacional, especialmente na União Europeia, o bem-estar animal encontra-se incorporado a políticas agrícolas e comerciais por meio de regulamentações específicas que disciplinam transporte, manejo e condições de criação. Tais exigências passaram a influenciar o comércio internacional, uma vez que o atendimento a padrões de bem-estar tornou-se critério relevante para acesso a mercados e manutenção da competitividade (FAO, 2019; Grossi *et al.*, 2019).

No Brasil, a proteção animal possui fundamento histórico no Decreto nº 24.645/1934 (Brasil, 1934). No âmbito da produção animal industrial, a consolidação normativa ocorreu principalmente com a Instrução Normativa nº 3/2000 (Brasil, 2000), que aprova o Regulamento Técnico de Métodos de Insensibilização para o Abate Humanitário de Animais de Açougue, e com o Decreto nº 9.013/2017 (RIISPOA) (Brasil, 2017), que regulamenta a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal, incorporando diretrizes relacionadas ao manejo adequado e às condições de bem-estar no pré-abate. A Instrução Normativa nº 46/2018 (Brasil, 2018), que dispõe sobre boas práticas no transporte de animais de produção, complementa esse arcabouço. Além disso, o Sistema Brasileiro de Inspeção de Produtos de Origem Animal (SISBI-POA), no âmbito do SUASA (Brasil, 2006), contribui para a harmonização de procedimentos e para o fortalecimento da fiscalização sanitária. Apesar desses avanços, desafios persistem quanto à uniformidade da aplicação normativa, à capacidade fiscalizatória e à difusão técnica em diferentes regiões do país (Negrão *et al.*, 2024).

Paralelamente ao aparato regulatório, certificações privadas e programas voluntários têm desempenhado papel relevante na elevação dos padrões de bem-estar animal. No contexto brasileiro, destacam-se iniciativas como a adoção de certificações internacionais, a exemplo do selo Certified Humane, baseado em protocolos técnicos que estabelecem critérios relacionados à alimentação, manejo, condições de alojamento, saúde e abate, com verificação por auditorias independentes (HFAC, 2025). Além disso, programas nacionais como a Carne Carbono Neutro, desenvolvido pela Embrapa Gado de Corte, incorporam princípios de sustentabilidade associados ao manejo produtivo e à mitigação de emissões de gases de efeito estufa, evidenciando a integração entre bem-estar animal e responsabilidade ambiental (Alves *et al.*, 2015; Almeida *et al.*, 2020).

No âmbito das cadeias produtivas voltadas à exportação, protocolos de bem-estar também têm sido incorporados a programas de qualidade de frigoríficos e laticínios, frequentemente alinhados às exigências de mercados internacionais. Nesse contexto, iniciativas como Global Animal Partnership, Certified Humane e Welfare Quality estabeleceram protocolos mais rigorosos de manejo, incluindo critérios relacionados à densidade de criação, monitoramento

de indicadores sanitários, capacitação de trabalhadores e adoção de práticas de manejo humanitário (Webster, 2013; Knight *et al.*, 2022).

Iniciativas como Global Animal Partnership, Certified Humane e Welfare Quality estabeleceram protocolos mais rigorosos de manejo, incluindo critérios relacionados à densidade de criação, monitoramento de indicadores sanitários, capacitação de trabalhadores e adoção de práticas de manejo humanitário (Webster, 2013; Knight *et al.*, 2022). Em muitos casos, esses programas antecipam exigências regulatórias e funcionam como mecanismos de diferenciação mercadológica.

A dinâmica do mercado consumidor constitui elemento central nesse processo. A crescente preocupação social com aspectos éticos da produção animal tem influenciado decisões de compra e incentivado cadeias produtivas a incorporar padrões mais transparentes e rastreáveis, sobretudo em mercados de exportação e segmentos de maior valor agregado (Grossi *et al.*, 2019).

Entretanto, a ampliação das exigências regulatórias e certificações impõe custos adicionais e demandas estruturais que podem dificultar a adesão de pequenos e médios produtores. Nesse contexto, políticas públicas, instrumentos de apoio técnico e incentivos econômicos tornam-se fundamentais para assegurar que a elevação dos padrões de bem-estar ocorra de maneira inclusiva e compatível com a diversidade dos sistemas produtivos nacionais.

Assim, legislação, certificações e mercado consumidor constituem dimensões complementares na institucionalização do bem-estar animal, contribuindo para a transição de sistemas produtivos mais responsáveis, competitivos e alinhados às demandas sociais contemporâneas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura analisada demonstra que o bem-estar animal deixou de ser compreendido apenas como um conjunto de recomendações éticas para se consolidar como um campo científico multidimensional, fundamentado em evidências e integrado às discussões sobre sustentabilidade dos sistemas alimentares. A evolução conceitual do tema, associada ao desenvolvimento de indicadores científicos e metodologias de avaliação, contribuiu para ampliar

sua inserção em agendas globais relacionadas à segurança alimentar, saúde pública, mudanças climáticas e governança das cadeias produtivas.

Os estudos revisados evidenciam que a incorporação de práticas de bem-estar animal está associada à melhoria da eficiência produtiva, à redução de riscos sanitários, à diminuição do uso de antimicrobianos e ao fortalecimento da resiliência dos sistemas pecuários. Nesse contexto, o bem-estar animal assume papel transversal na Agenda 2030, relacionando-se diretamente com objetivos ligados à segurança alimentar, saúde, produção responsável e ação climática.

No Brasil, embora haja avanços relevantes na produção científica, na legislação e na adoção de certificações, a implementação ampla dessas práticas ainda enfrenta desafios estruturais, técnicos e socioeconômicos. A heterogeneidade dos sistemas produtivos, as limitações de acesso à assistência técnica, os custos de adequação às certificações e a necessidade de capacitação de produtores e trabalhadores rurais configuram barreiras importantes para a consolidação do tema no setor produtivo.

A revisão também evidencia lacunas relevantes na literatura, especialmente relacionadas à mensuração de indicadores em diferentes realidades produtivas, à adaptação de protocolos de bem-estar às condições tropicais e à integração entre bem-estar animal, políticas públicas e estratégias de extensão rural. Avanços futuros dependem do fortalecimento de abordagens interdisciplinares que integrem ciência, mercado e governança das cadeias produtivas.

A consolidação do bem-estar animal nos sistemas produtivos depende não apenas de avanços conceituais, mas também da utilização de indicadores mensuráveis que permitam sua avaliação objetiva, incluindo parâmetros comportamentais, fisiológicos e produtivos, o que reforça a aplicabilidade prática do conceito no monitoramento e na tomada de decisão.

Complementarmente, sua incorporação como componente estratégico da produção animal sustentável requer a articulação entre pesquisa, políticas públicas, certificações e mercado consumidor, alinhando-se também ao ODS 17, que enfatiza a importância da cooperação multissetorial para a promoção de sistemas produtivos mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ALGERS, B. *et al.* Scientific opinion on welfare of dairy cows in relation to behaviour, fear and pain based on a risk assessment with special reference to the impact of housing, feeding, management and genetic selection. **EFSA Journal**, v. 7, n. 7, p.1-66, 2009. <https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2009.1139>
- ALMEIDA, R.G. de *et al.* Carne carbono neutro: diretrizes e fundamentos para produção sustentável. In: SOTTA, E. D. *et al.* (org.). *Coletânea dos fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa na agricultura brasileira*. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2020.
- ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.I. Agroecology and the reconstruction of a post-COVID-19 agriculture. *The Journal of Peasant Studies*, v. 47, n. 5, p. 881–898, 2020. <https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1782891>
- ALVES, F.V.; ALMEIDA, R.G. de; LAURA, V.A. **Carne carbono neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2015. (Documentos / Embrapa Gado de Corte, 1056155).
- BENTO, F.G. O impacto do estresse térmico na produção de vacas leiteiras. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 11, n. 9, p. 3739–3750, 2025. <https://doi.org/10.51891/rease.v11i9.21158>
- BERCKMANS, D. General introduction to precision livestock farming. **Animal Frontiers**, v. 7, n. 1, p. 6–11, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>.
- BRAMBELL, F.W.R. *Report of the Technical Committee to Enquire into the Welfare of Animals kept under Intensive Livestock Husbandry Systems*. London: Her Majesty's Stationery Office, 1965.
- BRASIL. **Decreto nº 24.645, de 10 de julho de 1934**. Estabelece medidas de proteção aos animais. *Diário Oficial da União*, Rio de Janeiro, 12 jul. 1934. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/d24645.htm
- BRASIL. **Decreto nº 5.741, de 30 de março de 2006**. Regulamenta o Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária – SUASA. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 30 mar. 2006. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/decreto/d5741.htm
- BRASIL. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 30 mar. 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9013.htm
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 46, de 6 de outubro de 2018**. Estabelece procedimentos para boas práticas no transporte de animais de produção. *Diário Oficial da União*, Brasília, 8 out. 2018. https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/transito-animal/arquivos-transito-internacional/IN46_2018comalteraes.pdf
- BRENNAN, M.U.; HENNESSY, T.; DILLON, E.J.; MEREDITH, D. Putting social into agricultural sustainability: Integrating assessments of quality of life and wellbeing into farm sustainability indicators. **Sociologia Ruralis**, v. 63, p. 629–660, 2023. <https://doi.org/10.1111/soru.12417>
- BROOM, D.M. A history of animal welfare science. **Acta Biotheoretica**, v. 59, p. 121–137, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10441-011-9123-3>.
- BRYDEN, W.L. *et al.* Nutrition, feeding and laying hen welfare. **Animal Production Science**, v.61, n. 10, p.893–914, 2021. <https://doi.org/10.1071/AN20396>

CARVALHO, P.C. de F. *et al.* Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 8, p. 3513–3525, 2018. <https://doi.org/10.1093/jas/sky085>

DAWKINS, M.S. Animal welfare with and without consciousness. *Journal of Zoology*, v. 301, n. 1, p. 1–10, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/jzo.12434>

FARM ANIMAL WELFARE COUNCIL (FAWC). *Farm animal welfare in Great Britain: past, present and future*. London: FAWC, 2009. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/319292/Farm_Animal_Welfare_in_Great_Britain_-_Past__Present__and_Future.pdf

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *Sustainable livestock systems: supporting livelihoods and protecting the environment*. Rome: FAO, 2019. <https://www.fao.org/3/ca1201en/CA1201EN.pdf>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *The 10 elements of agroecology: guiding the transition to sustainable food and agricultural systems*. Rome: FAO, 2018. <https://www.fao.org/3/i9037en/I9037EN.pdf>

FRASER, D.; DUNCAN, I. J. H. "Pleasures", "pains" and animal welfare: Toward a natural history of affect. **Animal Welfare**, v. 7, n. 4, p. 383–396, <https://doi.org/10.1017/S0962728600020935>

FRASER, D. *Understanding animal welfare: the science in its cultural context*. Oxford: Wiley-Blackwell, 2008.

GERBER, P. J. *et al.* *Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013. <https://www.fao.org/4/i3437e/i3437e.pdf>

GROSSI, G.; GOGLIO, P.; VITALI, A.; WILLIAMS, A.G. Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. **Animal Frontiers**, v.9, n.1, p.69-76, jan. 2019. <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>

HANZEN, C. *et al.* Le stress thermique environnemental dans l'espèce bovine: 2. Effets physiologiques, pathologiques, comportementaux, alimentaires, immunitaires et sur la production laitière. **Revue d'élevage et de Médecine Vétérinaire Des Pays Tropicaux**, v. 77, p. 1–13, 2024. <https://doi.org/10.19182/remvt.37380>

HEMSWORTH, P. H.; COLEMAN, G. J. *Human-livestock interactions: the stockperson and the productivity and welfare of intensively farmed animals*. Wallingford: CAB International, 1998.

HLPE – HIGH LEVEL PANEL OF EXPERTS ON FOOD SECURITY AND NUTRITION. *Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition*. Rome: FAO, 2019.

HUMANE FARM ANIMAL CARE (HFAC). *Certified Humane® Animal Care Standards*. 2025. Disponível em: <https://certifiedhumane.org/our-standards/>

JIANG, B.; TANG, W.; CUI, L.; DENG, X. Precision livestock farming research: a global scientometric review. **Animals**, v. 13, n. 13, p. 2096, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani13132096>

KEELING, L. J. *et al.* A global study to identify a potential basis for policy options when integrating animal welfare into the UN Sustainable Development Goals. **Frontiers in Animal Science**, v. 3, 2022. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.974687>

KNIGHT, A., PHILLIPS, C.; SPARKS, P. Routledge Handbook of Animal Welfare (1st ed.). Routledge, 2022. <https://doi.org/10.4324/9781003182351>

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P. C. de F.; DEDIEU, B. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 4–8, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>

MACHADO FILHO, L.C.P. *et al.* Criação animal agroecológica: reflexões e desafios. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 214–237, 2023. <https://doi.org/10.33240/rba.v18i1.23763>

MELLOR, D.J. *et al.* The 2020 Five Domains Model: Including Human–Animal Interactions in Assessments of Animal Welfare. **Animals**, v.10, n.10, p.1870, 2020. <https://doi.org/10.3390/ani10101870>

MELLOR, D.J. Updating animal welfare thinking: Moving beyond the “Five Freedoms” towards “A Life Worth Living” **Animals**, v.6, n.3, p.1–21, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani6030021>.

MELLOR, D.J.; REID, C.S.W. Concepts of animal well-being and predicting the impact of procedures on experimental animals. Improving the well-being of animals in the research environment, p.3-18,1994.

NEGRÃO, J.T. de J.; MENDES, P.F.; LAURENTINO, T. Legislações em defesa dos animais: Avanços e desafios. **Pubvet**, v. 18, n. 5, 2024 <https://doi.org/10.31533/pubvet.v18n05e1599>

OLMOS ANTILLÓN, G. *et al.* Animal Welfare and the United Nations’ Sustainable Development Goals—Broadening Students’ Perspectives. **Sustainability**, v. 13, n. 6, p. 3328, 2021 <https://doi.org/10.3390/SU13063328>

POLSKY, L.; VON KEYSERLINGK, M.A.G. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 11, p. 8645–8657, 2017. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>

RIVERO, M.J.; LEE, M.R.F. A perspective on animal welfare of grazing ruminants and its relationship with sustainability. **Animal Production Science**, v. 62, n. 18, p. 1739–1748, 2022. <https://doi.org/10.1071/an21516>

RUSHEN, J.; DE PASSILLÉ, A.M.; VON KEYSERLINGK, M.A.G.; WEARY, D. M. *The welfare of cattle*. Dordrecht: Springer, 2008. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6558-3>

SAKAMOTO, K.S.; BENINCASA, N.C.; DA SILVA, I.; LOBOS, C.M.V. The challenges of animal welfare in modern Brazilian poultry farming. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 8, n. 2, p. 131–135, 2020. <https://doi.org/10.31893/JABB.20018>

SANTOS, M.L.; SIQUEIRA, A.F.P. Bem-estar animal e o impacto do enriquecimento ambiental para vacas leiteiras. **Revista FT**, v. 29, n.140, p.45–46, 2024. <https://doi.org/10.69849/revistaft/ni10202411192145>

SARDAR, M. A; KHAN, M. I. A.; SALMAN, M.; ULLAH, I. Farm animal welfare as a key element of sustainable food production: Animal welfare and sustainable food production. **Letters In Animal Biology**, v. 3, n. 2, p. 01–08, 2023. <https://doi.org/10.62310/liab.v3i2.116>

SOSSIDOU, E.N. *et al.* Modern Pig Production: Aspects of Animal Welfare, Sustainability and Circular Bioeconomy. **Sustainability**, v. 17, n. 11, 2025. <https://doi.org/10.3390/su17115184>

THORNTON, P.K. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 365, n. 1554, p. 2853–2867, 2010. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0134>.

TOBIN, C. *et al.* Opportunities to monitor animal welfare using the five freedoms with precision livestock management on rangelands. **Frontiers in Animal Science**, v. 3, 2022. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.928514>

UNITED NATIONS. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: United Nations, 2015. <https://sdgs.un.org/2030agenda>

VAZ, M.A. *et al.* Family farmers' environmental perception of ecosystem services in the Brazilian semi-arid region. **The Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development**, v. 14, n. 4, p.1–12, 2025. <https://doi.org/10.5304/jafscd.2025.144.006>

WEBSTER, J. International standards for farm animal welfare: science and values. **Veterinary Journal**, v. 198. n.1, p. 3–4, 2013 <https://doi.org/10.1016/J.TVJL.2013.08.034>

WEST, J.W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 6, p. 2131–2144, 2003. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X).

ZHANG, Y. *et al.* Digital technologies and sustainable livestock production: implications for precision livestock farming and environmental performance. **Journal of Cleaner Production**, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652625018049>

INFLUÊNCIA DA EMBALAGEM, TEMPERATURA E TEMPO DE ARMAZENAMENTO NA QUALIDADE INTERNA E EXTERNA DE OVOS COMERCIAIS

Yasmin Barboza Telles Pereira

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Geicimara Cristiane Moura Nunes

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Wallace Gonçalves da Silva

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Sarah Kamilly Peixoto Costa Fernandes

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Nikole Cardoso de Souza

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Fernanda Santos Andrade

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Maria Letícia Martins Costa

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Cristina Maria Lima Sá-Fortes

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Felipe Gomes da Silva

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Fabiana Ferreira

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

RESUMO

O ovo é um alimento de elevado valor nutricional que, após a postura, sofre alterações ao longo do tempo. Para minimizar essas mudanças, são adotadas estratégias de armazenamento que visam preservar suas características físicas, como o uso de embalagens e diferentes condições de conservação. No Brasil, não há legislação que obrigue todos os setores da produção a padronizar sistemas de armazenamento e embalagem, ficando essa decisão a critério das granjas e estabelecimentos. O tempo de estocagem varia conforme fatores logísticos e de mercado, podendo impactar parâmetros físico-químicos do produto. Nesse contexto, alternativas como o uso de embalagens plásticas e a refrigeração vêm sendo avaliadas para reduzir tais perdas. Assim, objetivou-se avaliar a influência do tipo de embalagem, temperatura e tempo de armazenamento sobre as características internas e externas de ovos de poedeiras comerciais. Os ovos foram distribuídos em delineamento inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial $2 \times 2 \times 4$ (com e sem refrigeração; com filme plástico e sem embalagem; quatro tempos de armazenamento: 1, 7, 14 e 21 dias), com 15 repetições. Foram avaliadas as variáveis peso do ovo, peso e espessura da casca, gravidade específica, peso de gema, peso de albúmen e Unidade Haugh. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelos testes de Fisher ou Tukey a 5% de probabilidade. A refrigeração promoveu melhor conservação das características internas dos ovos ao longo do armazenamento, resultando em maiores valores de Unidade Haugh (83,11 vs. 69,25), gravidade específica e peso do albúmen quando comparada ao armazenamento em temperatura ambiente.

Palavras-chave: Qualidade de Ovos; Tempo de Armazenamento; Unidade Haugh.

INTRODUÇÃO

O consumo de ovos no Brasil tem apresentado crescimento expressivo, refletindo a crescente valorização desse alimento na dieta da população devido seu elevado valor nutricional e custo acessível. De acordo com dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), em 2024 o consumo per capita de ovos no país atingiu aproximadamente 269 unidades por habitante ao ano. O Brasil figura entre os principais produtores mundiais de ovos, ocupando a quinta posição no ranking global de produção, sendo que a maior parte da produção nacional é destinada ao mercado interno. Estima-se que mais de 99% dos ovos produzidos no país sejam consumidos internamente, enquanto a participação das exportações permanece reduzida em relação ao volume total produzido (ABPA, 2024; FAO, 2023).

Apesar da relevância da avicultura de postura no cenário agropecuário nacional, a competitividade do Brasil no mercado internacional ainda enfrenta alguns desafios estruturais quando comparada a grandes produtores, como China e Estados Unidos. Entre os fatores que podem influenciar essa dinâmica destacam-se a predominância de sistemas produtivos de pequeno e médio porte, limitações de investimentos em tecnologia e infraestrutura, além da necessidade de avanços na eficiência produtiva ao longo da cadeia. Nesse contexto, o fortalecimento da produção nacional, aliado à melhoria da qualidade do produto e ao atendimento às exigências sanitárias e comerciais do mercado internacional, constitui passo importante para ampliar a competitividade do setor (ABPA, 2024; FAO, 2023).

O ovo de galinha é considerado alimento de elevado valor nutricional, pois apresenta composição equilibrada de macro e micronutrientes necessários ao desenvolvimento embrionário. Quando utilizado na alimentação humana, fornece nutrientes essenciais, como proteínas de alto valor biológico, vitaminas e minerais, além de apresentar alta digestibilidade e custo relativamente acessível, favorecendo sua inclusão na dieta de diferentes classes sociais. Dessa forma, o aumento do consumo desse alimento pode contribuir para a ampliação da demanda produtiva (Réhault-Godbert *et al* 2019).

Em virtude de ser um produto de origem animal, o ovo é perecível, necessitando de medidas adequadas para armazenamento, embalagem e transporte

com intenção de prolongar a vida de prateleira, o que normalmente não é tão priorizado por este apresentar-se como alimento que possui naturalmente sua própria embalagem (a casca).

Em consonância ao aumento no consumo de ovos, os consumidores têm sido mais exigentes quanto à qualidade dos produtos adquiridos, bem como o tempo de vida de prateleira destes. Sendo assim, no processo de produção de ovos comerciais, após a postura são coletados, embalados e levados para comercialização. Este processo pode durar normalmente alguns dias até que cheguem à mesa do consumidor, levando ao envelhecimento, diminuindo e/ou perdendo suas propriedades comprometendo sua qualidade. A falta de controle no tempo e na temperatura de armazenamento contribui significativamente para a perda da qualidade dos ovos. Quando armazenados por períodos prolongados em condições de temperatura ambiente, ocorrem alterações físicas, químicas e microbiológicas que comprometem parâmetros de qualidade interna e externa. No Brasil não existe obrigatoriedade de granjas e estabelecimentos comerciais manterem os ovos refrigerados até que estes sejam comercializados. Dessa forma, condições inadequadas de armazenamento ao longo da cadeia de comercialização e durante o armazenamento doméstico podem acelerar o processo de deterioração do produto (Drabik *et al.*, 2021; Yamak *et al.*, 2020).

Portanto, objetivou-se avaliar a qualidade interna e externa de ovos de poedeiras comerciais submetidos a diferentes tempos de armazenamento, embalagem e temperatura de armazenamento.

REFERÊNCIAL TEÓRICO

Panorama nacional de produção de ovos

A produção de ovos no Brasil tem apresentado crescimento contínuo nos últimos anos, impulsionada principalmente pelo aumento do consumo interno e pela competitividade do setor avícola. De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2023), o Brasil permanece entre os maiores produtores mundiais de ovos, com produção anual superior a 50 bilhões de unidades.

O consumo per capita também apresentou avanço significativo, passando de cerca de 190 ovos/habitante/ano em 2017 para valores 269 ovos/habitante/ano no ano de 2024, refletindo a maior aceitação do produto pela população, especialmente devido ao seu alto valor nutricional e custo acessível (ABPA, 2024).

A maior parte da produção nacional é destinada ao mercado interno, sendo a exportação ainda pouco expressiva. Esse cenário demonstra a forte dependência do consumo doméstico para a sustentação do setor. Estados como São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo destacam-se como os principais polos produtores do país (ABPA, 2024).

Além disso, observa-se tendência de maior exigência dos consumidores quanto à qualidade e segurança dos alimentos, o que tem impulsionado melhorias nos sistemas de produção, armazenamento e comercialização de ovos. Nesse contexto, fatores como temperatura, tempo de armazenamento e tipo de embalagem tornam-se determinantes para a manutenção da qualidade do produto até o consumo final. Dessa forma, parte-se da hipótese de que a refrigeração e o uso de embalagem durante o armazenamento contribuem para reduzir a perda da qualidade interna dos ovos ao longo do tempo, mantendo parâmetros como Unidade Haugh e gravidade específica em níveis mais elevados quando comparados ao armazenamento em temperatura ambiente e sem embalagem.

Composição do ovo

O ovo é considerado um alimento de elevado valor nutricional, por apresentar diversos nutrientes essenciais como colina, vitaminas A, D, E, B3 e B6, minerais como zinco, magnésio, cálcio e potássio, além de compostos bioativos como luteína e zeaxantina. Esses nutrientes exercem função relevante na regulação e no funcionamento do sistema imunológico, desenvolvimento cerebral, manutenção dos ossos e funções musculares (ABPA, 2025).

O ovo apresenta-se como alimento de alto valor biológico, valor este atribuído principalmente por sua composição (TABELA 1). Possui aminoácidos essenciais em quantidades necessárias para o desenvolvimento de uma vida (quando pensamos em ovos fertilizados). Como se trata da célula reprodutiva da galinha, o ovo produzido comercialmente (não fecundado) contém os mesmos nutrientes

essenciais quando comparados a ovos utilizados na incubação (fecundados) e que enriquecem a alimentação de quem os consome.

Tabela 1- Composição do ovo em umidade (U), energia (E), proteína (P), lipídeos (L), colesterol (Col), carboidratos (CHO), cinzas (Cin), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) a cada 100g.

	U	E		P	L	Col	CHO	Cin	Ca	Mg
	(%)	(Kcal)	(KJ)	(g)	(g)	(mg)	(g)	(g)	(mg)	(mg)
Ovo de galinha, inteiro, cru	76,6	135	563	11,3	9,05	361	2,13	0,89	40,4	10,7
Ovo de codorna, inteiro, cru	73,6	157	652	13,1	11,1	260	1,11	1,07	57,3	10,5
Ovo de galinha, inteiro, frito	63,5	235	974	15,6	18,6	516	1,19	1,10	72,9	16,3
Ovo de galinha, inteiro, cozido/10 min	78,7	125	522	10,4	8,7	364	1,38	0,80	43,2	9,87

Fonte: Adaptado Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA, 2025).

Qualidade do ovo

O ovo pode ser entendido como o resultado do processo biológico altamente eficiente realizado pelas aves poedeiras, as quais são capazes de converter ingredientes alimentares de menor valor biológico em alimento de elevado valor nutricional para o consumo humano. Essa eficiência está diretamente associada a fatores como a genética das aves, a qualidade da alimentação, as condições de manejo e o ambiente de criação, que influenciam tanto a composição quanto a qualidade final do produto (Bertechini, 2004).

Entretanto, por se tratar de produto de origem animal, o ovo apresenta alta perecibilidade e, após a postura, inicia um processo gradual de perda de qualidade interna quando não são adotadas condições adequadas de armazenamento. Essa deterioração ocorre de forma contínua e inevitável ao longo do tempo, podendo ser intensificada por fatores ambientais, como temperatura e umidade relativa, além do estado nutricional das aves poedeiras (Lana *et al.*, 2017).

A qualidade do ovo é determinada por atributos externos e internos que influenciam sua conservação ao longo do tempo. A casca atua como a principal

barreira física, conferindo proteção contra danos mecânicos e a entrada de microrganismos, além de participar das trocas gasosas com o meio. O albúmen, por sua vez, exerce importante função protetora, tanto por sua viscosidade, que dificulta a movimentação de microrganismos, quanto pela ação das chalazas, que mantêm a gema centralizada, reduzindo o risco de contaminação (Oliveira, 2017).

A avaliação da qualidade dos ovos é importante para a caracterização de seu frescor e das condições de conservação, sendo realizada por meio de parâmetros físico-químicos como Unidade Haugh, índice de gema, altura do albúmen e densidade específica. Durante o armazenamento, a perda de água e dióxido de carbono através da casca desencadeia alterações como aumento do pH, liquefação do albúmen e enfraquecimento da membrana vitelínica, resultando na redução da qualidade interna (Carvalho, 2021).

No entanto, a qualidade dos ovos pode ser analisada sob diferentes perspectivas ao longo da cadeia produtiva. Para os produtores, relaciona-se principalmente ao peso e à integridade da casca, incluindo limpeza e ausência de defeitos. Para os consumidores, está associada ao prazo de validade e às características sensoriais, como a coloração da gema e da casca. Já para a indústria, destacam-se atributos tecnológicos, como a facilidade de descascamento e as propriedades funcionais, especialmente a capacidade de emulsificação e aglutinação (Oliveira, 2017).

Do ponto de vista científico, a qualidade dos ovos está relacionada ao seu grau de frescor e à integridade de suas estruturas internas e externas. Ovos de qualidade apresentam casca limpa, íntegra e resistente, albúmen espesso e consistente, além de gema bem centralizada e com membrana vitelínica firme, o que contribui para a manutenção de sua estabilidade. Essas características refletem condições adequadas de produção e conservação, estando diretamente associadas à preservação do valor nutricional e da segurança do produto (Embrapa, 2023).

Unidade haugh

A Unidade Haugh é utilizada como indicador da qualidade interna de ovos e apresenta variação conforme as condições de armazenamento. De acordo com

estudos, a elevação do tempo e da temperatura de armazenamento promove redução nos valores desse índice, refletindo alterações na estrutura do albúmen e consequente perda de qualidade interna. Esses resultados evidenciam a sensibilidade da Unidade Haugh às condições de conservação, sendo, portanto, parâmetro eficiente para avaliar a manutenção da qualidade dos ovos ao longo do armazenamento (Henriques *et al.*, 2018; Lana *et al.*, 2018).

A determinação da Unidade Haugh baseia-se na mensuração do peso do ovo e da altura do albúmen, seguindo metodologia padronizada. Os ovos são pesados individualmente e quebrados sobre superfície plana e lisa, sendo a altura do albúmen medida com micrômetro ou paquímetro digital, com leituras repetidas para maior precisão. Posteriormente, os dados de peso e altura são aplicados na equação da Unidade Haugh (Equação 1), permitindo estimar a qualidade interna do ovo, sendo necessária a padronização das medições para evitar interferências nos resultados (Silva *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2024).

Equação 1- Equação da unidade Haugh

$$UH = 100x \log(H - 1,7W^{0,37} + 7,57)$$

Onde:

UH - Unidade Haugh;

H - Altura do albúmen em milímetros;

W - Peso do ovo em gramas.

Mudanças no ovo de acordo com o período de armazenamento

Após a postura, os ovos passam por contínuo processo de perda de qualidade, decorrente de alterações físico-químicas e estruturais que ocorrem ao longo do tempo de armazenamento. Entre as principais mudanças, destacam-se a perda de água e dióxido de carbono através da casca, o aumento do pH e redução da viscosidade do albúmen, comprometendo também a integridade da gema (Alleoni *et al.*, 2001; Borba *et al.*, 2021). O tempo e as condições de armazenamento influenciam diretamente a velocidade dessas alterações. Ovos mantidos em temperatura ambiente apresentam deterioração mais acelerada,

com redução significativa da unidade Haugh, da gravidade específica e da qualidade interna geral. Por outro lado, a refrigeração contribui para a manutenção dessas características, retardando as reações bioquímicas e preservando a qualidade do produto por mais tempo (Xavier *et al.*, 2008; Kraemer *et al.*, 2010).

De acordo com Freitas *et al.* (2011), ovos submetidos a diferentes condições de armazenamento apresentam variações significativas em parâmetros de qualidade, sendo observado que ambientes refrigerados promovem menor perda de peso e melhor conservação das características internas quando comparados àqueles armazenados sem controle de temperatura. Esses resultados reforçam que a refrigeração é fator determinante na preservação da qualidade dos ovos comerciais.

No Brasil, a produção e comercialização de ovos são regulamentadas principalmente pelo Decreto nº 9.013 de 2017 (RIISPOA), atualizado pelo Decreto nº 10.468 de 2020, que estabelece diretrizes gerais para inspeção e qualidade dos produtos de origem animal. No entanto, a legislação não determina de forma obrigatória a refrigeração dos ovos ao longo de toda a cadeia de comercialização, o que resulta em variações nas práticas de armazenamento entre estabelecimentos. Órgãos como o Ministério da Agricultura e Pecuária e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária fornecem orientações complementares sobre boas práticas, visando garantir a segurança do alimento. Em contraste, países como os Estados Unidos adotam a refrigeração obrigatória durante toda a cadeia produtiva. Estudos mais recentes indicam que, independentemente das condições de armazenamento, a qualidade dos ovos diminui progressivamente com o tempo, sendo essa redução mais acentuada em condições inadequadas de temperatura e umidade (Borba *et al.*, 2021; Henriques *et al.*, 2018). Dessa forma, embora a perda de qualidade seja inevitável, o armazenamento sob refrigeração é uma estratégia eficaz para retardar esse processo, garantindo maior vida útil e melhor qualidade do produto até o consumo final.

MÉTODOS

Foram coletados 240 ovos de aves poedeiras semipesadas da linhagem Hy-line Brown com 26 semanas de idade, alojadas em mesmo galpão sob mesmas condições e recebendo mesma dieta na Fazenda Experimental Hamilton

Abreu Navaro (FEHAN) Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG) *Campus* Montes Claros. Os ovos foram distribuídos nos tratamentos experimentais, totalizando 15 repetições por tratamento ($n = 15$), considerando-se um ovo como unidade experimental. A coleta foi realizada no mesmo dia e horário às 10h00, os ovos foram levados para laboratório de toxicologia da mesma instituição para identificação por meio de numeração individual com grafite, pesagem de cada ovo em balança digital de precisão e separação em bandejas de papel com capacidade para 15 ovos cada.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial $2 \times 2 \times 4$, sendo o fator 1: temperatura de armazenamento (refrigerado e ambiente); fator 2: tipo de embalagem (com filme de PVC e sem embalagem); e fator 3: tempo de armazenamento (1, 7, 14 e 21 dias), totalizando 16 tratamentos. Foram utilizadas 15 repetições por tratamento, considerando-se um ovo como unidade experimental. O uso do filme de PVC como material de embalagem foi adotado devido às suas propriedades de permeabilidade seletiva ao vapor de água e aos gases, especialmente ao CO_2 . Essa característica permite a redução da perda de umidade e a menor difusão de gases através da casca do ovo durante o armazenamento, contribuindo para a manutenção da qualidade interna. A diminuição da perda de CO_2 está diretamente relacionada à preservação do pH do albúmen, retardando alterações estruturais e funcionais das proteínas, o que pode refletir em melhores valores de Unidade Haugh ao longo do período de estocagem.

Mensurações foram realizadas aos um, sete, 14 e 21 dias de armazenamento, consideradas características dos ovos: peso; gravidade específica; peso, altura, diâmetro, índice de gema; peso, altura de albúmen; espessura de casca e coloração de gema.

Para obtenção dos dados de gravidade específica, utilizou-se aparelho projetado para realizar peso do ovo no ar e peso do ovo na água pelo princípio de Arquimedes. Os valores de gravidade específico, expressos em g/ml H_2O , foram obtidos pela Equação 2.

Equação 2- Equação para valores de gravidade específica

$$\frac{\text{Peso do ovo no ar}}{(\text{Peso do ovo no ar}) - (\text{Peso do ovo na água})}$$

Depois de quebrados dispôs em bancada plana realizando as demais mensurações de altura de albúmen, altura e diâmetro de gema com paquímetro digital. Após mensurações com paquímetro a gema foi separada manualmente e pesada para cálculo do peso do albúmen, que foi obtido pela diferença do peso do ovo, peso da gema e peso da casca.

A casca, após os ovos serem quebrados, foram colocadas em suas respectivas bandejas e pesadas 24 horas depois em balança digital de precisão. Para mensurar a espessura da casca foi utilizado um micrometro. Todos os procedimentos seguiram os métodos descritos por Dalanezi (2004). O cálculo da unidade Haugh foi realizado de acordo com a Equação 3.

Equação 3- Equação para cálculo da unidade Haugh

$$UH = 100 \times \log (H + 7,52 \times W^{0,37})$$

H= Altura do albúmen

W= Peso do ovo

UH= expressão matemática que correlaciona o peso do ovo com a altura da gema ou clara espessa.

Os dados foram analisados com auxílio do programa Sistema para Análise Estatística e Genética - SAEG (2009), submetidos a análise de variância. Quando detectada diferença significativa entre os fatores avaliados realizou-se comparação de médias pelo teste Fisher ou pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS

Os tratamentos submetidos à refrigeração foram acondicionados em geladeira apresentando temperatura média entre 0 e 3,0°C, e umidade relativa média variando entre 35 e 69%. Os ovos dos tratamentos acondicionados sob

temperatura ambiente, colocados e mantidos em bancadas no qual havia um termômetro para aferir a temperatura do ambiente (Tabela 2), a qual variou de 23,6 a 27,5 °C, e umidade relativa média apresentou variação entre 37 e 81%.

Tabela 2 - Valores observados de temperatura média dos diferentes ambientes de armazenamentos dos ovos.

Tempo de Armazenamento	Ambiente de Conservação	Temperatura Média (°C)
1	Com refrigeração	1,0
	Temperatura ambiente	25,9
7	Com refrigeração	0
	Temperatura ambiente	27,5
14	Com refrigeração	3,0
	Temperatura ambiente	26,4
21	Com refrigeração	1
	Temperatura ambiente	23,6

Fonte: Do autor.

Não houve efeito significativo para interações dos fatores avaliados. Entretanto, ao analisar isoladamente os fatores, observou-se efeito significativo dos tempos de armazenamento sobre o peso da casca, espessura da casca, gravidade específica, peso da gema, peso do albúmen e Unidade Haugh (Tabela 3). Para peso do ovo não foi observada diferença significativa.

Tabela 3 - Tempo de armazenamento (TA) sobre a qualidade externa e interna de ovos de poedeiras comerciais.

TA (dias)	Peso do Ovo (g)	Peso da Casca (g)	Espessura de Casca (mm)	Gravidade Específica (g/cm³)	Peso da Gema (g)	Peso do Albúmen (g)	Unidade Haugh (g)
1	59,94	5,87 c	0,62 b	1,21 a	16,44 c	37,29 a	84,13 a
7	56,69	6,18 b	0,60 c	1,09 b	16,88 bc	35,12 ab	76,11 b
14	59,29	6,79 a	0,66 a	1,08 bc	17,77 ab	33,80 b	68,14 c
21	61,71	6,26 b	0,64 a	1,07 c	17,77 a	34,93 ab	75,34 b
CV	8,29	9,91	7,08	3,38	15,69	15,75	14,49

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Tukey 5% probabilidade; CV=coeficiente de variação.

Observou-se maior peso de casca em ovos armazenados por 14 dias. O peso da gema foi maior em ovos armazenados por 21 dias, enquanto o peso do albúmen apresentou maiores valores em ovos estocados por apenas um dia de armazenamento, reduzindo-se gradativamente com o aumento do período de estocagem.

Para a Unidade Haugh, os maiores valores foram observados em ovos com um dia de armazenamento. Quanto à temperatura de armazenamento, observou-se que a gravidade específica, o peso do albúmen e a Unidade Haugh apresentaram melhores resultados para os ovos mantidos sob refrigeração (Tabela 4).

Tabela 4 - Temperatura de armazenamento (TA) ambiente e refrigerado sobre qualidade externa e interna de ovos de poedeiras comerciais.

TA	Peso do Ovo (g)	Peso Casca (g)	Espessura da Casca (mm)	Gravidade Específica (g/cm ³)	Peso da Gema (g)	Peso do Albúmen (g)	Unidade Haugh (g)
Ambiente	59,90	6,26	0,63	1,10b	17,53	34,48b	69,25b
Refrigerado	60,10	6,25	0,63	1,12a	17,40	36,09a	83,11a

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Fisher 5% probabilidade

Em relação ao uso de embalagem, observaram-se maiores pesos de gema em ovos mantidos sem refrigeração, enquanto para Unidade Haugh foram obtidos melhores valores em ovos mantidos sob refrigeração (Tabela 5).

Tabela 5 - Efeito do uso ou não de embalagem PVC sobre qualidade externa e interna de ovos de poedeiras comerciais.

Embalagem PVC	Peso do Ovo (g)	Peso da Casca (g)	Espessura de Casca (mm)	Gravidade Específica (g/cm ³)	Peso da Gema (g)	Peso do Albúmen (g)	Unidade Haugh (g)
Com	60,18	6,27	0,63	1,11	17,31 b	35,30	77,52 a
Sem	59,82	6,24	0,63	1,10	17,62 a	35,27	74,84 b

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Fisher 5% probabilidade

DISCUSSÃO

Embora no presente estudo tenham sido utilizados ovos provenientes de aves com idade mais avançada, os resultados obtidos para peso da casca com um dia de armazenamento foram próximos aos relatados por Figueiredo *et al.*

(2011), que avaliaram essa característica em aves jovens. Lana *et al.* (2017) relataram que, com o aumento do período de estocagem dos ovos, a casca tende a perder peso tanto em temperatura ambiente quanto em temperaturas mais baixas, comportamento que não foi observado neste estudo.

Para a gravidade específica (GE), os melhores resultados foram observados com um dia de armazenamento. Quando a GE dos ovos é determinada por imersão em água, com base no princípio de Arquimedes, os valores podem ultrapassar 1,100, que corresponde ao valor máximo observado em soluções salinas utilizadas nesse tipo de avaliação (Freitas *et al.*, 2004). O maior peso da gema observado em ovos armazenados por 21 dias pode ser explicado pela migração osmótica de água do albúmen para a gema, decorrente da degradação progressiva da membrana vitelínica ao longo do período de armazenamento. Esse processo reduz a resistência da membrana, facilitando a transferência de água e solutos, o que resulta no aumento do volume e, conseqüentemente, do peso da gema, comportamento semelhante ao relatado por Garcia *et al.* (2010).

O peso do albúmen apresentou maiores valores em ovos armazenados por apenas um dia, reduzindo-se gradativamente com o aumento do tempo de armazenamento, comportamento semelhante ao descrito por Alleoni *et al.* (2001).

Alleoni *et al.* (2001), ao estudarem ovos frescos armazenados em temperatura ambiente (25 °C) e sob refrigeração (8 °C) durante sete, 14 e 21 dias, verificaram que a Unidade Haugh diminuiu com o aumento do tempo de armazenamento dos ovos. No presente estudo, os maiores valores de Unidade Haugh também foram observados em ovos com menor tempo de estocagem. Henriques *et al.* (2018) observaram que a gravidade específica foi influenciada pela temperatura e pelas condições de armazenamento, comportamento semelhante ao observado neste trabalho.

Ovos mantidos sob refrigeração tendem a manter a qualidade interna e externa por maior período quando comparados aos mantidos em temperatura ambiente. Além disso, quando acondicionados em embalagens plásticas, os ovos tendem a preservar melhor sua qualidade em relação àqueles armazenados sem embalagem (Viana *et al.*, 2017). Ovos armazenados em embalagem plástica de PVC apresentaram maiores valores de Unidade Haugh quando comparados aos sem embalagem, corroborando os resultados reportados por

Lana *et al.* (2018), que observaram maiores valores desse parâmetro em ovos mantidos sob refrigeração.

Importante ressaltar que por mais que não ocorra obrigatoriedade por meio da legislação vigente quanto ao acondicionamento dos ovos sob refrigeração, os resultados observados reforçam a importância desse armazenamento para promover maior tempo de prateleira para os ovos comerciais, visto que se trata de um alimento perecível que inicia seu processo de desnaturação e perda de qualidade logo após a postura. Sendo assim, para garantir manutenção da qualidade desse produto desde a saída da indústria até o seu consumo que recebe um prazo de validade de 30 dias, se faz necessário a sua refrigeração.

CONCLUSÃO

Diante do exposto, conclui-se que para melhoria na qualidade interna de ovos comerciais recomenda-se o armazenamento sob refrigeração como estratégia para manutenção da qualidade interna. E, quando possível, não os armazenar por muito tempo, pois após um dia de armazenamento ocorre gradativa piora na qualidade interna. Para melhor qualidade de casca com base na gravidade específica de ovos os melhores resultados são obtidos em ovos armazenados por menor tempo e mantidos sob refrigeração.

Como a unidade Haugh é utilizada para controle de qualidade industrial do ovo, com base neste estudo recomenda-se que o tempo de armazenamento dos ovos não ultrapasse sete dias, caso não se utilize refrigeração; caso armazenado sob refrigeração consegue-se manter um pouco melhor os valores de unidade Haugh.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). Relatório Anual 2023. São Paulo: ABPA, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). Relatório Anual 2024. São Paulo: ABPA, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). Relatório Anual 2025. São Paulo: ABPA, 2025. 43 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Regulamentos técnicos e orientações sobre segurança alimentar. Brasília, 2021.

ALLEONI, A. C. C.; ANTUNES, A. J. Unidade Haugh como medida da qualidade de ovos de galinha armazenados sob refrigeração. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 4, 2001.

BERTECHINI, A. G. Nutrição de monogástricos. Lavras: UFLA, 2004.

BRASIL. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 mar. 2017.

BORBA, H. R.; SILVA, F. A.; OLIVEIRA, M. E. Qualidade interna de ovos submetidos a diferentes condições de armazenamento. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 23, n. 2, 2021.

CARVALHO, C. L. *et al.* Qualidade de ovos e vida de prateleira. *In*: Zootecnia: pesquisa e práticas contemporâneas. Editora Científica Digital, 2021. p. 237-255.

DALANEZI, J. A. Principais métodos práticos de determinação da qualidade dos ovos. Botucatu: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2004.

DRABIK, K.; PRÓCHNIAK, T.; SPUSTEK, D.; WENGERSKA, K.; BATKOWSKA, J. The impact of package type and temperature on the changes in quality and fatty acids profile of table eggs during their storage. **Foods**, v. 10, n. 9, p. 2047, 2021.

EMBRAPA. Qualidade e segurança do consumo de ovos. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2023.

FIGUEIREDO, T. C. *et al.* Qualidade de ovos comerciais submetidos a diferentes condições de armazenamento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 3, p. 172-720, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). FAOSTAT: Crops and Livestock Products – Eggs, hen, in shell. Rome: FAO, 2023.

FREITAS, L. W. *et al.* Aspectos qualitativos de ovos comerciais submetidos a diferentes condições de armazenamento. **Revista Agrarian**, v. 4, p. 66–72, 2011.

GARCIA, E. R. M. *et al.* Qualidade de ovos de poedeiras semipesadas armazenados em diferentes temperaturas e períodos de estocagem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 11, n. 2, p. 505-518, 2010.

HENRIQUES, J. K. S. *et al.* Qualidade de ovos comerciais submetidos a diferentes condições de armazenamento. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 12, n. 2, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção de ovos de galinha. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

LANA, S. R. V. *et al.* Efeito da temperatura e período de armazenamento sobre a qualidade de ovos de poedeiras. **Archivos de Zootecnia**, v. 67, n. 257, 2018.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Manual de boas práticas para produção de ovos comerciais. Brasília, 2020.

OLIVEIRA, A. C. G. *et al.* Indicadores de qualidade de ovos de galinha *in natura*. 2017.

RÉHAULT-GODBERT, S.; GUYOT, N.; NYS, Y. The Golden Egg: Nutritional Value, Bioactivities, and Emerging Benefits for Human Health. **Nutrients**, v. 11, n. 3, 2019.

SILVA, J. F. *et al.* Avaliação da qualidade interna de ovos comerciais. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, 2021.

SOUZA, M. A. *et al.* Qualidade de ovos de galinhas poedeiras em diferentes sistemas de criação. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 2, 2024.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). Centro de Pesquisa em Alimentos (FoRC). Versão 7.3. São Paulo, 2025.

VIANA, B. C.; GOMES, F. A.; SILVA, R. F.; FREITAS, H. J. Qualidade de ovos produzidos e submetidos a diferentes condições de armazenamento na Amazônia Ocidental, Acre - Brasil. **Arquivo de Ciência Veterinária e Zoologia**, v. 20, n. 4, p. 201-206, 2017.

XAVIER, I. M. C. *et al.* Qualidade de ovos de consumo submetidos a diferentes condições de armazenamento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 2008.

YAMAK, U. S.; SARIÇA, M.; ERENDOY, K.; AYHAN, V. The effects of storage conditions on quality changes of table eggs. **Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit**, v. 16, n. 1, p. 71-81, 2020.

PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SILAGEM DE FORRAGEIRAS DE INVERNO EM SISTEMAS DE TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA

Ana Aline de Oliveira Kolcheski

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Susamara Souza Silva

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Monica Bertoncelli

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Cassio Silva Matos

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Edi Kava Kailer

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Jonatas Cattelam

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

RESUMO

A transição para sistemas de produção agroecológicos tem se consolidado como estratégia fundamental para a promoção da sustentabilidade na agropecuária, visando à redução dos impactos ambientais e à conservação dos recursos naturais. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi discutir a importância das forrageiras de inverno na produção de silagem em sistemas de transição agroecológica, bem como os fatores que influenciam sua qualidade e produtividade. A pecuária brasileira apresenta elevada demanda por alimentos ao longo do ano, sendo a sazonalidade na produção de forragens um dos principais desafios, especialmente no período de inverno. Assim, a utilização de forrageiras adaptadas a essa estação, associada à conservação na forma de silagem, constitui alternativa eficiente para garantir a alimentação dos rebanhos e a manutenção dos índices produtivos. Espécies como aveia, trigo, azevém, centeio e cevada destacam-se pelo potencial produtivo, qualidade nutricional e versatilidade de uso. A qualidade da silagem está diretamente relacionada a fatores como fertilidade do solo, manejo agrônômico, estágio de desenvolvimento das plantas e condições de ensilagem, incluindo corte no momento adequado, tamanho de partícula, compactação e vedação do silo. No contexto agroecológico, a utilização de adubos orgânicos contribui para a melhoria da fertilidade do solo, aumento da atividade biológica e redução dos custos de produção, além de favorecer a sustentabilidade ambiental. Dessa forma, a integração entre forrageiras de inverno, produção de silagem e práticas agroecológicas representa alternativa promissora para sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis.

Palavras-chave: Agroecologia; forrageiras de inverno; silagem; adubação orgânica; produção animal.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção agroecológicos têm como objetivo a produção de alimento em quantidade e qualidade de maneira sustentável, visando a diminuição dos impactos sociais e ambientais decorrentes das explorações agropecuárias, como a erosão do solo, contaminação das águas, diminuição da biodiversidade, entre outros fatores. Para iniciar um sistema de produção agroecológico faz-se necessário passar por um sistema de transição agroecológica (Pacheco *et al.*, 2021).

A transição agroecológica trata-se de um processo de mudança gradual do sistema convencional para o agroecológico, fator importante para evitar perdas significativas na produtividade devido a mudança no manejo do solo, principalmente, até que o sistema atinja equilíbrio, além de auxiliar no controle gradativo das pragas durante a implantação do novo sistema. Logo, no período de transição ainda é permitido o uso de insumos agroquímicos, no entanto, em menor quantidade, adequando o manejo para uso de adubos orgânicos e produtos biológicos para controle de pragas (Medeiros, Carvalho e Strassburger, 2011; Pacheco *et al.*, 2021).

A pecuária tem grande participação na produção de alimentos no Brasil, sendo fonte da proteína através da carne, dos ovos e do leite, principalmente. E a alimentação desses animais é responsável por parte expressiva da produção agrícola no país, ocupando espaço para produção de grãos para fabricação de ração e também destinados às pastagens e produção de cereais próprios para a produção de silagem, nesse último principalmente o milho. Como os animais necessitam de alimentação durante todo o ano, pode ocorrer a ausência de rotatividade de culturas, o que prejudica a qualidade do solo.

A ausência de rotatividade pode ser justificada pela baixa oferta de forragens de qualidade nos meses de inverno, tornando-se necessária a armazenagem de alimento para este período durante o verão, reduzindo a escassez de alimento e garantindo a manutenção dos índices zootécnicos dos rebanhos bovinos. (Fontaneli e Fontaneli, 2009; Lehmen *et al.*, 2014).

Na região Sul do Brasil pode-se considerar comum a utilização de forrageiras de inverno, utilizadas em cultivo singular ou consorciado, em áreas integradas

com cultivos estivais (grãos ou pastos de verão), ou sobressemeadas em pastagens naturais (Nabinger, 2006). No entanto, uma das formas de melhor explorar a produtividade dessas forrageiras na produção animal, está a possibilidade de empregá-las na produção de forragens conservadas, pois esses cereais podem ser utilizados para produção de feno, pré-secado, grãos, pastagens, cobertura de solo e silagem (Fontaneli e Fontaneli, 2009). Dessa forma, aumenta a possibilidade de produção de alimento para os animais e forragens conservadas no período de inverno (Fontaneli e Fontaneli, 2009).

A produtividade e qualidade da silagem obtida pode variar bastante em virtude da fertilidade do solo utilizado e da qualidade e quantidade de fertilizantes empregados na produção forrageira. Em geral, são utilizados fertilizantes químicos, tanto como adubação de base como de cobertura, porém em transição agroecológica deve-se buscar por alternativas orgânicas para a adubação do solo, como por exemplo a cama de frango que é mais rica em nutrientes, chegando a apresentar até duas ou três vezes mais nitrogênio, fósforo e potássio somados, quando comparado a esterco de outros animais (Kiehl, 2010). Desse modo, o presente estudo teve por objetivo descrever a produtividade e qualidade da silagem de diferentes espécies de forrageiras de inverno em sistema de transição agroecológica.

DESENVOLVIMENTO

A região Sul apresenta grande potencial produtivo para as forrageiras de inverno, sendo utilizadas para a produção de grãos, cobertura no sistema de plantio direto e pastagens (Fontaneli e Fontaneli, 2009). Desta forma, essas forrageiras podem ser utilizadas para pastejo durante seu crescimento, apresentando elevados níveis de digestibilidade e proteína, associados a baixos teores de fibra (Fontaneli e Fontaneli, 2012), ou para a produção de silagem, a qual permite estocar alimento de qualidade por longos períodos, porém, ainda é pouco empregada nesses casos.

As plantas mais utilizadas para a confecção de silagem são o milho, a partir da planta inteira, ou apenas do grão para silagem de grão úmido, sorgo, gramíneas tropicais e, além dessas, podem ser utilizadas as pastagens de azevém e tifton (Horn, 2013). Entretanto, há necessidade de estudar a utilização de novas

culturas na confecção da silagem, no sentido de reduzir os custos de produção, bem como de diversificar as opções. Segundo Bumbieris Junior *et al.* (2011) a aveia possui várias finalidades, podendo ser utilizada na produção de grãos (aveia branca), cobertura de solo para plantio direto (aveia preta) e produção de forragem para pastejo, corte ou conservada como feno ou silagem. Atualmente a aveia branca e a aveia preta, além do trigo, também passaram a ser utilizados como alternativa para a produção de silagem (Fontaneli, Fontaneli e Santos, 2009).

A qualidade da silagem não está relacionada apenas ao solo e as plantas utilizadas para sua confecção, mas também com o processo de ensilagem em si, e dentro deste processo pode-se considerar a avaliação da forrageira para determinar o ponto adequado de corte, o tamanho das partículas, compactação, vedação e abertura do silo. Todos os fatores citados influenciam na qualidade do processo fermentativo, resultando em um material bem conservado e sem expressivas perdas de nutrientes, garantindo que a forragem conservada mantenha valores nutricionais desejáveis e boa digestibilidade (Macêdo e Santos, 2019).

O processo fermentativo adequado é crucial para obtenção de silagem com qualidade, portanto é necessário compreender como ocorre este processo e fornecer o ambiente ideal para isto. Durante o período de pré-fechamento do silo, ou seja, enquanto o material é colhido e compactado, ocorrem perdas expressivas devido a atividade celular e multiplicação de microrganismos aeróbios, logo esse período deve ser o mais breve possível. Após a vedação do silo ocorre a fase de fermentação ativa, devido a ação de microrganismos anaeróbios, principalmente bactérias ácido lácticas, o que resulta em expressiva queda de pH, conservando o alimento e o mantendo estável (Silva *et al.*, 2014; Macêdo e Santos, 2019).

O material permanece estável até a abertura do silo, quando terá novamente contato com o oxigênio. Nesta fase é necessário planejar com antecedência a quantidade de material a ser retirado diariamente para determinar a dimensão do silo, além de considerar a compactação, pois materiais bem compactados terão menor penetração pelo ar e menor chance de deterioração, possibilitando a retirada de fatias menores comparados a materiais pouco compactados (Silva *et al.*, 2014; Macêdo e Santos, 2019).

Forrageiras de inverno para produção de silagem

O uso de forrageiras de estação fria para produção de silagem possui inúmeras vantagens como o aproveitamento da terra no período do inverno, produção de volumosos de qualidade, com maiores teores de proteína e de boa digestibilidade, geração de renda com a possibilidade de produção de grãos durante o verão (Fontaneli e Fontaneli, 2009).

Em relação as aveias branca ou preta, ambas podem ser cultivadas no outono/inverno para a produção de grãos e/ou forragem, sendo boa alternativa para suprir as deficiências de pastagens nativas ou cultivadas tropicais, que apresentam valor nutritivo reduzido no fim da estação quente (Boller, 2012). As aveias branca ou preta também possuem efeito prolongado sobre as plantas daninhas, mantendo o terreno com baixas infestações por até 85 dias (Woecichoshi *et al.*, 2018).

A aveia branca possui alta qualidade e fácil semeadura, além de manejo simplificado que permite ao produtor tanto a utilização para pastagem, capineira, pré-secado e na forma de silagem, possibilitando oferta de forragem com qualidade e boa quantidade nos períodos de vazio forrageiro (Nunes *et al.*, 2011; Woecichoshi *et al.*, 2018). Porém, ela necessita de condições de temperatura, luminosidade, suprimento hídrico e umidade adequada para ter bom desempenho. Esses requisitos são basicamente baixas temperaturas, da germinação até o enchimento de grãos, sendo a temperatura ideal, para o seu máximo rendimento de 9,0° a 15°C, dessa forma considerada como planta de estação fria. No período de maturação essa cultivar é mais tolerante a altas temperaturas diurnas, baixas temperaturas noturnas e baixa umidade.

A aveia preta é uma gramínea de inverno, rústica, não muito exigente em fertilidade de solo, tolerante à acidez, que fornece excelente cobertura do solo por produzir alta quantidade de matéria seca e apresentar boa resposta à adubação nitrogenada e fosfatada, através do aumento da produção de biomassa (Dickmann, 2015), assemelhando-se muito a aveia branca. Porém, com a maturação os valores nutricionais da aveia branca e da aveia preta alteram-se, modificando a relação entre folhas e colmos, reduzindo a digestibilidade e a concentração de proteína, aumentando o teor de fibra.

O trigo é uma gramínea anual que se desenvolve no inverno. A maior parte das cultivares de trigo é desenvolvida e semeada para a produção de farinha (Fontaneli *et al.*, 2012). Porém, existem variedades de trigo que são indicadas para a produção de silagem, sendo essa cultura considerada bastante versátil. De acordo com Rosário *et al.* (2012) a cultura do trigo pode produzir de 1,5 a 2,5 vezes mais silagem que gramíneas não graníferas de clima temperado, alcançando níveis de produção superiores a 10.000 kg/ha de matéria seca (MS). Dessa forma, ressalta-se que o trigo se apresenta como uma cultura de notável valor forrageiro e destacado valor nutritivo, assumindo consequentemente, um papel de relevância substancial nos sistemas de produção animal notadamente quando destinado à ensilagem.

Qualidade da silagem de forrageiras de inverno

Para a obtenção de silagem de qualidade é necessário que a fermentação seja ideal, como consequência da anaerobiose no interior do silo, resultado da homogeneidade do material picado e compactação para total expulsão do ar (Amaral *et al.*, 2007). O processo fermentativo até a estabilização do pH ideal do material ensilado limita o crescimento de microrganismos indesejáveis, como é o caso de fungos, responsáveis por desenvolver micotoxinas (Gimenes *et al.*, 2005). Altas densidades no silo promovem a eliminação do oxigênio, garantindo a anaerobiose e reduzindo o custo de estocagem da forragem (Amaral *et al.*, 2007). Segundo Fontaneli e Fontaneli (2009), as forrageiras devem ser ensiladas com umidade entre 65 e 70% (equivalente a 30-35% de matéria seca), trituradas com tamanho adequado, bem compactadas, devidamente vedadas, assim resultando em silagem bem fermentada e de bom valor nutritivo.

O avanço dos estádios fenológicos da cultura aumenta a produção de MS, em contrapartida, podem reduzir o valor nutricional da silagem, devido ao aumento dos teores de compostos estruturais como a celulose, hemicelulose e a lignina, com redução do conteúdo celular (Wrobel, 2018). Quando a silagem possui teor de umidade elevado, poderá apresentar pH final acima do desejado, além da maior concentração de amônia, ácido butírico e redução na relação entre ácidos láctico/acético.

O valor nutritivo da silagem dos cereais de inverno é geralmente superior em proteína bruta ao da silagem de milho, mas com valor energético inferior devido à constituição anatômica, morfológica e físico-química (Fontaneli e Fontaneli, 2012) e menor quantidade de amido (Scheffer-Basso *et al.*, 2003). O teor de amido é responsável pelo fornecimento de energia aos ruminantes e está diretamente relacionada à produção de leite e carne. No entanto, quando ocorre o consumo excessivo do amido, a fermentação produzida pela sua digestão causa acidificação do rúmen e diminui a digestibilidade da fibra em detergente neutro, reduzindo o aproveitamento de nutrientes importantes, presentes no volumoso (Backman e Weiss, 2005; Dall'agnol *et al.* 2022).

Adubação orgânica na produção forrageira

A transição agroecológica é um sistema que se fundamenta em princípios ecológicos, afastando-se das abordagens convencionais. Seu objetivo primordial é fazer uso sustentável e responsável dos recursos naturais, adotando tanto métodos tradicionais quanto tecnologias ecológicas para a gestão da terra (Pacheco *et al.*, 2021). Os adubos orgânicos são materiais de origem animal ou vegetal, que podem ser classificados como resíduos ou rejeitos e desempenham um papel crucial na agricultura orgânica ou ecologicamente consciente. São altamente valorizados devido à sua capacidade de enriquecer a fertilidade de solos de baixa qualidade, além de ser uma alternativa mais barata para o produtor. Sua abundância de nutrientes estimula e intensifica a atividade biológica do solo (Weinärtner *et al.*, 2006).

O destino inadequado de resíduos orgânicos provenientes de atividades agrícolas pode resultar em sérios impactos ambientais, como a eutrofização de corpos d'água, entre outros. Portanto, torna-se essencial a destinação ambientalmente correta desses resíduos. Nesse contexto, a adubação orgânica emerge como um método de revitalização do solo. Esse processo não apenas é economicamente viável e sustentável, mas também contribui para a captura de carbono pelo solo, atuando como meio de mitigar o aumento de CO₂ na atmosfera, cujas principais fontes incluem a queima de combustíveis fósseis e práticas agrícolas. Dessa forma, a disposição adequada de resíduos orgânicos pode reintroduzir no solo parte do carbono previamente extraído (Finatto *et al.*, 2013).

A adubação orgânica na produção de forrageiras juntamente com o espaçamento de plantio, pode propiciar à planta condições favoráveis para o seu desenvolvimento, já que o espaçamento irá favorecer com que a cultivar tenha uma maior área de exposição à luz influenciando seu potencial produtivo. Por outra parte, a adubação orgânica deixará disponível uma maior quantidade de nutrientes para a planta, podendo modificar as características morfológicas e afetar o seu rendimento (Donato *et al.*, 2014). Silva *et al.* (2013) nos traz que a utilização de resíduos orgânicos, além de ser uma forma de diminuir o custo de produção de forrageiras e descarte apropriado para os mesmos, também será uma ótima alternativa para as pastagens, ofertando boas concentrações de nutrientes, em principal o nitrogênio.

Produção forrageira em propriedades de agricultura familiar

As culturas forrageiras são componentes essenciais dos agroecossistemas, fornecendo não só o alimento para os animais, como também contribuindo para práticas agrícolas sustentáveis para a estabilidade econômica e ambiental a longo prazo.

A produção de forragem desempenha um papel fundamental nos sistemas de agricultura familiar, especialmente na região sudeste do Paraná. A sustentabilidade desses sistemas enfrenta diversos desafios, entre os quais se destacam a baixa renda familiar e o sobrepastoreio das pastagens, que acabam limitando a produtividade animal. Embora algumas pesquisas demonstrem que o manejo adequado da interação entre pasto e rebanho, incluindo a modulação sazonal da atividade animal e da densidade, possa melhorar o crescimento das pastagens, aumentar a produção de carne e leite e reduzir o impacto ambiental, a tradução desse conhecimento científica em práticas efetivas nas propriedades familiar ainda é um obstáculo (Ruggia *et al.* 2014).

A implementação de estratégias inovadoras, como o desenvolvimento de empresas de sementes forrageiras baseadas nessa região, pode aumentar a rentabilidade das explorações agrícolas e a produtividade do gado, desse modo melhorando também os meios de subsistência dos pequenos produtores (Ruggia *et al.* 2014). A utilização de espécies vegetais de alto rendimento,

como as leguminosas forrageiras, pode ajudar a aumentar a produção pecuária, minimizando a poluição ambiental e reduzindo o consumo de energia (Stevović *et al.* 2020).

Outro ponto importante é que ao aumentar a produção forrageira podemos reduzir a dependência de concentrados na dieta, já que os mesmos são a parte mais cara da dieta e podem ter um impacto ambiental negativo. Além disso, as forrageiras podem ajudar a melhorar a fertilidade do solo e reduzir a taxa de erosão, o que contribui para a sustentabilidade da produção. O que nos leva a outro ponto, o sistema de pastoreio, no mesmo deve ser levado em conta que toda planta forrageira possui um limite morfofisiológico que estabelece a resistência dessa planta ao estresse causado pela desfolhação e pelo pisoteio dos animais (Dias-Filho, 2016).

Segundo Ruggia (2014) ao concentrarem-se na melhoria da qualidade da forragem, no aumento dos rendimentos e na implementação de interações eficazes entre pastagens e rebanhos, as explorações agrícolas familiares podem aumentar os seus rendimentos, reduzir a degradação dos recursos naturais e construir sistemas agrícolas mais resilientes.

OUTRAS FORRAGEIRAS DE INVERNO

É amplamente reconhecido que a estacionalidade produtiva das forrageiras do território brasileiro influencia diretamente a escolha da pastagem. O período de outono-inverno é especialmente crítico para o crescimento e desenvolvimento das plantas forrageiras, devido às baixas temperaturas e aos índices pluviométricos reduzidos. Sendo assim, a escolha de uma forragem adequada a esse período é de interesse para o produtor.

Azevém (*Lolium multiflorum* Lam.)

É uma gramínea anual de inverno, cespitosa, que pode crescer até 1,20 m, alcançando em média 0,75 m de altura (Derpsch e Calegari, 1992). Segundo Mitidieri (1983), forma touceiras que variam de 0,40 m a 1,00 m. Trata-se de uma espécie rústica e vigorosa, considerada naturalizada em muitas regiões do sul do Brasil. O azevém perfilha em abundância e é bastante produtivo, podendo

superar as demais espécies de inverno quando bem fertilizada. Além disso, é utilizada para compor pastagens anuais com dezenas de espécies, oportunizando pastejo de meados do inverno à primavera, tanto para corte como para pastejo. Em trabalho conduzido por Souza *et al.* (1989), o azevém produziu mais biomassa seca, em comparação aos cereais de inverno (aveia preta, aveia branca, centeio, cevada, trigo e triticale).

O azevém apresenta potencial para produção de silagem de boa qualidade, especialmente quando manejado em estádios mais avançados de desenvolvimento, como o início do florescimento, momento em que há maior acúmulo de matéria seca. Por ser uma gramínea com elevado teor de umidade e menor concentração de carboidratos solúveis quando jovem, pode apresentar limitações à fermentação adequada, favorecendo perdas e produção de efluentes. Quando bem manejada, a silagem de azevém apresenta boa digestibilidade e valor nutritivo, sendo uma alternativa viável na alimentação de ruminantes (Jobim *et al.*, 2007).

Centeio (*Secale cereale* L.)

O centeio desenvolve-se bem em diferentes tipos de solo e clima (Baier, 1994). Destaca-se pelo crescimento inicial vigoroso e pela rusticidade, apresentando resistência ao frio, à acidez nociva do solo, ao alumínio tóxico e a doenças. Possui um sistema radicular profundo e agressivo, capaz de absorver nutrientes indisponíveis para outras espécies. Entre os cereais de inverno, o centeio é o mais eficiente no aproveitamento de água, produzindo a mesma quantidade de massa seca com apenas 70% da água que o trigo requer (Baier, 1994).

No Brasil, tem seu cultivo predominante na região sul do país. O ponto ideal para o corte varia de acordo com a finalidade do material. Para conservação do alimento em forma de silagem deve ser colhida na fase em que o grão se apresenta leitoso a pastoso (Da Silva *et al.* 2025).

No processo de ensilagem, o centeio apresenta bom potencial de conservação, principalmente quando colhido no estádio adequado de desenvolvimento, garantindo teor de matéria seca suficiente para uma fermentação eficiente. Entretanto, quando colhido muito jovem, pode apresentar elevado

teor de umidade, favorecendo fermentações indesejáveis e perdas por efluentes. Assim, o manejo correto do ponto de corte é fundamental para obtenção de uma silagem de boa qualidade, com adequado valor nutritivo e estabilidade fermentativa (Jobim *et al.*, 2007).

Cevada (*Hordeum vulgare* L.)

Na cevada, o desenvolvimento de raízes permanentes é similar ao da aveia e do trigo, alcançando até 1,0 metro de profundidade (Arias, 1995). Praticamente, a cevada é classificada de acordo com o uso de seus grãos (cervejeira ou forrageira) e o tipo de espiga (de duas ou seis fileiras), conforme Baldanzi (1988). A cevada apresenta desenvolvimento satisfatório em condições de adequada insolação e temperatura amena durante o ciclo. Não tolera excesso ou déficit hídrico, nem temperaturas muito baixas. Em relação à umidade, a cevada é menos exigente que o trigo. Como forrageira, é amplamente usada em regiões mais frias, onde o milho não pode ser cultivado. A cevada destaca-se pelo vigor de crescimento no início do ciclo.

Apresenta crescimento rápido, atingindo a maturidade com cerca de 90 a 120 dias após o plantio. O colmo é ereto, podendo atingir até um metro de altura. Desenvolve-se bem em climas temperados a frios, apresentando boa tolerância aos estresses ambientais (Da Silva *et al.* 2025).

A cevada apresenta bom potencial para produção de silagem, devido ao adequado teor de carboidratos solúveis, que favorecem a fermentação láctica. Quando colhida no estágio de grão leitoso a pastoso, resulta em silagem com bom equilíbrio entre energia e fibra, contribuindo para maior digestibilidade pelos ruminantes. No entanto, teores elevados de umidade no momento da ensilagem podem comprometer a qualidade fermentativa, tornando essencial o manejo adequado da colheita e da compactação do material. Assim, a cevada constitui uma alternativa viável para produção de volumoso conservado (Muck, 2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de forrageiras de inverno para produção de silagem representa uma alternativa estratégica para reduzir a sazonalidade na oferta de alimentos aos

rebanhos, contribuindo para a manutenção do desempenho produtivo em sistemas pecuários. Em contextos de transição agroecológica, essa prática ganha destaque ao favorecer a sustentabilidade dos sistemas produtivos, por meio da integração entre manejo adequado, conservação de forragens e redução do uso de insumos químicos.

A adoção de espécies adaptadas, aliada a práticas corretas de ensilagem e ao uso de adubação orgânica, contribui para a melhoria da qualidade da silagem e para a conservação da fertilidade do solo. Além disso, tais estratégias são especialmente relevantes na agricultura familiar, onde a eficiência no uso dos recursos e a redução de custos são fundamentais.

Dessa forma, a integração entre forrageiras de inverno, produção de silagem e princípios agroecológicos configura-se como uma abordagem promissora para o fortalecimento de sistemas de produção animal mais sustentáveis, sendo importante o desenvolvimento de novos estudos que ampliem o conhecimento sobre essas práticas em diferentes condições de cultivo e manejo.

REFERÊNCIAS

ÁRIAS, G. **Mejoramiento genético y producción de cebada cervecera en América del Sur**. Santiago: FAO, 1995. 157 p.

AMARAL, R. C.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R.; REIS, R. A. Características fermentativas e químicas de silagens de capim-marandu produzidas com quatro pressões de compactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 3, p. 532–539, 2007.

BAIER, A. C. **Triticale**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT (Documento 6), 1986. 24 p.

BAIER, A. C. Centeio. *In*: BAIER, A. C.; FLOSS, E. L.; AUDE, M. I. da S. **As lavouras de inverno 1: aveia, centeio, triticale, colza, alpeste**. Rio de Janeiro: Globo, 1988. p. 107–130.

BAIER, A. C. **Centeio**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT (Documento 15), 1994. 29 p.

BALDANZI, G. Cevada. *In*: BAIER, A. C.; FLOSS, E. L.; MANARA, W.; MANARA, N. T. F.; VEIGA, P.; TARRAGÓ, M. F. S. **As lavouras de inverno 2: cevada, tremoço, linho, lentilha**. Rio de Janeiro: Globo, 1988. p. 11–67.

BOLLER, W. Máquinas para colheita e conservação de forragens. *In*: FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta no Sul do Brasil**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. p. 365–433.

BUMBIERIS JUNIOR, V. H.; BARBERO, R. P.; BARBOSA, M. A. A. F.; CASTRO, L. M.; JOBIM, C. C.; OLIVEIRA, M. R. Perspectivas para uso de silagem de cereais de inverno no Brasil. //: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 6., 2011, Maringá. **Anais** Maringá: UEM, 2011. p. 39–72. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5438869/mod_resource/content/0/Bumbieris%20Jr.%20et%20al.%20%282011%29.pdf. Acesso em: 05 set. 2020.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: safra 2018/19. Brasília, v. 6, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 22 jun. 2023.

DA SILVA, T. A.; GOMES, A. P. R.; PINTO, K. V. A.; TUNES, L. V. M.; ESPINDOLA, V. S. A cultura do centeio (*Secale cereale* L.). //: DA SILVA, T. A.; ALMEIDA, A. S.; TUNES, L. V. M.; MADRUGA, F. B. **Manejo agrônomo aplicado às culturas de plantas de lavoura I e II**, p. 95-109, 2025.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR (Circular 73), 1992. 77 p.

DIAS-FILHO, M. B. Manejo da pastagem para uma pecuária empresarial. //: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA INTEGRADA, 2., 2016, Sinop. **Anais...** Cuiabá: Fundação Uniselva, 2016.

DICKMANN, L. **Manejo da adubação fosfatada da aveia preta e do consórcio milho/capim-marandu com inoculação por *Azospirillum brasilense* em sistema plantio direto**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP, Ilha Solteira, 2015. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/cathedra/02-09-2015/000846527.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2023.

DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; BONOMO, P.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Morfometria e rendimento da palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 151–158, 2014.

FINATTO, J.; ALTMAYER, T.; MARTINI, M. C.; RODRIGUES, M.; BASSO, V.; HOEHNE, L. A importância da utilização da adubação orgânica na agricultura. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 5, n. 4, p. 85–93, 2013.

FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. Silagens de cereais de inverno. //: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região Sul-brasileira**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. p. 317–331.

FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; ACOSTA, A. S.; CARVALHO, O. S. **Cereais de inverno de duplo propósito**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; RODRIGUES, O.; PIRES, J. L. F. Estabelecimento e manejo de cereais de duplo propósito. //: FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta no Sul do Brasil**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. p. 173–218.

FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S. Ensilagem. //: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região Sul-brasileira**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. p. 351–366.

GIMENES, A. L. D. G.; MOREIRA, F. B.; MIZUBUTI, I. Y.; PEREIRA, E. S. Efeitos da utilização de inoculantes em silagens. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 4, p. 601–610, 2005.

HORN, M. B. **Micotoxinas em silagens de milho do Sul do Brasil e metodologia analítica para aflatoxinas por espectroscopia de infravermelho próximo em milho**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – UFSC, Florianópolis, 2013.

JOBIM, C. C.; NUSSIO, L. G. REIS, R. A.; SCHMIDT, P. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forrageira conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p.101-109, 2007 (Suplemento Especial).

KIEHL, E. J. **Novos fertilizantes orgânicos**. 1 ed. Piracicaba: Degaspari, 2010. 248 p.

LEHMEN, R. I.; FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S. Rendimento, valor nutritivo e características fermentativas de silagens de cereais de inverno. **Ciência Rural**, v. 44, n. 7, p. 1180–1185, 2014.

MEINERZ, G. R.; OLIVO, C. J.; VIÉGAS, J.; NÖRNBERG, J. L.; AGNOLIN, C. A.; SCHEIBLER, R. B.; HORST, T.; FONTANELI, R. S. Silagem de cereais de inverno submetidos ao manejo de duplo propósito. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 10, p. 2097–2104, 2011.

MITIDIERI, J. **Manual de gramíneas e leguminosas para pastos tropicais**. São Paulo: Nobel, 1983. 198 p.

MUCK, R. E. Silage microbiology and its control through additives. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 183-191, 2010.

NABINGER, C. Manejo e produtividade das pastagens nativas do subtrópico brasileiro. //: SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS, 1., 2006. **Anais...** Canoas: Ulbra, 2006.

NUNES, A. S.; SOUZA, L. C. F. de; MERCANTE, F. M. Adubos verdes e adubação mineral nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 432-438, 2011.

PENTEADO, S. R. **Introdução à agricultura orgânica**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003. 240 p.

ROSÁRIO, J. G.; NEUMANN, M.; UENO, R. K.; MARCONDES, M. M.; MENDES, M. C. Produção de silagem de trigo. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 207–218, 2012.

RUGGIA, A.; ALBICETTE, M. M.; ALBÍN, A.; BLUMETTO, O.; CARDOZO, G.; DOGLIOTTI, S.; SCARLATO, S.; TITTONELL, P.; ROSSING, W. A. H.; AGUERRE, V. Managing pasture-herd interactions in livestock family farm systems based on natural grasslands in Uruguay, **5th International Symposium for Farming Systems Design**. 2014, p. 269-270.

SCHEFFER-BASSO, S. M.; FONTANELI, R. S.; DÜRR, J. W. **Valor nutritivo de forragens: concentrados, pastagens e silagens**. Passo Fundo: UPF, 2003. 31 p.

SILVA, A. A.; SIMIONI, G. F.; LUCENA, A. E. Efeito da adubação orgânica no crescimento do capim *Brachiaria brizantha* cv. marandu. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 16, p. 923–932, 2013.

SOUZA, J. M.; VIAU, L. V. M.; DHEIN, R. A.; GUTH, O. **Competição de gramíneas anuais de inverno para produção de forragem**. Ijuí: COTRIJUÍ, 1989. 2 p. (COTRIJUÍ. Comunicado técnico, 9).

STEOVIĆ, V.; ĐUROVIĆ, D.; TOMIĆ, D. Forage legumes in agricultural production systems. //: PRŽULJ, N., TRKULJA, V. **From genetics and environment to food**. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, 41:313-437.

WEINARTNER, M. A.; ALDRIGHI, C. F. S.; MEDEIROS, C. A. B. **Práticas agroecológicas: adubação orgânica**. Pelotas: Embrapa, 2006.

WOECICHOSHI, A. S.; PEREIRA, E. A.; BENDER, A. N.; COPETTI, T. S.; SILVA, M. H.; MORI, L. D.; CONCEIÇÃO, G. M.; SCHNEIDER, R.; PORAZZI, C. C.; GARCIA, D. C. Propriedades de silagem de aveia branca (*Avena sativa*). //: CONGRESSO BRASILEIRO DE AVEIA, 38., 2018. **Anais...** Ijuí: Unijui, 2018.

WROBEL, F. L.; NEUMANN, M.; LEÃO, G. F. M.; SANDINI, I. E.; POCZYNEK, M.; MARAFON, F. Qualidade da silagem de trigo sob diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 4, p. 539–546, 2018.

NUTRIÇÃO E BEM-ESTAR ANIMAL: ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA SISTEMAS PRODUTIVOS MAIS EFICIENTES

Luiz Felipe Diniz Aniceto e Silva

Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Pablinny Nascimento

Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Stéfane Alves Sampaio

Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Gabriel Carvalho de Andrade

Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Nathan Ferreira da Silva

Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Fabiana Ramos dos Santos

Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Nícollas Anciutti Cardoso

Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Stefany Rodrigues Pereira

Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Wanderson Lopes dos Santos Freitas

Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

Cibele Silva Minafra

Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

RESUMO

A nutrição e o bem-estar animal são fatores fundamentais para a sustentabilidade, a eficiência produtiva e a viabilidade dos sistemas de produção animal. Dietas balanceadas, formuladas de acordo com a espécie, fase fisiológica e condições ambientais, contribuem para a manutenção da homeostase, melhora da resposta imune, redução de distúrbios metabólicos e maior adaptação dos animais aos sistemas de criação. Nesse contexto, este capítulo aborda a integração entre nutrição e bem-estar animal como ferramenta essencial para promover sistemas produtivos mais eficientes, éticos, sustentáveis e alinhados às exigências atuais da sociedade e do mercado consumidor. Além disso, estratégias como manejo alimentar adequado, fornecimento de água de qualidade, uso de aditivos funcionais e inclusão de fontes alternativas de alimento, como insetos, algas, probióticos e ingredientes de menor impacto ambiental, podem favorecer a saúde intestinal, a saciedade e a expressão de comportamentos naturais. Também são apresentadas legislações relacionadas ao bem-estar e à alimentação animal, evidenciando a necessidade de sistemas produtivos mais éticos e sustentáveis.

Palavras-chave: Aditivos nutricionais; alimentos funcionais; eficiência produtiva; produção sustentável; zootecnia.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção animal desempenham papel fundamental na agropecuária e na economia global. Esses sistemas envolve um conjunto de práticas de manejo, como alimentação, reprodução e cuidados sanitários, com o propósito de maximizar o desempenho produtivo e garantir produtos de origem animal com melhor qualidade (Silva *et al.*, 2024). Segundo Alves *et al.* (2019), além dos aspectos econômicos, a questão do bem-estar animal tem recebido atenção crescente, tornando-se um elemento essencial para a sustentabilidade e sucesso dos sistemas produtivos modernos produtivos modernos.

Os consumidores estão cada vez mais atentos e exigentes em relação às condições de criação e manejo que assegurem melhor qualidade de vida aos animais de produção, o que influencia diretamente os sistemas de produção intensiva. Para atender a essa demanda, práticas de manejo e estratégias tecnológicas têm sido constantemente aprimoradas, visando a minimizar os impactos negativos do confinamento e assegurar melhores condições de bem-estar dos animais (Ferracini *et al.*, 2022).

A nutrição desempenha um papel fundamental na saúde, no desempenho e no bem-estar animal, sendo influenciada por fatores como as exigências nutricionais, a composição química dos ingredientes, digestibilidade dos alimentos e quantidade de nutrientes efetivamente consumidos. Assim, é indispensável oferecer uma dieta de alta qualidade e, durante períodos de escassez, e modo a atender às necessidades nutricionais, manter a homeostase, prevenir distúrbios metabólicos e garantir maior eficiência produtiva (Nascimento *et al.*, 2015).

Além da formulação adequada das dietas, outros componentes do manejo nutricional também exercem influência direta sobre o bem-estar animal. O fornecimento de água de qualidade, em quantidade suficiente e de fácil acesso, é essencial para a manutenção das funções fisiológicas, regulação térmica, digestão, metabolismo e desempenho produtivo.

Da mesma forma, o uso de aditivos funcionais, como probióticos, prebióticos, enzimas, ácidos orgânicos e antioxidantes, pode contribuir para a saúde intestinal, modulação da microbiota, melhora da resposta imune e redução dos efeitos negativos do estresse. Nesse contexto, a inclusão de fontes alternativas

de alimento, como insetos, algas e ingredientes de menor impacto ambiental, tem ganhado destaque por associar valor nutricional, sustentabilidade e diversificação alimentar. Quando bem planejadas, essas estratégias podem favorecer a saciedade, estimular comportamentos naturais relacionados à busca e ao consumo de alimento e contribuir para sistemas produtivos mais eficientes, sustentáveis e alinhados aos princípios de bem-estar animal.

Diante desse cenário, este capítulo tem como objetivo discutir, as evidências científicas atuais, como estratégias nutricionais podem atuar como ferramentas promotoras do bem-estar animal nos diferentes sistemas de produção, considerando também seus impactos produtivos e ambientais.

DESENVOLVIMENTO

Bem-estar animal

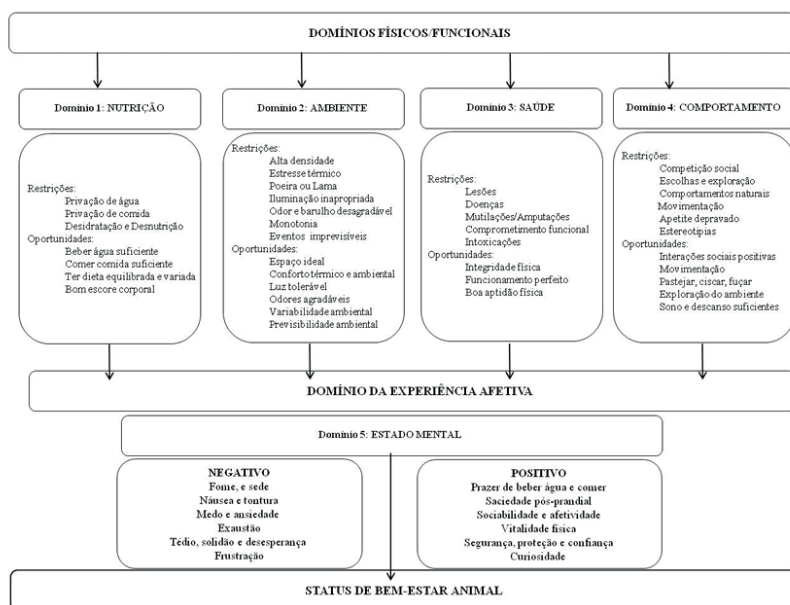
A criação de animais deve respeitar suas características naturais, promovendo condições adequadas de saúde, conforto, alimentação, segurança e expressão comportamental no ambiente de criação. Animais são seres sencientes, capazes de apresentar sensações, emoções e preferências, razão pela qual é fundamental que o ambiente ofereça espaço suficiente para movimentação, abrigo com conforto térmico, água e alimentação de qualidade, atendendo às necessidades fisiológicas. O bem-estar animal é indispensável não apenas para a qualidade de vida dos animais, mas também para garantir a qualidade do produto final (Couto *et al.*, 2020). Assim, os planos de trabalho nas unidades de produção precisam ser aprimorados, envolvendo gestão eficiente e condições favoráveis para atender às exigências dos mercados nacional e internacional, que valorizam produtos de origem animal associados a sistemas produtivos mais éticos, seguros e sustentáveis.

A relação entre seres humanos e animais se estreitou significativamente desde os primórdios da domesticação (Almeida, 2010). No contexto científico, Donald Broom contribuiu de forma importante para a consolidação do conceito moderno de bem-estar animal, ao defini-lo como o estado de um indivíduo em relação às suas tentativas de adaptação ao ambiente. Paralelamente, as diretrizes das cinco liberdades tornaram-se referência internacional para avaliação do

bem-estar, considerando que os animais devem estar livre de sede, fome e má nutrição, livre de dor, ferimentos e doenças, livre de desconforto, livre de medo e estresse, livre para expressar seus comportamentos naturais. Posteriormente, essa abordagem foi ampliada pelo modelo dos cinco domínios, que passou a considerar não apenas a ausência de experiências negativas, mas também a presença de estados mentais positivos (Broom, 2011).

Com a evolução das discussões científicas sobre bem-estar animal, o modelo dos cinco domínios passou por atualizações, incorporando de forma mais explícita a avaliação dos estados mentais dos animais, incluindo experiências positivas e negativas (Mellor & Beausoleil, 2015; Mellor, 2016; Mellor, 2017). As características essenciais do modelo, ilustradas na Figura 1, são amplamente abordadas na literatura científica. No entanto, ressalta-se que, a aplicação deve considerar as particularidades de cada espécie, uma vez que as necessidades comportamentais, fisiológicas e ambientais variam conforme o grupo animal, a fase produtiva e o sistema de criação adotado.

Figura 1 - Modelo “Cinco Domínios” do bem-estar animal.



Fonte: Adaptado de Mellor & Beausoleil (2015).

O bem-estar dos animais está diretamente ligado às práticas de manejo pré-abate, que envolvem responsabilidade compartilhada entre proprietários, funcionários, transportadores e demais agentes envolvidos na cadeia produtiva. Quando uma dessas etapas é negligenciada, podem surgir consequências como elevação dos níveis de estresse, além de dores ou ferimentos causados pela falta de conhecimento sobre a biologia e o comportamento dos animais. Nos últimos anos, os consumidores têm se tornado mais exigentes, defendendo o respeito ao bem-estar dos animais de produção e buscando alimentos seguros, produzidos de forma sustentável e com origem comprovada (Alves *et al.*, 2019; Rosa *et al.*, 2021).

O bem-estar animal influencia diretamente a produtividade, pois condições adversas como dor e sofrimento provocam alterações metabólicas que comprometem o sistema imunológico e prejudicam o desempenho zootécnico. Diante disso, agroindústrias e produtores têm promovido transformações aceleradas na cadeia produtiva para atender às crescentes exigências sociais e culturais por práticas mais humanizadas. Essas mudanças ocorrem em sintonia com estratégias de uso eficiente dos recursos, visando a redução dos custos de produção (Odermatt *et al.*, 2018).

Alimentação x Sustentabilidade x Bem-Estar Animal

A nutrição é um fator essencial para a manutenção da saúde, do desempenho produtivo e do bem-estar dos animais. Entre os princípios clássicos das “Cinco Liberdades”, destaca-se a garantia de que os animais estejam livres de fome, sede e má nutrição, o que reforça a importância do fornecimento adequado de alimento e água nos sistemas de produção (Azevedo *et al.*, 2020).

A nutrição não deve ser compreendida apenas como o simples fornecimento de ração entende-se por um conjunto de estratégias que envolve, formulação de dietas devidamente balanceadas, qualidade dos ingredientes, digestibilidade dos nutrientes, acesso contínuo à água em quantidade suficiente e adequação do manejo alimentar às exigências de cada espécie e fase produtiva evitando fome e sede, isso tudo garante o bem-estar dos animais e impactando diretamente no desempenho zootécnico (FAO, 2011). Dietas deficientes, desequilibradas ou fornecidas de forma inadequada podem comprometer a saúde intestinal, o

metabolismo, a imunidade, o comportamento e o desempenho zootécnico dos animais, afetando diretamente seu bem-estar (Figueira *et al.*, 2014).

Um dos princípios básicos do bem-estar animal em sistema de produção é garantir que os animais tenham acesso ao alimento e água em quantidades suficientes, adequados à idade e às necessidades dos animais, para manter a saúde e a produtividade normais e para evitar a fome prolongada, a sede, a desnutrição ou a desidratação" (Figueira *et al.*, 2014).

A nutrição representa, comprovadamente, cerca de 70% dos custos totais na produção animal, sendo o milho (fonte energética) e o farelo de soja (fonte proteica) os principais ingredientes utilizados. A alta demanda por esses insumos, tem motivado a busca por alimentos alternativos mais acessíveis, com objetivo de reduzir os custos com a alimentação (Valentim *et al.*, 2021; Martins e Assunção, 2018).

A proteína destaca-se como um dos nutrientes mais importantes nas dietas, por ser essencial na síntese de aminoácidos necessários à manutenção do metabolismo dos animais (Bittencourt *et al.*, 2021). Para atender às exigências nutricionais, muitas vezes são requeridas fontes proteicas de alta qualidade e, em certos casos, em grande quantidade. O farelo de soja é uma das fontes mais utilizadas nesse contexto; no entanto, do ponto de vista ambiental, seu uso apresenta desafios, como o desmatamento associado à expansão da área destinada ao cultivo (Sánchez-Muros *et al.*, 2014).

Nesse contexto, as formulações de rações evoluíram do uso de proteína bruta para o conceito de proteína ideal. As dietas formuladas com base apenas com base no teor de proteína bruta frequentemente apresentavam deficiências ou excessos proteicos. A deficiência compromete o desempenho, saúde dos animais e o bem-estar dos animais, enquanto o excesso proteico aumenta a excreção do nitrogênio, eleva os custos da dieta e contribui para impactos ambientais. Assim, o conceito de proteína ideal, que consiste em fornecer o balanço adequado de aminoácidos digestíveis, otimizando o aproveitamento proteico, reduzindo desperdícios e melhorando a eficiência nutricional dos sistemas produtivos (Martins e Assunção, 2018).

Estratégias nutricionais também exercem papel importante na atenuação dos efeitos adversos provocados por episódios de estresse nos animais assumem

papel crucial no contexto da produção intensiva, contribuindo significativamente para a manutenção do bem-estar e do desempenho produtivo. A inclusão de ingredientes funcionais, fibras, aminoácidos específicos, antioxidantes, probióticos, prebióticos, enzimas e ácidos orgânicos pode contribuir para a manutenção da homeostase, modulação da microbiota intestinal, melhora da resposta imunológica e redução de distúrbios metabólicos e comportamentais. Dessa forma, a nutrição passa a atuar não apenas sobre o desempenho produtivo, mas também como ferramenta de promoção do bem-estar animal (Garcia *et al.*, 2019).

Em virtude da grande competitividade vivida no cenário atual pelos cereais tradicionais (milho e soja), torna-se crescente o interesse pela possibilidade de utilização e aproveitamento de resíduos industriais, também chamados de subprodutos ou coprodutos, na alimentação animal. Os coprodutos são produtos secundários gerados durante processos industriais, mas que apresentam valor nutricional e possibilidade de uso planejado, como o DDGS e o farelo de soja. Já os subprodutos podem ser entendidos como materiais remanescentes de processos produtivos, como cascas, bagaços, polpas e resíduos vegetais, cuja utilização depende da composição nutricional, disponibilidade, segurança e viabilidade econômica (Melo, 2021).

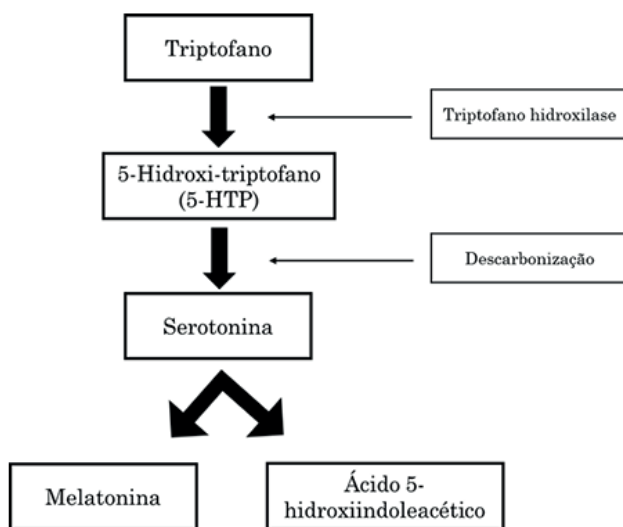
Entre os principais subprodutos: casca de soja, palha de soja, palha de milho verde, feno da parte aérea da mandioca, raspa integral da mandioca, farelo do arroz, bagaço de cana-de-açúcar, DDG/DDGS, melaço de cana, resíduo de panificação, casca de frutas, resíduo de tomate, bagaço de uva, farinhas diversas, casca de café, resíduo de cervejaria, soro de leite. Ou seja, existem inúmeros subprodutos da indústria que podem ser utilizados na dieta animal. A escolha desses ingredientes deve considerar sua disponibilidade regional, composição bromatológica, digestibilidade, presença de fatores antinutricionais, aceitabilidade pelos animais e impacto sobre o desempenho produtivo e a saúde (Cavalcante, 2018).

Ainda neste contexto, probióticos e prebióticos ganham relevância por seus benefícios à saúde intestinal, com ênfase na produção de aves e suínos. Esses aditivos podem favorecer o equilíbrio da microbiota, melhorar a integridade da mucosa intestinal, reduzir a ocorrência de distúrbios digestivos e modular a

resposta imune, contribuindo para melhores condições de saúde e bem-estar animal (Markowiak & Śliżewska 2018; Roselli *et al.*, 2017).

Na piscicultura, a suplementação de triptofano (figura 2) representa exemplo de estratégia nutricional associada ao bem-estar, esse aminoácido está relacionado à regulação da ingestão alimentar, à modulação da resposta imune e à síntese de serotonina, neurotransmissor envolvido no controle do comportamento e da resposta ao estresse.. Assim, sua suplementação pode contribuir para reduzir os níveis de cortisol, minimizar os impactos do estresse e diminuir comportamentos agressivos, diminuir a ocorrência de canibalismo em determinadas espécies de peixe (Hosseini & Hoseini, 2013).

Figura 2 - Metabolismo do triptofano.



Fonte: Fernstrom, 2016.

Alimentos alternativos

Insetos na Nutrição Animal

O uso de insetos na nutrição animal tem se mostrado uma alternativa promissora para a formulação de dietas mais sustentáveis e nutricionalmente eficientes. Insetos como tenébrios apresentam alto valor nutricional sendo

fontes importantes de proteína, lipídeos, minerais e compostos bioativos. Nesse contexto, os insetos estão sendo considerados uma nova fonte proteica para a alimentação animal, com potencial para reduzir a dependência de ingredientes convencionais, como o farelo de soja e a farinha de peixe (Premalatha *et al.*, 2011).

Diante da atual crise e do aumento nos preços dos alimentos, a utilização de insetos na alimentação animal surge como uma alternativa promissora. A criação de insetos apresenta diversas vantagens, entre elas o fato de não competir com o uso da terra ou com recursos alimentares destinados ao consumo humano. Além disso, contribui significativamente para a reciclagem de nutrientes, ao transformar resíduos que poderiam causar poluição ambiental em alimentos de elevado valor nutricional (Reis e Dias, 2020). O cultivo desses insetos, não demandam grandes áreas ou elevada quantidade de água, sobretudo quando comparado às culturas vegetais convencionais. Essa prática, além de eficiente, favorece a sustentabilidade ao promover o reaproveitamento de resíduos orgânicos (Sánchez-Muros *et al.*, 2014).

Globalmente, os insetos mais comumente consumidos são os besouros, lagartas, abelhas, vespas e formigas. Seguindo estes estão os gafanhotos e grilos, cigarras, cigarrinhas, bichos-folha e insetos verdadeiros, cupins, libélulas, moscas. Esses insetos apresentam composição nutricional variável, dependendo da espécie, fase de desenvolvimento, substrato utilizado na criação e método de processamento. De modo geral, são reconhecidos pelo elevado teor proteico, bom perfil de aminoácidos, presença de ácidos graxos e potencial funcional associado à quitina e a compostos antimicrobianos naturais (Vilella, 2018).

Islam e Yang (2017), avaliaram probióticos de larvas de tenébrio molitor (*Tenebrio molitor*) (DMLP) e super tenébrio (*Zophobas morio*) (DSMLP) como alternativas aos antibióticos em frangos de corte. A utilização se mostrou eficiente visto que, o ganho médio diário e o consumo médio diário de ração aumentaram, enquanto a taxa de conversão alimentar diminuiu, a mortalidade foi reduzida. Os teores de *E. coli* e *Salmonella* no ceco foram reduzidos com a suplementação com DMLP e DSMLP, enquanto os teores de microbiota fecal e o pH da digesta cecal e fecal permaneceram inalterados.

Cullere *et al.* (2016), testaram uma substituição parcial de farelo de soja e óleo de soja por farinha de larvas de mosca-soldado-negra (*Hermética illucens*)

desengordurada (H) na dieta de codornas de corte em crescimento. O estudo demonstrou que a farinha de larvas pode substituir parcialmente a farinha de soja convencional e o óleo de soja na dieta de codornas de corte em crescimento, demonstrando como uma fonte promissora de proteína de insetos para a indústria de rações. Dessa forma, a farinha de insetos mostrou-se uma fonte promissora de proteína alternativa para a indústria de rações, especialmente em sistemas que buscam maior sustentabilidade e menor dependência de matérias-primas tradicionais.

Jin *et al.* (2016), investigara os efeitos do bicho-da-farinha seco (larva de *Tenebrio molitor*) no desempenho de crescimento, digestibilidade de nutrientes e perfis sanguíneos em leitões desmamados. A suplementação de larva-da-farinha seca em até 6% na dieta melhora o desempenho do crescimento e a digestibilidade dos nutrientes sem qualquer efeito prejudicial nas respostas imunológicas. Esses achados sugerem que a utilização de insetos na alimentação de suínos pode representar uma estratégia viável para melhorar a eficiência nutricional, especialmente em fases críticas, como o pós-desmame.

Algas

As algas são uma fonte alternativa promissora para a alimentação animal, devido à sua composição nutricional e à presença de compostos bioativos com potencial funcional. O estresse oxidativo causa sérios problemas, como a morte celular, resultando em queda no desempenho produtivo e comprometendo o bem-estar animal. Nesse contexto, as algas têm se destacado como excelentes antioxidantes, capazes de melhorar a saúde geral e o conforto dos animais, além de serem uma alternativa promissora aos antioxidantes sintéticos, que demonstraram efeitos carcinogênicos, além de alterações enzimáticas e lipídicas em animais (Rocha *et al.*, 2007).

As algas marinhas também apresentam composição proteica de interesse nutricional, com proporção relevante de aminoácidos essenciais em relação aos aminoácidos totais. Tendo uma qualidade relativamente alta de proteína (aminoácidos essenciais como uma proporção dos aminoácidos totais (AAT)) em comparação com a farinha de peixe e o farelo de soja. No geral, as algas marinhas têm proporções semelhantes ou maiores de aminoácidos essenciais

totais (AEA) (média = 45,7% AAT) em comparação com a farinha de peixe (43,4% AAT) e o farelo de soja (46,0% AAT). Mais de 75% das algas marinhas têm proporções maiores de AEA total do que a farinha de peixe e 50% são maiores do que o farelo de soja (Angell *et al.*, 2016).

Moraleco *et al.* (2024), avaliaram o uso de algas calcária em substituição ao calcário calcítico, ingrediente bastante utilizado nas formulações animal, na dieta de poedeiras semipesadas nas fases de recria e pré-postura sobre variáveis de desempenho e termorregulação. Os resultados mostraram que a inclusão de até 30% de alga calcária na dieta de poedeiras semipesadas nas fases de recria e pré-postura não afetou o desempenho e a termorregulação das aves, indicando que esse ingrediente pode substituir parcialmente o calcário calcítico sem prejuízos produtivos nessas fases.

Em poedeiras, o cálcio é essencial para a formação da casca dos ovos e para a manutenção da integridade óssea, especialmente em fases de maior exigência mineral. Quando o fornecimento de cálcio é insuficiente, as aves podem mobilizar reservas ósseas para sustentar a produção, aumentando o risco de fragilidade óssea, fraturas e piora na qualidade da casca. Dessa forma, o uso de fontes minerais alternativas, como a alga calcária, pode contribuir para o atendimento das exigências nutricionais, manutenção da saúde óssea, qualidade dos ovos e promoção do bem-estar das aves (El-Maaty *et al.*, 2021).

Dietas Naturais

Na indústria de cães e gatos, observa-se crescente interesse por novas alternativas alimentares, especialmente após episódios relatados nos Estados Unidos envolvendo animais com sinais clínicos compatíveis com intoxicação alimentar. Diante dessa problemática, começaram a surgir no mercado produtos diferenciados com apelo de “naturais” (Saad e França, 2010). A denominação “natural” geralmente está associada a alimentos em adição de compostos químicos sintéticos, corantes, aromatizantes e conservantes artificiais (Bezerra, 2023).

Esse tipo de dieta, composta por ingredientes minimamente processados, tem se destacado como alternativa para a promoção da saúde e do bem-estar animal. A alimentação exerce um papel essencial na saúde e no bem-estar

dos animais, e a dieta natural, quando bem balanceada, oferece ingredientes frescos e *in natura*. Assim, dietas naturais, quando adequadamente formuladas e balanceadas, podem fornecer ingredientes frescos e *in natura*, favorecendo a ingestão de nutrientes de melhor qualidade e contribuindo para o equilíbrio metabólico dos animais (Akamine *et al.*, 2023).

Nos últimos anos, tem surgido novos segmentos no mercado pet global, incluindo alimentos frescos refrigerados, crus, orgânicos, livres de grãos, com ingredientes de qualidade humana, naturais, exóticos, “superpremium”, “ultra-premium”. Também se destacam dietas formuladas para finalidades específicas, como saúde da pele e pelagem, saúde intestinal, saúde bucal, trato urinário, animais senis, atletas e filhotes, entre outras categorias (Saad e França, 2010).

O papel da nutrição vai além da saciedade, uma vez que através dos alimentos podem contribuir para a manutenção da saúde, prevenção de enfermidades, suporte ao tratamento de doenças ou evitá-las. Além disso, a alimentação também possui importância nas interações sociais, culturais e afetivas estabelecidas entre tutores e animais de companhia (Gouvêa, 2019).

O termo dietas não convencionais englobam dietas “naturais” comercialmente disponíveis, dietas vegetarianas e alimentos crus, bem como, uma variedade de alimentos preparados em casa (dietas caseiras). Em animais de produção, essa abordagem pode envolver a inclusão de ingredientes menos processados, como vegetais, grãos, forragens, coprodutos e subprodutos agroindustriais, desde que sua utilização seja baseada na composição nutricional, digestibilidade, segurança alimentar e adequação às exigências de cada espécie. Dessa forma, embora as dietas naturais apresentem potencial para promover saúde e bem-estar, sua aplicação deve ser realizada com cautela, evitando desequilíbrios nutricionais e riscos sanitários associados ao uso inadequado dos ingredientes (Macedo *et al.*, 2018).

Legislações

Há inúmeras leis, normas e certificações, tanto em âmbito nacional quanto internacional, voltadas à promoção de práticas sustentáveis, éticas e seguras. No Brasil, a INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 56, DE 6 DE NOVEMBRO DE 2008,

representa um marco na regulamentação das práticas de bem-estar animal. Essa normativa mostra princípios e diretrizes para o manejo racional dos animais. O Art. 3º, inciso III, destaca a respeito do fornecimento de alimentos e água adequados é um dos pilares fundamentais para garantir o bem-estar dos animais de produção. Onde é obrigatório disponibilizar alimento e água de boa qualidade, em quantidade suficiente e com acesso facilitado aos animais, reforçando o papel fundamental da nutrição na saúde e bem-estar dos animais, caso isso não seja atendido, comprometem o desempenho zootécnico dos animais e levam a situações de estresse e sofrimento animal.

Uma outra questão relevante refere-se ao uso de aditivos, medicamentos, matérias-primas utilizadas na alimentação animal. Nesse sentido, o MAPA desenvolveu a INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 1, DE 13 DE JANEIRO DE 2020, que mostra quais aditivos podem ser utilizados e quais são proibidos de serem utilizados e isso é muito importante visto que muito importante para selo de garantia das carnes produzidas no Brasil, visto que alguns países que importam nossas carnes proíbem o uso de antibióticos. Essas legislações são muito importantes, pois auxiliam o produtor no que deve ser feito e garante ao mercado mundial um selo de qualidade.

Algo que foi bastante importante na produção de ruminantes, foi na questão da proibição do uso de produtos de origem animal nas dietas. Em 2004, o MAPA no Artigo 1º diz "Proibir em todo o território nacional a produção, a comercialização e a utilização de produtos destinados à alimentação de ruminantes que contenham em sua composição proteínas e gorduras de origem animal." Isso foi feito por conta da epidemiologia de Encefalopatia Espongiforme Bovina EEB.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

A nutrição animal tem se mostrado uma aliada fundamental na promoção do bem-estar dos animais, uma vez que influencia diretamente a saúde, o comportamento, a resposta imune, o desempenho produtivo e a adaptação aos sistemas de criação. Estratégias nutricionais adequadas são capazes de mitigar os efeitos do estresse, melhorar o desempenho zootécnico, reduzir a ocorrência de enfermidades e favorecer melhores condições fisiológicas e comportamentais. Ao longo deste capítulo, foram abordadas alternativas nutricionais

que priorizam o uso de ingredientes funcionais e naturais os quais não apenas contribuem para a saúde dos animais, mas também atendem às crescentes exigências dos consumidores por produtos seguros, éticos, sustentáveis e de melhor qualidade.

Dessa forma, torna-se essencial investir em pesquisas mais aprofundadas sobre o uso de ingredientes alternativos, especialmente quanto aos seus efeitos sobre o a digestibilidade, a microbiota intestinal, a resposta imunológica, o comportamento animal e a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Nesse contexto, o uso de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial, poderá auxiliar no monitoramento contínuo do estado nutricional e do bem-estar dos animais, permitindo maior precisão na tomada de decisão, identificação precoce de alterações comportamentais ou fisiológicas e adequação das estratégias alimentares às necessidades individuais ou coletivas dos animais.

É importante sempre ter o foco em uma nutrição sustentável, eficiente e integrada aos princípios de bem-estar animal, bem como desenvolver e implementar legislações e políticas públicas que incentivem que estimulem práticas mais éticas, seguras e ambientalmente responsáveis na produção animal. Assim, a integração entre nutrição, bem-estar e sustentabilidade representa um caminho indispensável para o fortalecimento de sistemas produtivos mais eficientes, resilientes e alinhados às demandas atuais da sociedade.

REFERÊNCIAS

- Akamine C. K. M.; Teodoro, D. L. M.; Cruz, D. H. M.; Rodrigues, D. F. Alimentação natural na dieta dos cães. Pubvet, 17. Disponível em: <https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/3393>
- Almeida, D. de F. "Maus-Tratos Contra Animais? Viro O Bicho!": Antropocentrismo, Ecocentrismo e Educação Ambiental em Serra do Navio (Amapá). 2010. Dissertação (mestrado em Biodiversidade Tropical).
- Alves, F. V.; Porfírio-da-Silva, V. e Junior, N. K. 2019. Bem-estar animal e ambiência na ILPF. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1112892/1/BemestaranimaleambientianaILPF.pdf>.
- Alves, L. G. C.; Fernandes, A. R. M.; Souza, G. de Moura.; Da Cunha, C. M. and Foppa, L. 2019. Bem-estar e manejo pré-abate e suas influências sobre a qualidade de carne e carcaça de bovinos de corte. Enciclopédia Biosfera, 16:1-17. DOI: 10.18677/EnciBio_2019A200.

Angell, A. R.; Angell, S. F.; Nys, R.; Paul, N. A. 2016. Seaweed as a protein source for mono-gastric livestock. *Trends in Food Science & Technology*, 54:74-84. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.014>.

Archimède, H.; Eugène, M.; Magdeleine C. M.; Boval, M.; Martin, C.; Morgavi, D. P.; Lecomte, P.; Doreau, M. 2011. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167:59-64. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.003>.

Azevedo, H. H. F.; Pacheco, A.; Pires, A. P.; Neto, J. S. N. M.; Pena, D. A. G.; Galvão, A. T.; Ferrari, E. D. M.; Almeida, B. V. B. F.; Batista, T. V. L. O.; Araújo, C. F.; Batista, W. L. O. 2020. Bem-estar e suas perspectivas na produção animal. *Pubvet*, 14:1-5. DOI: 10.31533/pubvet.v14n1a4811-5.

Baccari Júnior, F. 2001. Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes. *Londrina: EDUEL*, 1-142.

Bezerra, J. E. Impactos da pandemia de COVID-19 sobre a alimentação natural de animais de estimação. 2023. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, Ceres, 2023.

Bittencourt, T. M.; Valentim, J. K.; Lima, H. J. D.; Gobira, G. A.; Ferreira, A. L.; Rodrigues, R. F. M.; Almeida, G. R.; Silva, N. E. M. 2021. Proteína na Nutrição de Não Ruminantes. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 25:268-274. DOI: 10.17921/1415-6938.2021v25n3p268-274.

Blokhuys, H. J.; Ekkel, E. D. and Wechsler, B. 2000. Improving Health and Welfare in Animal Production. *Animal Welfare*, 10:331-332. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0962728600024155>.

Bond, G. B.; Almeida, R. D.; Ostrensky, A. and Molento, C. F. M. 2012. Métodos de diagnóstico e pontos críticos de bem-estar de bovinos leiteiros. *Ciência Rural*, 42:1286-1293. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000044>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 25 de março de 2004. Proíbe em todo o território nacional a produção, a comercialização e a utilização de produtos destinados à alimentação de ruminantes que contenham proteínas e gorduras de origem animal. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 26 mar. 2004. Disponível em: <http://sisistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=178957228>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 1, de 13 de janeiro de 2020. Proíbe a importação, fabricação, comercialização e uso de aditivos melhoradores de desempenho que contenham os antimicrobianos tilosina, lincomicina e tiamulina. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 jan. 2020. Seção 1, p. 6.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 56, de 6 de novembro de 2008. Estabelece os procedimentos gerais de Recomendações de Boas Práticas de Bem-Estar para Animais de Produção e de Interesse Econômico. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 nov. 2008. Seção 1.

Broom D. M. 2011. A history of animal welfare science. *Acta Biotheor*, 59:121-137. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10441-011-9123-3>.

Broom, D. M. 1991. Animal welfare: concepts and measurement. *Journal of Animal Science*, 69:4167-4175. DOI: <https://doi.org/10.2527/1991.69104167x>.

Campos, A. M. A.; Rostagno, H. S.; Nogueira, E. T.; Albino, L. F. T.; Pereira, J. P. L.; Maia, R. C. 2012. Atualização da proteína ideal para frangos de corte: arginina, isoleucina, valina e triptofano. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:326-332. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000200014>.

- Campos, P. H. R. F.; Noblet, J. Jaguelin-Peyraud, Y.; Gilbert, H.; Mormede, P.; Donzele, R. F. M. O. de.; Donzele, J. L. and Renaudeau, D. 2014. Thermoregulatory responses during thermal acclimation in pigs divergently selected for residual feed intake. *International Journal of Biometeorology*, 58:1545-57. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0759-3>.
- Carvalho-Santos, J.; Queiros-Santos, A.; Morais, G. L.; Santana, L. H. S.; Brito, M. G.; Araujo, R. C. S.; De Castro, R. M.; Deiro, T. C. M. de J. and Medeiros, J. M. B. 2010. Efeito do tratamento com triptofano sobre parâmetros do comportamento alimentar em ratos adultos submetidos à desnutrição neonatal, *Revista de Nutrição*, 23:1-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732010000400001>.
- Cavalcante, D. H.; Campelo, J. E. G.; Santos, N. P. S.; Ferreira, R. R.; Fonseca, W. J. L.; Evangelista, A. F. 2018. Characterization of beef cattle farming and the perspective for implementation of traceability. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 40. DOI: 10.4025/actascianimsci.v40i1.36282.
- Cavalcante, S. E. A. S. 2018. Potencial de utilização de subprodutos regionais da microrregião de Chapadinha na alimentação de ruminantes e produção de gases. *Nutritime Revista Eletrônica*, 15:8132-8141.
- Couto, L.; Almeida, L.; Coqueiro, J. S. and Martins, N. C. G. 2020. Bem-estar animal agora bovinocultura de corte: uma revisão sistemática. *Profiscientia*. Cuiabá, 14:176-193. Disponível em: <https://profiscientia.ifmt.edu.br/profiscientia/index.php/profiscientia/article/view/3/2>.
- Cullere, M.; Tasoniero, G.; Giaccone, V.; Miotti-Scapin, R.; Smet, S.; Zotte, A. D. 2016. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. *Animal*. 10:1923-1930. doi:10.1017/S1751731116001270.
- Da Silva, J. B.; Macitelli, F.; De Lima, V. A. and Diesel, T. 2018. O modelo dos “Cinco Domínios” do bem-estar animal aplicado em sistemas intensivos de produção de bovinos, suínos e aves. *Revista Brasileira de Zootecias*, 19:1-23. DOI: <https://doi.org/10.34019/2596-3325.2018.v19.24771>.
- Del Campo, M.; Brito, G.; Montossi, F.; Soares de Lima, J. M. and San Julián, R. 2014. Animal welfare and meat quality: The perspective of Uruguay, a ‘small’ exporter country. *Meat Science*, 98:470–476. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.07.004>.
- El-Maaty, H. A. A.; EL-Khateeb, A. Y.; Al-Khalaifah, H.; El.Hamed, E. A.; Hamed, S.; El-Said, E. A.; Mahrose, K. M.; Metwally, K.; Mansour, A. M. 2021. Effects of ecofriendly synthesized calcium nanoparticles with biocompatible Sargassum latifolium algae extract supplementation on egg quality and scanning electron microscopy images of the eggshell of aged laying hens. *Poultry Science*, 100:675-684. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.043>.
- FAO. *Impact of animal nutrition on animal welfare: Expert Consultation, 26–30 September 2011, FAO Headquarters, Rome, Italy*. Animal Production and Health Report, n. 1. Rome: FAO, 2012. E-ISBN 978-92-5-107437-4.
- Fernstrom, J. D. 2016. A Perspective on the Safety of Supplemental Tryptophan Based on Its Metabolic Fates. *The Journal of Nutrition*, 146:2601–2608. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.115.228643>.
- Ferracini, J. G.; Ligoski, B. and Do Prado, I. N. 2022. Bem-estar de bovinos terminados em confinamento: O que deve ser considerado? *PUBVET*, 16:1-6. DOI: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v16nsup1.a13061-6>.
- Figueira, S. V.; Nascimento, G. M.; Mota, B. P.; Leonídio, A. R. A.; Andrade, M. A. 2014. Bem-estar animal aplicado a frangos de corte. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer, Goiânia, 10:643-660.
- Garcia, R. M; Barbosa, J. A. and Cantarelli, V. S. 2019, Estratégias nutricionais para melhorar a saúde intestinal de suínos. *In: Anais do XIX Congresso Nacional e I Congresso Internacional da ABRAVES*, Toledo - PR, 17:53-62. Disponível em: <https://www.cabidigitalibrary.org/doi/pdf/10.5555/20193472354>.

Gouvêa, F. L. Alimentos convencionais e a tendência a alimentos alternativos para animais de companhia: uma visão sobre o perfil de tutores e a escolha de alimentos para cães e gatos. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

Grandin, T. & Johnson, C. 2010. O bem-estar dos animais: proposta de uma vida melhor para todos os bichos. Rio de Janeiro, Brasil: Rocco.

Gregory, N. G. & Grandin, T. 2010. Animal welfare and the meat market. Cambridge: CABI, 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1079/9781845932152.0001>.

Hosseini, S. A. and Hoseini, S. M. 2013. Effect of dietary tryptophan on stress response of wild common carp *Cyprinus carpio* L. *World Journal Fish and Marine Sciences*, 5:49-55. DOI: 10.5829/idosi.wjfm.2013.05.01.6690.

Islam, M. D. M.; Yang, C. 2017. Efficacy of mealworm and super mealworm larvae probiotics as an alternative to antibiotics challenged orally with *Salmonella* and *E. coli* infection in broiler chicks. *Poultry Science*, 96:27-34. <https://doi.org/10.3382/ps/pew220>.

Jin, X. H.; Heo, P. S.; Hong, J. S.; Kim, N. J.; Kim, Y. Y. 2016. Supplementation of Dried Mealworm (*Tenebrio molitor* larva) on Growth Performance, Nutrient Digestibility and Blood Profiles in Weaning Pigs. *Asian-Australas Journal of Animal Science*. 29:979-86. doi: 10.5713/ajas.15.0535.

Leira, M.; Leira, M. H.; Reghim, L. S.; Cunha, L. T.; Ortiz, L. T.; Paiva, C. de O.; Botelho, H. A.; Ciacci, L. da S.; Braz, M. S. and Dias, N. P. P. 2017. Bem-estar dos animais nos zoológicos e a bioética ambiental. *Pubvet*, 11:538-645. DOI: <https://doi.org/10.22256/PUBVET.V11N6.545-553>.

Macedo, H. T.; Pedrinelli, V.; Rentas, M. F.; Risolia, L.; Zafalon, R.; Perini, M.; Rodrigues, R.; Brunetto, M. A. Alimentos não convencionais para cães e gatos. /n: Balieiro, J. C. C.; Gameiro, A. H.; Pereira, A. S. C.; Rodrigues, P. H. M.; Garbossa, C. A. P.; Brunetto, M. A.; Ventura, R. V. Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal. Edição 2018. Pirassununga: 5D Editora, 2018, 90-106.

Malafaia, P.; Barbosa, J. D.; Tokarnia, C. H. and Oliveira, C. M. C. 2011. Distúrbios comportamentais em ruminantes não associados a doenças: origem, significado e importância. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 31:781-790. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2011000900010>.

Marai, I. F. M. e Haebe, A. A. M. 2010. Buffalo's biological functions as affected by heat stress – A review. *Livestock Science*, 127:89–109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.08.001>.

Markowiak P. and Śliżewska K. 2018. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens*, 10:1-20. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13099-018-0250-0>.

Martins, A. S.; Prado, I. N.; Zeoula, L. M.; Branco, F. A. and Nascimento, W. G. 2000. Digestibilidade aparente de dietas contendo milho ou casca de mandioca como fonte energética e farelo de algodão ou levedura como fonte protéica em novilhas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29:269-277. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000100035>.

Martins, R. A.; Assunção, A. S. A. 2018. Importância dos aminoácidos na nutrição de frangos de corte: revisão de literatura. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal*, 12:539-554. DOI: 10.5935/1981-2965.20180050.

Mellor, D. J. 2016. Moving beyond the “Five Freedoms” by Updating the “Five Provisions” and Introducing Aligned “Animal Welfare Aims”. *Animals*, 6:59. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani6100059>.

Mellor, D. J. 2017. Operational Details of the Five Domains Model and Its Key Applications to the Assessment and Management of Animal Welfare. *Animals*, 7:60. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani7080060>.

Mellor, D. J. and Beausoleil, N. J. 2015. Extending the 'Five Domains' model for animal welfare assessment to incorporate positive welfare states. *Animal Welfare*, 24:241-253. DOI: <https://doi.org/10.7120/09627286.24.3.241>.

Melo, H. T. Uso de subprodutos na nutrição animal. 2021. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Escola de Ciências Médicas e da Vida, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021.

Michel, K. E. 2006. Unconventional Diets for Dogs and Cats. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 36:1269-1281. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2006.08.003>.

Moraleco, D. D.; Almeida, A. A.; Valentim, J. K.; Morais, M. V. M.; Brasil, C. P. A.; Arruda, D. R. F.; Lira, G. R.; Araújo, D. S.; Pinheiro, S. R. F.; Lima, H. J. D. 2024. Alga marinha calcária na dieta de poedeiras semipesadas nas fases de recria e pré-postura. *Ciência Animal Brasileira*, 25:77723. DOI: 10.1590/1809-6891v25e-77723P.

Nascimento, A. A.; Ferreira, M. R.; De Oliveira, A. R.; Pereira, K. A.; Soares, N. A.; Resende, E. S.; Bellan, J. S. N. and Rios, J. F. 2015. Impacto da qualidade da forragem na performance e saúde do animal. Diamantina: UFVJM. Disponível em: <https://portalidea.com.br/cursos/forragem-e-nutricao-animal-apostila04.pdf>.

Odermatt, B.; Keil, N. and Lips, M. 2018. Animal Welfare Payments and Veterinary and Insemination Costs for Dairy Cows. *Agriculture*, 9(1):3. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture9010003>.

Pandorf, H.; Da Silva, I. J. O.; Carvalho, J. L. de. And Piedade, S. M. S. 2006. Estudo do comportamento bioclimático de matrizes suínas alojadas em baias individuais e coletivas, com ênfase no bem-estar animal na fase de gestação. *Engenharia Rural*, 17:1-10. Disponível em: <http://www.nupea.esalq.usp.br/admin/modSite/arquivos/imagens/57c741cb43ada336f98a1b1c36ae5098.pdf>.

Pereira, D. F. and Nääs, I. A. 2005. Estimativa do conforto de matrizes de frango de corte baseada em análise do comportamento de preferência térmica. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 25:315-321. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000200004>.

Pereira, D. F. and Nääs, I. A. 2008. Estimating the thermoneutral zone for broiler breeders using behavioral analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 62:2-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.09.001>.

Premalatha, M.; Abbasi, T.; Abbasi, T.; Abbasi, S. A. 2011. Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15:4357-4360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.115>.

Quiniou, N.; Noblet, J. Vaan Milgen, J. and Dubois, S. 2001. Modelling heat production and energy balance in group housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures. *British Journal of Nutrition*, 85:97-106. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN2000217>.

Reis, T. L.; Dias, A. C. 2020. Farinha de insetos na alimentação de não ruminantes, uma alternativa alimentar. *Veterinária e Zootecnia*, 27:001-017. Disponível em: <https://rvz.emnuvens.com.br/rvz/article/view/428/247>.

Roberto, J. V. B. e Souza, B. B. 2011. Fatores ambientais, nutricionais e de manejo e índices de conforto térmico na produção de ruminantes no semiárido. *Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável*, 6:2. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/593>. Acesso em: 25 mai. 2025.

Rocha, F. D.; Pereira, R. C.; Kaplan, M. A. C.; Teixeira, V. L. 2007. Produtos naturais de algas marinhas e seu potencial antioxidante. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 17: 631-639.

Rosa, I. M. M. F.; Sousa, A. K. S. S. A. K. S.; Rocha, F. S. B. e Fonseca, L. S. 2021. O impacto do bem-estar animal para o agronegócio aplicado à bovinocultura no Brasil. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, 7:56531-56546. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-184>.

Roselli, M.; Pieper, R.; Rogel-Gaillard, C.; De Vries, H.; Bailey, M.; Smidt, H. and Lauridsen, C. 2017. Immunomodulating effects of probiotics for microbiota modulation, gut health and disease resistance in pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 233:104-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.07.011>.

Saad, F. M. O. B. e França, J. Alimentação natural para cães e gatos. 2010. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39:52-59. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300007>.

Sánchez-Muros, M.; Barroso, F. G.; Manzano-Agugliaro, F.; 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65:16-27. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>.

Silva, B. P.; Coan, V. M.; Santinon, N. P. and Da Silva, M. D. 2024. Bem-Estar Animal Em Sistemas De Produção De Bovinos. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 10:1260-1275. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v10i12.17478>.

Souza, B. B.; Lopes, J. J.; Roberto, J. V. B.; de Azevedo A. M. S.; da Silva, E. M. N. and de Assis Silva, G. 2010. Efeito do ambiente sobre as respostas fisiológicas de Caprinos saanen e mestiços ½saanen+ ½boer no semiárido Paraibano. *Agropecuária científica no semiárido*, 6:47-51. Disponível em: <<https://acsa.revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/72/pdf>>.

Tuytens, F.; Heyndrickx, M.; Boeck, M.; Moreels, A.; Nuffel, A. V.; Poucke, E. V.; Coillie, E. V.; Dongen, S. V. and Lens, L. 2008. Broiler chicken health, welfare and fluctuating asymmetry in organic versus conventional production systems. *Livestock Production Science*, 113: 123-132. DOI: <https://doi.org/10.1010/j.livsci.2007.02.019>.

Valentim, J. K.; Lima, H. J. D. A.; Bittencourt, T. M.; Silva, N. E. M.; Burbarelli, M. F. C.; Garcia, R. G.; Pantoja, J. C.; Barbosa, D. K. 2021. Grãos secos de destilaria na alimentação de frangos de corte. *Ensaios e Ciência*, 25(1):44–49. DOI: 10.17921/1415-6938.2021v25n1p44-49.

Vilella, L. M. Produção de insetos para uso na alimentação animal. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

Zanella A. 2015. Bem-estar favorece produtividade na suinocultura. *Revista da Suinocultura*, 4(14):27-29.

PERDAS ECONÔMICAS DECORRENTES DE CONDENAÇÕES TOTAIS DE CARCAÇAS SUÍNAS EM ESTABELECIMENTOS SOB SERVIÇO DE INSPEÇÃO FEDERAL EM MATO GROSSO

Elizama Amorim de Souza

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Cássia Aldrin de Mello

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Elayne Pereira Rodrigues

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Kétura Rízia Silva Franco

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Carla Batista Vaz

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Ercures Ramágio Rocha Guimarães

Faculdade AJES

Felype Yutaka Yonezawa

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Milleny Melo

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Gabrielly Silva Oliveira

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Jonathan Mádson dos Santos Almeida

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

RESUMO

O presente trabalho analisou as perdas econômicas e os principais motivos das condenações totais de carcaças suínas provenientes de abatedouros-frigoríficos sob Serviço de Inspeção Federal (SIF) no estado de Mato Grosso, entre janeiro e maio de 2024. Observou-se que 3,97% dos suínos abatidos no período tiveram suas carcaças condenadas, sendo as principais causas de condenação: septicemia, coloração anormal, falhas tecnológicas, aderência de pleura purulenta, morte durante o transporte e morte no pré-abate. O controle periódico das condenações em abatedouros é uma importante ferramenta para a melhoria do manejo e das condições de abate dos suínos, pois pode contribuir para a redução das perdas econômicas associadas às condenações de carcaças. No período avaliado, essas perdas representaram aproximadamente R\$ 3,5 milhões. Conclui-se que as condenações totais de carcaças suínas podem gerar perdas econômicas expressivas, principalmente por causas sanitárias, tecnológicas e falhas no transporte e pré-abate. Assim, o monitoramento contínuo das condenações é essencial para reduzir prejuízos e melhorar as condições de manejo e abate.

Palavras-chave: Bem-estar animal; carcaça suína; perdas econômicas; suinocultura.

INTRODUÇÃO

A carne suína é uma das proteínas de origem animal mais consumidas do mundo e ocupa a terceira posição no mercado interno brasileiro, desempenhando papel estratégico tanto na segurança alimentar quanto no desenvolvimento econômico nacional. Em 2025, o Brasil atingiu uma produção de 5,59 milhões de toneladas, permanecendo entre os quatro maiores produtores dessa proteína. Com 1,51 milhão de toneladas destinadas às exportações, o país assumiu a terceira posição entre os exportadores, com receitas superiores a US\$ 3,61 milhões (ABPA, 2026). O setor movimenta mais de R\$ 100 bilhões por ano, sendo responsável por milhares de empregos e pela contribuição expressiva ao Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio (ABCS, 2020).

Nesse cenário de crescimento e expansão dos mercados consumidores, torna-se essencial buscar a eficiência operacional em todos os elos da cadeia produtiva. A competitividade exige processos cada vez mais confiáveis e produtivos, especialmente nas etapas finais de processamento animal. A modernização tecnológica dos abatedouros, associada a programas de autocontrole e inspeção baseada em risco, busca reduzir falhas operacionais, perdas econômicas e garantir padrões de qualidade e inocuidade dos alimentos (ABCS, 2020).

Entretanto, mesmo com os avanços tecnológicos e normativos, as condenações totais de carcaças suínas ainda representam um problema significativo na indústria frigorífica, impactando diretamente os resultados econômicos das empresas e de toda a cadeia produtiva. Essas condenações ocorrem, principalmente, em função de doenças sistêmicas, falhas no bem-estar animal, contaminações acidentais ou deficiências nos procedimentos de abate e inspeção. Quando uma carcaça é totalmente condenada, há perda integral da matéria-prima, além de custos adicionais com descarte e riscos à reputação da planta industrial (Tovo, 2022).

Diante disso, objetivou-se analisar as principais causas de condenações totais de carcaças suínas e estimar as perdas econômicas associadas, utilizando como base dados de condenações de carcaças do Sistema de Informações Gerenciais do SIF do estado de Mato Grosso, no período de janeiro a maio de 2024.

DESENVOLVIMENTO

Panorama da Suinocultura Brasileira

A suinocultura tem se destacado globalmente como uma das principais cadeias produtivas da agropecuária, impulsionada por avanços em genética, manejo, biossegurança e tecnologias voltadas à eficiência produtiva. Segundo o Relatório Anual 2026 da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), a produção mundial de carne suína em 2025 foi estimada em 117,9 milhões de toneladas, representando crescimento de 0,72% em relação ao ano anterior. A China permanece como o maior produtor e consumidor, seguida pela União Europeia, Estados Unidos e Brasil (ABPA, 2026).

No cenário nacional, o Brasil consolidou-se como o quarto maior produtor e assumiu a terceira posição entre os maiores exportadores mundiais de carne suína do mundo. Tendo como destino 72,99% da produção para o mercado interno, e 27,01% para exportação. O consumo *per capita* de carne suína do Brasil em 2025 foi de 19,1 kg/hab/ano. Considerando que em 2015 o consumo estimado era de 15,1 kg/hab/ano, houve um incremento no consumo individual de 26,49% na última década (+4,0 kg/hab/ano) (ABPA, 2026).

No contexto estadual, Mato Grosso ocupa porcentagens relevantes no abate de animais por Unidade Federativa (UF) e exportações de toneladas de carne suína por UF, com 5,58% dos abates nacionais e 2,56% das exportações brasileiras em volume. Com esses percentuais, o estado ocupa a 6ª posição no abate de suínos e a 4ª posição nas exportações de carne suína entre as unidades federativas brasileiras (ABPA, 2026).

Inspeção Sanitária de Produtos de Origem Animal

Inspeção *ante mortem*

A inspeção *ante mortem* é uma etapa obrigatória e fundamental do processo de inspeção sanitária oficial, tendo como objetivo principal a detecção de enfermidades clinicamente perceptíveis nos animais vivos, segregar os indivíduos que demandam atenção especial na inspeção *post mortem* e a prevenção do

abate de animais submetidos a tratamentos medicamentosos irregulares ou em condições que comprometam a segurança do alimento. Essa etapa também visa garantir o cumprimento de programas oficiais de vigilância sanitária, como os voltados ao controle de febre aftosa e peste suína clássica (Mapa, 2024).

Inspeção *post mortem*

A inspeção *post mortem* é um procedimento obrigatório que consiste no exame macroscópico das carcaças e vísceras dos suínos abatidos, sendo realizada de forma sistemática em linhas de inspeção organizadas para permitir a execução eficiente do procedimento em escala industrial (Mapa, 2024).

O exame tem como finalidade a detecção de alterações morfológicas e sanitárias que possam comprometer a segurança do alimento. Os locais específicos onde ocorrem essas análises são denominados linhas de inspeção (Tabela 1), as quais são organizadas para a avaliação sequencial de diferentes regiões anatômicas. A inspeção abrange tanto a observação quanto a palpação e, quando necessário, a incisão de estruturas anatômicas, incluindo carcaça, cabeça/papada, língua, vísceras torácicas e abdominais, bem como os linfonodos regionais de fácil acesso. O cérebro é inspecionado apenas quando destinado à comercialização ou ao processamento industrial (Mapa, 2024; Ludtke *et al.*, 2014).

Tabela 1 - Quadro resumo das linhas de inspeção de suínos.

Linha	Inspeção de
A1	Cabeça e nódulos linfáticos da “papada”
A	Útero
B	Intestinos, estômago, baço, pâncreas e bexiga
C	Coração e língua
D	Fígado e pulmão
E	Carcaça
F	Rins
G	Cérebro

Fonte: Manual de inspeção de suínos (Mapa, 2024).

Julgamento e condenação de carcaças suínas pelo SIF

De modo geral, as vísceras com alterações restritas e contaminações são condenadas na linha de inspeção. Isso se aplica a carcaças com alterações restritas e pequenas contaminações, nas quais são removidas apenas as partes atingidas. Entretanto, nos casos de lesões ou contaminações com repercussão sistêmica ou comprometimento da carcaça, as quais serão identificadas, com marcações e numerações em vísceras e carcaças para garantir a rastreabilidade e a correlação precisa entre ambas, e enviadas ao Departamento de Inspeção Final (DIF), para melhor avaliação (Mapa, 2024).

O julgamento de carcaças suínas consiste no processo de avaliação criteriosa das carcaças e vísceras pelo médico veterinário responsável pela inspeção do SIF após o abate dos animais. Esse julgamento busca detectar sinais de enfermidades, contaminações ou quaisquer anormalidades que representem risco à saúde pública ou que contrariem os critérios técnicos estabelecidos pelo RIISPOA (Brasil, 2017b). Além disso, o julgamento também cumpre uma função de vigilância epidemiológica, possibilitando a identificação precoce de enfermidades e falhas no manejo, transporte ou processamento dos animais. O registro sistemático dos motivos de condenações permite a adoção de medidas corretivas tanto na granja quanto no abatedouro-frigorífico, promovendo uma cadeia produtiva mais segura e eficiente (Mello, 2024).

Após o julgamento feito nas linhas de inspeção, é dada a devida destinação das carcaças e vísceras, a saber (Brasil, 2017b):

- **Condenação total:** ocorre quando a carcaça inteira é considerada imprópria para o consumo;
- **Condenação parcial:** ocorre quando apenas determinados órgãos ou partes anatômicas são descartados;
- **Aproveitamento condicional:** corresponde à destinação dada pelo serviço oficial à matéria-prima e ao produto que se apresentar em desconformidade com a legislação para elaboração de produtos comestíveis, mediante submissão a tratamentos específicos para assegurar sua inocuidade.

Programas de Autocontrole

Os Programas de Autocontrole (PAC) são procedimentos de inspeção contínua e sistemática, de responsabilidade dos estabelecimentos, que abrangem todos os fatores capazes de afetar a qualidade higiênico-sanitária dos produtos para o consumidor. Seu propósito é antecipar a manifestação de perigos, atuando preventivamente contra a contaminação alimentar (Brasil, 2005).

Nesse sentido, os PAC surgiram com a necessidade de adequação do sistema de gestão de qualidade e segurança dos produtos de origem animal, atendendo assim às exigências nacionais e internacionais de se obter um produto cada vez mais inócuo e de qualidade (Alves, 2020).

Bem-Estar Animal

O conceito de bem-estar animal (BEA) começou a ser formalmente discutido em 1965, a partir do relatório do Comitê *Brambell* no Reino Unido, que definiu o bem-estar como o estado físico e mental satisfatório do animal, considerando sua saúde, conforto e capacidade de expressar comportamento natural (Ludtke *et al.*, 2012).

Gomide *et al.* (2014) reforçam que o BEA envolve não apenas aspectos éticos e morais, relacionados à prevenção do sofrimento desnecessário, mas também aspectos econômicos, pois práticas de manejo humanitário resultam em carnes de melhor qualidade e reduzem descartes de carcaças por contusões e hematomas.

O novo RIISPOA (Brasil, 2017b) tornou obrigatória a implementação de protocolos de BEA em todos os estabelecimentos de abate. Em complemento, a Portaria 365 (Brasil, 2021), alterada pela Portaria 864 (Brasil, 2023), aprovou o Regulamento Técnico de Manejo Pré-abate e Abate Humanitário e os métodos autorizados de insensibilização. O BEA deve ser garantido em todas as etapas: transporte, desembarque, permanência em baias, condução ao abate e insensibilização.

Principais Causas de Condenações no Abate de Suínos

Septicemia

A septicemia é uma condição patológica grave que ocorre quando há multiplicação ativa de micro-organismos na corrente sanguínea, acompanhada pela disseminação hematogênica para múltiplos tecidos (McGavin; Zachary, 2015). Clinicamente, caracteriza-se por febre, toxemia, mal-estar generalizado e, em casos mais severos, choque séptico. Nos animais domésticos, a septicemia aguda provoca alterações macroscópicas notáveis, como baço moderadamente aumentado e intensamente vermelho devido à congestão sanguínea, além de superfície de corte hemorrágica.

Matos *et al.* (2022) conduziram um estudo em um abatedouro com Serviço de Inspeção Estadual (SIE) localizado no município de Ji-Paraná, Rondônia, entre março e maio de 2022, avaliando as principais causas de condenação de carcaças suínas. Em sua pesquisa, os autores identificaram que, de um total de 90 condenações analisadas, 17 casos (7,78%) foram atribuídos à peritonite com septicemia decorrente de hérnia umbilical, enquanto 1 caso (1,11%) foi diagnosticado como septicemia decorrente de hérnia umbilical. Esses achados corroboram a compreensão de que as hérnias umbilicais não tratadas podem evoluir para complicações graves, como peritonite e septicemia, conforme descrito por McGavin e Zachary (2015).

A Figura 1 ilustra uma carcaça suína com lesões típicas de septicemia, evidenciando a gravidade da infecção e a necessidade de condenação total da carcaça.

Figura 1 - Carcaça com septicemia.



Fonte: Manual de inspeção de suínos (Mapa, 2024).

Coloração Anormal

A coloração anormal da carcaça é um importante critério utilizado na inspeção *post mortem* para a condenação de produtos de origem animal. De acordo com o artigo 155, inciso XIII, do RIISPOA (Brasil, 2017b), carnes que apresentem mau aspecto, colorações alteradas ou odores indesejáveis, como medicamentosos, excrementícios ou sexuais, devem ser consideradas repugnantes e impróprias para o consumo humano.

Já o inciso XIV, do mesmo artigo, do RIISPOA, complementa que carcaças com coloração amarela intensa ou amarelo-esverdeada, não restrita à gordura, mas também presente em tecidos conjuntivos, vasos sanguíneos e ossos, devem ser condenadas integralmente, principalmente quando associadas a alterações hepáticas, sinais de caquexia, anemia ou sangria inadequada (Brasil, 2017b).

Essas alterações podem indicar diferentes distúrbios fisiopatológicos. Carcaças amareladas estão frequentemente relacionadas à icterícia, evidenciando possíveis disfunções hepáticas ou hemolíticas. Já tons esverdeados sugerem putrefação ou contaminações bacterianas avançadas, enquanto a musculatura

arroxeada pode refletir cianose, hipóxia ou até morte prévia ao abate (Casieli Nedel, 2021).

O estudo de Ciconet *et al.* (2019), realizado em um abatedouro com SIF no Rio Grande do Sul, entre outubro e novembro de 2017, identificou a icterícia como uma causa importante de condenação de carcaças suínas, representando 14,16% do total. A icterícia, caracterizada pela coloração amarelo-esverdeada dos tecidos (gordura, conjuntivo e ossos) devido à impregnação por pigmentos biliares, está frequentemente ligada a distúrbios hepáticos, manejo pré-abate inadequado e condições sanitárias deficientes na criação. Os pesquisadores enfatizam a necessidade de monitoramento constante da saúde dos suínos e da implementação de boas práticas de bem-estar animal para diminuir a ocorrência dessa patologia.

Falha Tecnológica

As falhas tecnológicas, também chamadas tecnopatias, são causas relevantes de condenações totais ou perdas parciais de carcaças suínas nos abatedouros e não são de origem patológica. Tais falhas resultam de deficiências em equipamentos, processos industriais inadequados ou da ausência de manutenção preventiva eficiente. Entre os exemplos mais comuns de falhas estão a contaminação por graxa, sangria inadequada, escaldagem excessiva ou insuficiente, lesões provocadas por depiladeira e imperfeições no chamuscamento (Gonzalez *et al.*, 2021).

Segundo Vanin *et al.* (2021), aproximadamente 70,8% das paradas em linhas de produção de abate ocorrem por falhas nos equipamentos, com destaque para o setor de sangria, que concentra 66,9% desses eventos. Equipamentos como dosadores, esteiras e nóreas apresentam vulnerabilidades que, se não corrigidas, comprometem diretamente a produtividade e a segurança alimentar.

Durante o abate, processos como escaldagem e depilação de suínos são críticos: uma temperatura inadequada da água ou falhas na ação mecânica podem não apenas prejudicar a aparência da carcaça, mas também a expor à contaminação microbiológica (Gonzalez *et al.*, 2021). Da mesma forma, falhas no

sistema de sangria resultam em acúmulo de sangue nos tecidos, favorecendo o crescimento bacteriano e alterando características sensoriais da carne.

Estudos de Ciconet *et al.* (2019) no Rio Grande do Sul e de Rodrigues, Martins e Procópio (2020) em Santa Catarina, ambos em abatedouros com SIF, evidenciaram a contaminação como uma falha tecnológica relevante nas condenações de carcaças suínas. A pesquisa de Ciconet *et al.* (2019) apontou que essa ocorrência, ligada principalmente a problemas na evisceração, representou 2,78% das condenações. Já o levantamento de Rodrigues, Martins e Procópio (2020) demonstrou um impacto financeiro considerável dessa questão em Santa Catarina, com perdas de aproximadamente R\$ 481,67 milhões, no período de 2010 a 2018.

Ambos os trabalhos sublinham que deficiências operacionais e de instrução da equipe são causas primárias, corroborando que tais tecnopatias são um problema recorrente com significativas perdas econômicas. As pesquisas sugerem que investimentos em qualificação de manipuladores, conservação preventiva de maquinários e aplicação rigorosa de controles internos são medidas essenciais para reduzir a incidência dessas condenações evitáveis e mitigar os prejuízos financeiros.

Aderência de pleura

As aderências pleurais representam importantes causas de condenações parciais ou totais de carcaças suínas em abatedouros. Trata-se da união anormal entre a pleura visceral (que recobre os pulmões) e a pleura parietal (que reveste a cavidade torácica), podendo ser classificada em seca, úmida ou purulenta, dependendo da fase e gravidade do processo inflamatório (Asevedo; Zat, 2023).

Essas aderências são geralmente resultado de infecções respiratórias crônicas, como a pleuropneumonia suína, frequentemente causadas por agentes como *Actinobacillus pleuropneumoniae*, *Mycoplasma hyopneumoniae* e a *Pasteurella multocida*, (Asevedo; Zat, 2023). Quando a infecção evolui para formação de exsudato purulento e compromete extensivamente a cavidade torácica, o RIISPOA determina a condenação total da carcaça, visando proteger a saúde pública (Brasil, 2017b).

Segundo Araújo (2009), a ocorrência de aderência pleural está fortemente associada a falhas no manejo sanitário das granjas, como sistemas de ventilação inadequados, alta densidade de alojamento e ausência de programas efetivos de vacinação. Essas condições propiciam a instalação de doenças respiratórias de curso crônico, reduzindo a produtividade dos animais e afetando a rentabilidade da cadeia suinícola.

Além do impacto direto sobre o aproveitamento industrial da carcaça, a aderência pleural dificulta o processo de evisceração durante o abate, aumentando o tempo de processamento e o risco de contaminação cruzada, o que compromete a eficiência e a segurança sanitária do estabelecimento (Gonzalez *et al.*, 2021).

Medeiros e Piasa (2025) conduziram uma investigação em um abatedouro-frigorífico no interior do Paraná, avaliando 5.528 suínos abatidos entre julho de 2023 e agosto de 2024, provenientes de granjas do Rio Grande do Sul e do Paraná, onde constataram uma alarmante incidência de 50,6% de condenações por aderência de pleura.

Complementarmente, Silva *et al.* (2020), analisando dados do Sistema de Informações Gerenciais do Serviço de Inspeção Federal (SIGSIF) no período de 2012 a 2017, identificaram que a aderência pleural representou 37,30% das condenações de carcaças suínas sob inspeção federal, figurando como a principal causa de perdas em abatedouros-frigoríficos brasileiros. Estes dados evidenciam a relevância epidemiológica e econômica desta condição patológica no contexto nacional, justificando a necessidade de medidas mais rigorosas de prevenção e controle nas unidades produtoras.

A Figura 2 ilustra um exemplo de aderência de pleura observada na linha de inspeção *post mortem*, evidenciando as dificuldades operacionais e sanitárias que essas lesões impõem durante o processamento industrial.

Figura 2 - Carcaça com aderência de pleura.



Fonte: Manual de inspeção de suínos (Mapa, 2024).

Dessa forma, a adoção de boas práticas de manejo, o controle rigoroso de doenças respiratórias nas granjas e a correta avaliação *ante mortem* dos lotes são medidas fundamentais para reduzir a incidência de pleurites e, consequentemente, minimizar perdas econômicas por condenações.

Morte no transporte

A morte de suínos durante o transporte ao abatedouro representa não apenas uma perda econômica direta, em razão da condenação total da carcaça, mas também uma falha crítica nos princípios de BEA. Conforme preconizado pelo RIISPOA (Brasil, 2017b), carcaças de animais mortos antes do abate não devem ser utilizadas para consumo humano, o que implica desperdício de recursos financeiros, humanos e energéticos envolvidos na produção daquele animal.

De acordo com Diesel (2016), entre os principais fatores de risco associados à mortalidade no transporte estão: duração da viagem, densidade de carga nos compartimentos, temperatura e umidade elevadas, ventilação inadequada, condução agressiva e uso de veículos mal adaptados. Suínos são particularmente sensíveis ao estresse térmico devido à sua anatomia (baixa capacidade de

sudorese e alta taxa metabólica), o que os torna vulneráveis a viagens longas e mal ventiladas, especialmente em períodos de calor intenso.

Além disso, a ausência de um planejamento adequado de rotas e de pausas durante o transporte agrava as condições físicas dos animais, elevando o risco de exaustão, desidratação e, em casos extremos, morte súbita. Os dados apresentados por Diesel (2016) demonstraram que, em uma amostragem de três abatedouros-frigoríficos, a taxa média de mortalidade no transporte variou de 0,05% a 0,2%, representando perdas significativas quando considerados os grandes volumes de abate diários.

A implementação de boas práticas de transporte, com veículos adaptados, redução da densidade, rotas otimizadas e manejo cuidadoso durante embarque e desembarque, é fundamental para mitigar essas perdas e garantir a conformidade com os princípios de bem-estar e sustentabilidade.

Morte no Pré-Abate

A morte no pré-abate refere-se aos óbitos de suínos ocorridos nas instalações do abatedouro antes do início efetivo do abate, geralmente nas pocilgas de descanso. Assim como no transporte, essas mortes resultam em condenações totais das carcaças e indicam falhas nas condições ambientais e de manejo na etapa *ante mortem*. Segundo o RIISPOA (Brasil, 2017b), animais que morrem antes do abate não podem ser processados, devendo ser destinados à graxaria ou incineração.

Diesel (2016) observou que as principais causas de morte no pré-abate incluem: estresse térmico, brigas entre animais de diferentes lotes, ausência de água, longas esperas sem alimentação e manejo agressivo por parte dos funcionários. O tempo de jejum prolongado, aliado à espera em ambientes quentes e mal ventilados, pode comprometer a recuperação dos animais após o transporte, aumentando a incidência de exaustão e óbitos.

Para reduzir tais perdas, recomenda-se a adoção de pocilgas com sombra e ventilação adequada, acesso contínuo à água potável, tempos de espera reduzidos e protocolos rigorosos de monitoramento do estado clínico dos animais antes

do abate. A capacitação da equipe é outro ponto fundamental para garantir o manejo humanitário, ético e técnico durante esse período sensível.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado com dados de relatórios oficiais disponibilizados no SIGSIF do Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa), disponível em <<https://sigsif.agricultura.gov.br>>.

O período analisado compreendeu os meses de janeiro a maio de 2024, considerando os dados referentes ao estado de Mato Grosso.

Para a análise da prevalência de condenações totais foram selecionadas as seguintes variáveis:

- I. Total de abate de suínos;
- II. Condenações totais de carcaças suínas;
- III. Causas das condenações totais.

A partir dos registros de condenações feitos pelo SIF de todos os abatedouros do estado, os dados de condenações totais de carcaças foram trabalhados matematicamente para obtenção da prevalência delas.

A perda econômica foi determinada a partir da equação:

$$\text{Perda econômica} = QCD \times RMCC \times PMACS$$

Em que:

QCD = Quantidade de carcaças condenadas totalmente no período de estudo;

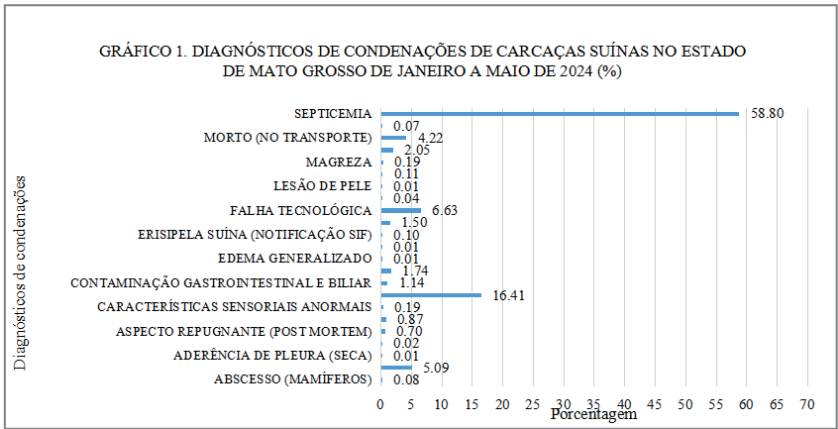
RMCC = Rendimento médio de carne por carcaça que foi de aproximadamente 72 kg (de acordo com Embrapa (2018));

PMACS = Preço médio da arroba (@) da carne suína no ano de 2024 de 5,96 R\$/kg (obtido pela base de dados do IMEA (2024)).

DISCUSSÃO

No período de janeiro a maio de 2024, foi abatido um total de 208.478 suínos registrados no SIF em Mato Grosso, dos quais 8.276 carcaças foram totalmente condenadas, o que correspondeu a 3,97% do total. As principais causas identificadas foram: septicemia (4.866 casos/58,80%), coloração anormal (1.358 casos/16,41%), falha tecnológica (549 casos/6,63%), aderência de pleura purulenta (421 casos/5,09%), morte no transporte (349 casos/4,22%) e morte no pré-abate (170 casos/2,05%), entre outras causas identificadas na Figura 3.

Figura 3 - Gráfico do diagnóstico de condenações de carcaças.



Fonte: SIGSIF (2024).

A septicemia se destacou como a principal causa de condenações totais, representando 58,80% dos casos, o que evidencia sua importância sanitária e econômica para a suinocultura em Mato Grosso. Esse percentual é expressivo quando comparado aos achados de Matos *et al.* (2022) em estudo realizado em um abatedouro com SIE, no município de Ji-Paraná-RO, entre março e maio de 2022, no qual os autores observaram uma frequência de (8,89%) de condenações decorrentes de peritonite com septicemia decorrente de hérnia umbilical e septicemia decorrente de hérnia umbilical.

A septicemia é uma condição patológica grave que ocorre quando há multiplicação ativa de microrganismos na corrente sanguínea, acompanhada pela disseminação hematogênica para múltiplos tecidos (Mcgavin; Zachary, 2015).

Tais achados ressaltam a necessidade de estudos mais aprofundados sobre a causa das condenações por septicemia, visto que existem diversas etiologias que podem levar à condenação da carcaça por essa denominação.

A fim de minimizar a ocorrência desta patologia, é importante reforçar os controles sanitários nas fases de criação e manejo pré-abate para mitigar sua incidência e reduzir as perdas econômicas associadas (Matos *et al.*, 2022), visto que seu aparecimento no abate requer a correta detecção, implicando na condenação total da carcaça (Mapa, 2024).

A coloração anormal foi a segunda principal causa de condenação total de carcaças suínas, representando 16,41% dos casos. Esta alteração, segundo o RIISPOA (Brasil, 2017b), pode justificar a condenação integral quando compromete não apenas a gordura, mas também tecidos conjuntivos e ossos, especialmente quando associada à caquexia, sangria inadequada ou icterícia, esta última responsável por (14,16%) das condenações totais, em abatedouro com SIF, no estado do Rio Grande do Sul, entre outubro e novembro de 2017 (Ciconet *et al.*, 2019).

Conforme Cassieli Nedel (2021), tons amarelados, esverdeados ou arroxeados podem indicar disfunções hepáticas, infecções, hipóxia ou até putrefação, condições que tornam a carne imprópria para o consumo humano.

A ocorrência significativa de condenações por coloração anormal no presente estudo pode estar relacionada a fatores como falhas no manejo pré-abate, doenças sistêmicas não identificadas previamente e estresse prolongado durante o transporte, como discutido por Gonzalez *et al.* (2021).

Esses fatores alteram o metabolismo dos tecidos, influenciando diretamente a aparência da carcaça e comprometendo sua aceitação comercial, resultando em perdas econômicas para a indústria. Apesar de não haver dados específicos de outros estudos que quantifiquem as condenações totais por essa causa, a literatura reforça sua relevância sanitária e comercial, justificando as medidas rigorosas de inspeção *post mortem* (Gonzalez *et al.*, 2021).

Falhas tecnológicas representaram a terceira maior causa de condenações, 6,63% das condenações totais de carcaças suínas no período avaliado. Estas causas ocorrem principalmente no processo de abate, onde podem ocorrer falhas como a contaminação gastrointestinal e por graxa, insensibilização e

sangria inadequada, escaldagem excessiva ou insuficiente, lesões provocadas por depiladeira e imperfeições no chamuscamento (Gonzalez *et al.*, 2021).

A presença de tecnopatias entre as principais categorias de condenação reforça a necessidade de treinamento contínuo das equipes de abate, manutenção adequada dos equipamentos e maior controle nos PAC dos estabelecimentos (Gonzalez *et al.*, 2021).

Conforme o RIISPOA (Brasil, 2017b), carcaças, partes de carcaças e órgãos que apresentarem extensa contaminação por qualquer natureza devem ser condenados quando não for possível a remoção completa da área contaminada. A contaminação foi responsável por (2,78%) das condenações totais no estudo de Ciconet *et al.* (2019), sendo sobretudo por conteúdo gastrointestinal, devido a falhas operacionais.

Contaminação também gerou a perda econômica por condenação total de carcaças suínas de R\$ 481,67 milhões, segundo o estudo de Rodrigues, Martins e Procópio (2020), que estimou a perda econômica das principais causas de condenações totais de carcaças suínas em abatedouros-frigoríficos com SIF em Santa Catarina, durante o período de 2010 a 2018.

A aderência de pleura purulenta foi responsável por 5,09% das condenações totais de carcaças no presente estudo, sendo a quarta maior causa de condenações. Achados no estudo de Medeiros e Piasa (2025) que conduziram uma investigação em um abatedouro-frigorífico no interior do Paraná e avaliaram 5.528 suínos abatidos entre julho de 2023 e agosto de 2024, oriundos de granjas do Rio Grande do Sul e do Paraná, mostram incidência de (50,6%) de condenações por aderência de pleura, muito acima dos dados do presente estudo.

Já Silva *et al.* (2020) encontraram (37,30%) de condenações por aderência pleural, sendo a principal causa de condenações de carcaça suína em abatedouros-frigoríficos sob SIF, segundo informações extraídas do banco de dados do SIGSIF no período de 2012 a 2017 (Silva *et al.*, 2020). Se comparados ao presente estudo, esses resultados demonstram que o percentual encontrado de condenações totais por aderência de pleura é relativamente baixo.

A ocorrência de aderência pleural está diretamente associada com problemas respiratórios crônicos nos suínos, comprometendo não apenas o pulmão, mas também outros órgãos, justificando a total condenação (Brasil, 2017b).

Apesar do índice abaixo da literatura, sua presença reflete comprometimento da saúde respiratória dos suínos, que pode ser exacerbado por fatores como superlotação, ventilação inadequada e estresse térmico, agravados durante o transporte (Medeiros; Piasa, 2025). Esses achados reforçam a importância de programas de controle sanitário nas granjas, focados na prevenção de doenças respiratórias, bem como, na correta execução de boas práticas de produção e bem-estar desses animais, visando a redução das perdas econômicas relacionadas a essa causa (Medeiros; Piasa, 2025).

A morte durante o transporte representou 4,22% das condenações totais de carcaças suínas no presente estudo, enquanto a morte no pré-abate foi responsável por 2,05% dos casos. Ambas as ocorrências resultam na condenação integral das carcaças, conforme estabelece o RIISPOA (Brasil, 2017b), e refletem falhas no manejo pré-abate, indicando deficiência em alguma fase dos PAC BEA dos estabelecimentos (Brasil, 2017a).

Conforme Diesel (2016), suínos são altamente suscetíveis ao estresse térmico devido à baixa capacidade de termorregulação, o que torna fatores como transporte prolongado, alta densidade de carga, temperatura elevada e falta de ventilação determinantes para o aumento da mortalidade. Somadas a isso, falhas no planejamento logístico, como ausência de pausas e embarque inadequado, potencializam as perdas.

A morte no pré-abate, por sua vez, está associada a condições ambientais adversas nas instalações de descanso, como ventilação insuficiente, altas temperaturas e falta de acesso à água potável. A mistura de animais de diferentes lotes, com consequente aumento de brigas e traumatismos, também contribui para a ocorrência de óbitos antes do abate efetivo (Diesel, 2016).

Esses achados ressaltam a necessidade de adoção de medidas de bem-estar animal tanto no transporte quanto no manejo no pré-abate, visando reduzir perdas econômicas e garantir a qualidade do produto. Investimentos em infraestrutura adequada, protocolos de transporte humanitário e capacitação contínua das equipes envolvidas são estratégias essenciais para a mitigação desses índices (Miranda de la Lama, 2013).

Considerando a aplicação da fórmula $QCD \times RMCC \times PMACS$, a perda econômica estimada com as condenações totais de suínos no estado, entre janeiro

e maio de 2024, foi de aproximadamente R\$ 3,5 milhões. E sendo Mato Grosso o estado com o 6º maior número de abates de animais por UF e a 4ª maior exportação de carne suína por UF do país (ABPA, 2026), este valor evidencia o impacto financeiro direto das falhas sanitárias, operacionais e de bem-estar ao longo da cadeia de produção suinícola mato-grossense.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que 3,97% dos suínos abatidos no período tiveram suas carcaças totalmente condenadas, sendo as principais causas de condenação total a septicemia, colorações anormais, falhas tecnológicas, aderência de pleura, morte por transporte e no pré-abate. Portanto, o controle periódico das condenações nos abatedouros constitui uma importante ferramenta para a melhoria das condições de manejo, transporte e abate de suínos, possibilitando a identificação das principais causas de condenação e o direcionamento de ações corretivas ao longo da cadeia produtiva. O estudo evidenciou a importância do Serviço de Inspeção Federal como instrumento preventivo relevante para a saúde pública, promovendo a adequada destinação das carcaças e suas partes, bem como a retirada do consumo de carnes com alterações patológicas, sanitárias ou tecnológicas que possam comprometer a segurança do alimento.

No período de estudo, pode-se afirmar que as granjas fornecedoras dos suínos e os abatedouros sob SIF do estado devem reforçar estratégias preventivas, incluindo programas de vacinação, boas práticas de manejo, adequação no transporte e manutenção sistemática dos processos industriais e PAC para minimizar as perdas por condenações de carcaças e garantir a sustentabilidade econômica da cadeia suinícola, assegurando produtos de maior qualidade e segurança para o consumidor.

REFERÊNCIAS

ABCS – Associação Brasileira dos Criadores de Suínos. **Modernização da inspeção sanitária em abatedouros de suínos**: inspeção baseada em risco. Brasília: ABCS, 2020. Disponível em: <https://abcs.org.br/wp-content/uploads/2021/01/Moderniza%C3%A7%C3%A3o-da-inspe%C3%A7%C3%A3o-sanit%C3%A1ria-em-abatedouros-de-su%C3%ADnos-Inspecao-baseada-em-risco.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2026.

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2026**. São Paulo: ABPA, 2026. Disponível em: https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2026/04/relatorio_ABPA-2804_DIGITAL.pdf. Acesso em: 21 abr. 2026.

ALVES, G. (2020). **Uma abordagem sobre os Programas de Autocontrole (PAC)**. Disponível em: <https://portalefood.com.br/gestao/uma-abordagem-sobre-os-programas-de-autocontrole-pac/>. Acesso em: 31 mar. 2026.

ARAÚJO, A. P. de. **Manejo pré-abate e bem-estar dos suínos em frigoríficos brasileiros**. 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, 2009.

ASEVEDO, G.; ZAT, L. H. S. Condenações de carcaça suínas devido a doenças respiratórias revisão bibliográfica. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, [S. l.], v. 26, n. 1cont, p. 226–238, 2023. DOI: 10.25110/arqvet.v26i1cont-015. Disponível em: <https://revistas.unipar.br/index.php/veterinaria/article/view/10122>. Acesso em: 28 abr. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Lei nº1.283**, de 18 de março de 1950 - Dispõe sobre a inspeção industrial e sanitária dos produtos de origem animal. Brasília, 1950.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Circular Nº 175/2005/CGPE/DIPOA** - Procedimentos de Verificação dos Programas de Autocontrole. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Norma Interna DIPOA/SDA Nº 01**, de 08 de março de 2017 - Aprova os modelos de formulários, estabelece as frequências e as amostragens mínimas a serem utilizadas na inspeção e fiscalização dos autocontroles implantados pelos estabelecimentos de POA's. Brasília, 08 março 2017a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto nº 9.013**, de 29 de março de 2017. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - RIISPOA. Brasília, 2017b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 365** de 16 de julho de 2021. Aprova o Regulamento Técnico de Manejo Pré-abate e Abate Humanitário e os métodos de insensibilização autorizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Sistema de Informações Gerenciais do Serviço de Inspeção Federal** – SIGSIF. Brasília, DF: MAPA, 2024. Disponível em: <https://sigsif.agricultura.gov.br>. Acesso em: 22 abr. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Portaria SDA/ MAPA nº 864**, de 31 de julho de 2023. Aprova o Regulamento Técnico de Manejo Pré-Abate e Abate Humanitário e Métodos de Insensibilização. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 1 ago. 2023. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda/mapa-864-de-31-de-julho-de-2023-499871950>. Acesso em: 22 abr. 2026.

CASSIELI NEDEL. **Causas de condenações de carcaças suínas em abatedouro sob Serviço de Inspeção Federal**. Universidade de Caxias do Sul, 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/handle/11338/14086>. Acesso em: 21 abr. 2026.

CICONET, C. F. *et al.* Principais causas de condenação de carcaças suínas em abatedouro no Rio Grande do Sul. *In: AGROTEC – Congresso de Ciência e Tecnologia Aplicadas ao Agronegócio*, 2019. Disponível em: https://eventos-antigo.uceff.edu.br/eventos/fai_dados/artigos/agrotec2019/1158.pdf. Acesso em: 26 abr. 2026.

DIESEL, T. A. **Fatores de risco associados às perdas quantitativas e econômicas ocorridas no manejo pré-abate de suínos**. 2016. 82 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/138656>. Acesso em: 21 abr. 2026.

EMBRAPA Suínos e Aves. **Questões técnicas do peso de abate em suínos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 105 p. (Comunicado Técnico, 225).

GOMIDE, L. A. M. *et al.* **Tecnologia de abate e tipificação de carcaças**. Viçosa: UFV, 2014, 340p.

GONZALEZ, J. A. A. *et al.* Fluxograma de abate e linhas de inspeção de suínos. **Canoas: Mérida Publishers**, 2021. Disponível em: <https://meridapublishers.com/fas/fas.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2026.

IMEA – Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária. **Indicador de preço do suíno**. Cuiabá: IMEA, 2024. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/indicador-suino>. Acesso em: 22 jun. 2024.

LUDTKE, C. B. *et al.* **Abate humanitário de bovinos** / Rio de Janeiro: WSPA, 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/arquivos-publicacoes-bem-estar-animal/programa-steps-2013-abate-humanitario-de-bovinos.pdf/view>. Acesso em: 15 fev. 2026.

LUDTKE, C. B. *et al.* **Manual de industrialização dos suínos**. Associação Brasileira de Criadores de Suínos (ABCS), coordenação editorial. Brasília, DF, 2014, 378p.

MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Manual de Procedimentos de Inspeção e Fiscalização de Suínos e seus Derivados em Estabelecimentos sob Inspeção Federal (SIF)**. Brasília: MAPA, 2024.

MATOS, W. *et al.* Main causes of condemnation of pork carcasses in refrigerators, under the screening of the state inspection service, in the municipality of Ji-Paraná – RO. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 11, n. 8, p. e14311830608, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i8.30608. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/30608>. Acesso em: 26 abr. 2026.

MCGAVIN, M. D. *et al.* **Bases da patologia em veterinária**. ZACHARY; [tradução Renata Scavone de Oliveira ... *et al.*]. - [5.ed.] Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.p.242-244;733;1033-1036.

MEDEIROS, M. E. R.; PIASA, M. M. C. Ocorrência de lesões em suínos oriundos de diferentes sistemas de produção, abatidos em um frigorífico localizado no interior do estado do Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Medicina Veterinária da Faculdade Assis Gurgacz**, v. 2, n. 1, p. 38-53, 2025. Disponível em: <https://ojsrevistas.fag.edu.br/index.php/ABMVFAG/article/view/2200>. Acesso em: 26 abr. 2026.

MELLO, C.A. **Introdução à Inspeção Higiênico-sanitária e tecnológica de produtos de origem animal**. [Apostila Não publicada] 2024, 22 p.

MIRANDA-DE LA LAMA, G. C. Consumer attitudes toward animal welfare-friendly products and production systems: a review. **CAB Reviews**, v. 8, n. 9, p. 1-9, 2013.

RODRIGUES, R. M.; MARTINS, T. O.; PROCÓPIO, D. P. Economic loss from the main causes of total swine carcass condemnations in slaughterhouses supervised by the federal inspection service in Santa Catarina from 2010 to 2018. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e5503984561, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5503>. Acesso em: 26 abr. 2026.

SILVA, Ê. C. *et al.* S. Análise de condenações de carcaça ao abate de suínos em abatedouros frigoríficos brasileiros registrados no serviço brasileiro de inspeção federal entre 2012 e 2017. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 76-85, 2020. DOI: 10.25061/2527-2675/ReBraM/2020.v23i3.806. Disponível em: <https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/806>. Acesso em: 26 abr. 2026.

TOVO, R. P. **Condenações de carcaças suínas em matadouros frigoríficos sob inspeção federal: causas e impactos econômicos**. Dissertação (Mestrado Profissional em Saúde Animal). Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, 2022. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/handle/123456789/33517>. Acesso em: 21 abr. 2026.

VANIN, A. B. *et al.* Avaliação das causas relacionadas à diminuição da eficiência em linha de abate e evisceração de suínos. In: **CONBREPRO 2021 – Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, 2021.

USDA – United States Department of Agriculture. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade – Pork Production Data**. Washington, D.C., 2024. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0113000>. Acesso em: 22 abr. 2026.

BEM-ESTAR ANIMAL NA SUINOCULTURA: EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO E TENDÊNCIAS DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

Valdemir de Oliveira Jr

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Felype Yutaka Yonezawa

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Elizama Amorim de Souza

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Carla Batista Vaz

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Emanoel Bulhões Bezerra

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Uriel Francisco de Jesus Silva

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Kamila Vitória

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Camilly Fernandes da Silva Sovernigo

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Cauã dos Santos Carvalho

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Janaina Januário da Silva

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

RESUMO

A suinocultura passou por um intenso processo de modernização ao longo das últimas décadas, resultando na adoção de sistemas de produção cada vez mais tecnificados e intensivos. Embora esses avanços tenham proporcionado ganhos produtivos e maior controle sanitário, também levantaram questionamentos quanto às condições de bem-estar animal, especialmente em função das restrições impostas aos animais pelos modelos produtivos modernos. Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão sistemática para analisar como a evolução dos sistemas de produção de suínos influenciou o bem-estar animal. A revisão foi conduzida de acordo com as diretrizes PRISMA, com buscas realizadas nas bases de dados Web of Science, Scopus, PubMed e Google Acadêmico, considerando estudos que abordaram diferentes sistemas de criação, o processo de intensificação da produção suinícola e indicadores relacionados ao bem-estar animal. Os resultados indicam que sistemas menos intensificados favorecem a expressão comportamental dos animais e apresentam melhores condições relacionadas ao bem-estar, enquanto sistemas intensivos oferecem vantagens associadas ao controle ambiental e à eficiência produtiva, porém impõem restrições estruturais que podem comprometer a qualidade de vida dos suínos. Dessa forma, conclui-se que o bem-estar animal na produção de suínos está diretamente associado ao modelo produtivo adotado, evidenciando a necessidade de equilíbrio entre produtividade, manejo adequado e condições de criação que atendam às necessidades físicas e comportamentais dos animais.

Palavras-chave: Análise bibliométrica; comportamento animal; produção intensiva.

INTRODUÇÃO

A suinocultura constitui uma das atividades pecuárias mais relevantes no cenário agropecuário mundial e passou por profundas transformações ao longo do século XX. Até esse período, a criação de suínos era realizada, em sua maioria, em sistemas extensivos ou semiextensivos, com menor densidade animal e maior possibilidade de expressão de comportamentos naturais. A partir da intensificação produtiva, impulsionada pelo crescimento populacional e pela necessidade de aumento da oferta de proteína animal, consolidaram sistemas altamente tecnificados, caracterizados pelo confinamento, pelo melhoramento genético voltado à eficiência produtiva e pelo desenvolvimento da nutrição de precisão. Esse processo resultou em aumento significativo da produtividade e padronização da produção (DIAS *et al.*, 2018; MOLNÁR, 2022), mas também ampliou os questionamentos sobre as condições de criação dos animais, especialmente em função das restrições impostas pelos sistemas intensivos.

Nesse contexto, o bem-estar animal consolidou-se como um campo científico que investiga a capacidade dos animais de enfrentar e se adaptar às condições ambientais e de manejo impostas pelos sistemas de criação. Na produção suína, esses princípios são operacionalizados por meio de protocolos de avaliação padronizados, como o Welfare Quality®, que permitem a mensuração objetiva de indicadores relacionados ao alojamento, à alimentação, à saúde e ao comportamento dos animais (MANTECA *et al.*, 2013).

Nos sistemas intensivos de produção, a restrição de espaço, o aumento da densidade de alojamento e a limitação de estímulos ambientais estão associados ao aumento de comportamentos anormais, à maior ocorrência de lesões e a alterações fisiológicas indicativas de estresse crônico (MASON, 1991; SPOOLDER *et al.*, 2004). Paralelamente, a preocupação social com o bem-estar animal tem se intensificado, influenciando legislações, certificações e exigências de mercados internacionais. No Brasil, a relevância econômica da suinocultura e a necessidade de atender aos mercados importadores têm impulsionado a discussão sobre a substituição de práticas altamente restritivas por sistemas de criação mais alinhados aos princípios de bem-estar (DIAS *et al.*, 2018).

Como alternativa aos sistemas intensivos convencionais, modelos de produção menos intensificados, como o Sistema Intensivo de Suínos Criados

ao Ar Livre (SISCAL), têm sido discutidos por favorecerem a expressão de comportamentos naturais. Contudo, a adoção desses sistemas impõe desafios específicos nas esferas sanitária, térmica e produtiva, evidenciando a complexidade da relação entre sistema de criação e bem-estar animal (MOLNÁR, 2022; RAMOS *et al.*, 2024).

Diante desse cenário, buscou-se avaliar como a evolução e a intensificação dos sistemas de produção de suínos influenciam o bem-estar animal, bem como caracterizar o panorama científico das pesquisas desenvolvidas sobre o tema.

REVISÃO

Histórico e evolução da atividade suinícola

A suinocultura passou por profundas transformações ao longo do século XX, deixando de ser uma atividade de caráter extensivo para tornar-se um sistema altamente tecnificado. Nos modelos tradicionais, os suínos eram criados soltos ou em baixa densidade, com alimentação baseada em recursos disponíveis na propriedade, o que permitia maior interação com o ambiente e favorecia a expressão de comportamentos naturais. Esse sistema, embora apresentasse menor eficiência produtiva, exigia reduzido investimento em infraestrutura e manejo especializado (ABCS, 2014).

O ponto de mudança ocorreu com o crescimento da demanda global por proteína animal, que impulsionou a adoção do confinamento em larga escala. Entre as décadas de 1960 e 1980, a suinocultura industrial incorporou avanços significativos: o melhoramento genético direcionado para características de carcaça e eficiência alimentar, o desenvolvimento de dietas nutricionalmente balanceadas e o fortalecimento das práticas de biossegurança. Essas inovações permitiram não apenas o aumento expressivo da produtividade, mas também a padronização dos animais e a viabilização econômica da produção em grande escala (MOLNÁR; FRASER, 2021).

No Brasil, esse processo consolidou-se entre as décadas de 1970 e 1980, com a industrialização da produção de rações, a implantação de programas de melhoramento genético e a organização da cadeia produtiva, especialmente na

região Sul. Como resultado, a produção nacional saltou de aproximadamente 600 mil toneladas na década de 1970 para mais de 4 milhões de toneladas anuais na atualidade, posicionando o país como o quarto maior produtor e terceiro maior exportador mundial de carne suína (DIAS *et al.*, 2018; ABPA, 2025). Esse avanço produtivo, entretanto, trouxe novos desafios relacionados à adequação dos sistemas de criação às exigências de bem-estar animal, que passaram a influenciar diretamente o acesso aos mercados internacionais.

Sistemas de criação de suínos

Os sistemas de criação de suínos diferenciam-se principalmente pelo nível de tecnificação, pelas condições de alojamento e pelo manejo adotado. Nos sistemas intensivos de confinamento, predominantes na suinocultura industrial, os animais são mantidos em instalações específicas para cada fase produtiva, com controle ambiental, elevada densidade e fornecimento de alimentação balanceada em fluxo contínuo de produção, o que permite maior eficiência zootécnica e melhor controle sanitário (ABCS, 2014).

Apesar das vantagens produtivas, esse modelo impõe restrições importantes à expressão de comportamentos naturais. A limitação de espaço e a ausência de substrato para exploração estão associadas ao aumento de estereotípias, agressividade e lesões corporais (SPOOLDER *et al.*, 1999). O uso de celas individuais para fêmeas gestantes representa um dos principais pontos críticos, pois restringe a movimentação e o contato social. Em resposta a exigências de mercado e legislações específicas, este sistema tem sido progressivamente substituído por alojamentos coletivos, que permitem maior interação social e locomoção (DIAS *et al.*, 2018; MOLNÁR, 2022).

Como contraponto, sistemas que proporcionam maior interação dos animais com o ambiente têm sido estudados e implementados em escala crescente. O Sistema Intensivo de Suínos Criados ao Ar Livre (SISCAL) mantém os animais em piquetes com pastagem e abrigos móveis, permitindo que os suínos expressem comportamentos exploratórios, de pastejo e termorregulação mais naturalmente. Pesquisas indicam melhora nos indicadores comportamentais de bem-estar nesse modelo, com redução de comportamentos estereotipados e maior ocorrência de interações sociais positivas (RAMOS *et al.*, 2024).

Entretanto, o SISCAL apresenta desafios específicos. O controle parasitário demanda monitoramento constante e rodízio adequado de piquetes. O conforto térmico dos animais, embora favorecido pela possibilidade de escolha entre sol e sombra, pode ser comprometido em condições climáticas extremas sem o manejo adequado de abrigos. Adicionalmente, a eficiência produtiva por animal pode ser inferior à dos sistemas confinados, exigindo maior área por unidade produzida e manejo mais intensivo em mão de obra (LOSADA *et al.*, 2017; RAMOS *et al.*, 2024).

Observa-se, portanto, que os sistemas de criação de suínos apresentam características estruturais e de manejo distintas, que influenciam simultaneamente a eficiência produtiva e as condições de bem-estar animal. Enquanto o confinamento possibilita maior controle sanitário e padronização da produção, também impõe limitações à expressão de comportamentos naturais. Em contrapartida, sistemas com acesso ao ambiente externo favorecem a ocorrência de comportamentos exploratórios e interações sociais, embora apresentem desafios relacionados ao manejo, à utilização de área e à eficiência produtiva. Nesse contexto, a literatura demonstra que as condições de alojamento constituem um dos principais fatores na interpretação das respostas comportamentais e sanitárias dos suínos em diferentes sistemas de criação (SPOOLDER *et al.*, 1999; LOSADA *et al.*, 2017; RAMOS *et al.*, 2024).

Bem-estar animal e sua relação com os sistemas de criação

A avaliação do bem-estar animal fundamenta-se no reconhecimento de que os animais são capazes de responder às condições impostas pelo ambiente de criação. Nesse contexto, o bem-estar animal consolidou-se como um campo científico multidimensional, relacionado à capacidade do indivíduo de se adaptar às condições em que vive. Segundo Broom (1991), o bem-estar corresponde ao estado do animal em suas tentativas de lidar com o ambiente, sendo que dificuldades nesse processo indicam comprometimento de suas condições de vida. Fraser (2008) amplia essa abordagem ao propor que a avaliação do bem-estar deve considerar três dimensões inter-relacionadas: o funcionamento biológico, o estado afetivo e a possibilidade de expressão de comportamentos naturais. Na prática, esses princípios são operacionalizados por meio de

protocolos como o *Welfare Quality*®, que integram medidas baseadas nos animais e no ambiente (MANTECA *et al.*, 2013).

Entre os principais indicadores comportamentais de bem-estar em suínos destacam-se a ocorrência de comportamentos anormais, como estereotípias, caracterizadas por movimentos repetitivos sem função aparente, e canibalismo, que indicam falhas na adaptação ao ambiente. A agressividade, especialmente observada na mistura de lotes, e a apatia ou letargia também sinalizam condições inadequadas. Por outro lado, a presença de comportamentos exploratórios, interações sociais positivas e repouso sincronizado indica melhor adaptação e bem-estar (MASON, 1991; D'EATH *et al.*, 2009; RAMOS *et al.*, 2024).

Indicadores sanitários complementam a avaliação. Lesões na pele e caudofagia são frequentemente associadas à alta densidade e à falta de enriquecimento ambiental. Problemas locomotores e doenças respiratórias relacionam-se com condições de higiene, ventilação e manejo adotados (SPOOLDER *et al.*, 1999). A mensuração integrada desses indicadores permite comparar diferentes sistemas de criação e identificar pontos críticos para intervenção.

A relação entre sistema de criação e bem-estar animal revela compromissos complexos entre diferentes dimensões. Os sistemas intensivos em confinamento destacam-se pela eficiência produtiva e controle sanitário, mas impõem as maiores restrições comportamentais, exigindo estratégias de mitigação como enriquecimento ambiental e alojamento coletivo de matrizes (SPOOLDER *et al.*, 1999). Os sistemas ao ar livre ou com acesso a pasto favorecem a expressão do comportamento natural e apresentam melhores indicadores comportamentais, porém demandam manejo sanitário mais rigoroso e proteção contra intempéries climáticas (RAMOS *et al.*, 2024).

METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido a partir de uma análise bibliométrica, fundamentada nas diretrizes da declaração PRISMA 2020, proposta por Page *et al.* (2020), por meio da qual foi conduzida uma revisão sistemática. A revisão sistemática caracteriza-se como um método de investigação voltado a uma questão previamente definida, que tem como finalidade identificar, selecionar,

avaliar e sintetizar as evidências científicas disponíveis sobre determinado tema, conforme descrito por Galvão e Pereira (2014).

Estratégia de Busca

A estratégia de busca foi iniciada em janeiro de 2026, com o objetivo de identificar estudos científicos relevantes relacionados ao tema desta revisão sistemática. As buscas foram realizadas em bancos de dados eletrônicos como o Web of Science, Scopus, PubMed e Google Acadêmico. Nisso, foram utilizados os seguintes termos: *swine OR pig OR sus scrofa AND animal welfare OR well-being and history OR evolution OR intensification OR production systems OR industrialization*. Os termos foram combinados por meio de operadores booleanos OR e AND, de modo a ampliar a abrangência da busca sem comprometer a relevância dos estudos identificados.

Combinação de palavras-chave utilizadas nas bases de dados

Web of Science, Scopus e PubMed: (*swine OR pig OR "Sus scrofa"*) AND ("*animal welfare*" OR "*well-being*") AND (*history OR evolution OR intensification OR "production systems" OR "industrialization"*);

Google Acadêmico: "*Bem-estar na suinocultura*", "*Bem-estar animal*", "*Evolução da suinocultura*" e "*Desafios do bem-estar na suinocultura*"

CrITÉRIOS de Elegibilidade

Os critérios de elegibilidade buscaram seguir fatores preestabelecidos, alinhados aos objetivos da revisão. Foram considerados elegíveis artigos científicos que abordassem a suinocultura e analisassem a relação entre os sistemas de produção de suínos e as condições de bem-estar animal, com ênfase na evolução histórica dos sistemas produtivos, no processo de intensificação da atividade e nas mudanças associadas ao manejo, à ambiência e às práticas de criação.

No banco de dados da Web Of Science as palavras-chave estabelecidas resultaram em 377 artigos, e foi observado que os resultados preliminares incluíam ainda outras categorias de estudos, sendo necessário delimitar a aplicação de filtro de período de 20 anos, de 2004 a 2024, e filtro limitando apenas

a área de “Veterinary Sciences” para restringir os resultados ao tema escolhido, resultando em 138 artigos.

Na base da Scopus, com as mesma palavras-chave, resultou em 290 artigos encontrados, também foi delimitando um filtro de tempo de 20 anos, mas com outro recorte de filtro selecionando as categorias Subject area: “Agricultural” and “Biological sciences” e Keyword: “Animal welfare” e “Pig”, aumentando a precisão da pesquisa apenas ao tema, já que inicialmente os resultados apresentados incluía dados sobre uso de antibióticos, uso de suplementação, abates e qualidade de carcaça. Com o uso dos filtros aplicados, resultaram 159 artigos.

Na base da PubMed o uso das palavras-chave resultou em 134 artigos. Foram aplicados um filtro de intervalo de tempo de 20 anos e filtro na categoria de Species “Other Animals”, com o objetivo de excluir estudos direcionados à saúde humana e restringir os resultados a pesquisas envolvendo animais. Após a aplicação desses filtros, os artigos selecionados apresentaram maior aderência ao tema do bem-estar animal em sistemas de produção de suínos. Resultando em 103 documentos.

Além das bases de dados indexadas, realizou-se uma busca complementar no Google Acadêmico para identificar estudos relevantes não contemplados nas demais bases. Foram utilizadas palavras-chave como “*bem-estar na suinocultura*”, “*bem-estar animal*”, “*evolução da suinocultura*” e “*desafios do bem-estar na suinocultura*”, com o objetivo de ampliar a abrangência da revisão e fortalecer o embasamento teórico do trabalho. Diferentemente das bases indexadas internacionais, nas quais foram utilizados descritores em inglês para ampliar a recuperação de estudos globalmente, no Google Acadêmico optou-se pelo uso de termos em português com o objetivo de identificar produções nacionais, dissertações, teses e artigos publicados em periódicos brasileiros que, muitas vezes, não estão indexados nas demais bases. Essa estratégia permitiu ampliar a abrangência da revisão e reduzir o viés de idioma. Com isso foram encontrados 6 artigos.

Seleção de Documentos

Após a etapa de busca, foi realizada a avaliação dos documentos, com o objetivo de atender aos critérios estabelecidos para a revisão. Foram excluídos os estudos que não se enquadravam no escopo da pesquisa, especialmente aqueles que não abordavam a suinocultura ou que não apresentavam relação direta com o bem-estar animal nos sistemas de produção de suínos. Também foram excluídos artigos em que o texto completo não estava disponível.

A extração dos dados foi realizada nas próprias plataformas de busca, no formato BibTeX na Web of Science e na Scopus. Já no PubMed, a extração ocorreu em formato CSV, podendo ser executada no Excel. No total, foram identificados 406 documentos que consistiam em informações referentes a autores, título, resumo, palavras-chave, citações, contagem de citações, referências citadas, contagem das referências citadas, tipo de documentos, área de pesquisa, contagem de uso, idioma, quantidade de acessos, afiliações e periódicos.

Após a etapa de extração, os registros obtidos foram reunidos em um único arquivo, utilizando o software R na versão 4.5.2 e o RStudio, possibilitando a organização dos dados. Nessa etapa, foram realizadas a identificação e exclusão de 202 documentos duplicados, resultando em 204 documentos. Os documentos remanescentes passaram por uma nova etapa de triagem, baseada na leitura dos títulos e resumos, seguida, quando necessário, da leitura do texto completo.

Nessa fase, foram considerados elegíveis 22 documentos que apresentassem informações relacionadas aos sistemas de produção suinícola, à evolução ou intensificação da atividade e à avaliação de indicadores de bem-estar animal, como comportamento, saúde, estresse, densidade de alojamento, conforto térmico e práticas de manejo. Em seguida, um documento foi removido, pois não apresentava texto disponível completo, resultando em 21 documentos legíveis.

Análise de Dados

A análise dos dados obtidos a partir dos estudos selecionados foi realizada com o auxílio do software R versão 4.5.2 e o RStudio, utilizando o pacote Bibliometrix, por meio da extensão da Biblioshiny. Essa ferramenta permitiu a importação dos arquivos e é possível fazer a conversão de dados em data frames,

facilitando a organização e a interpretação das informações provenientes dos artigos incluídos na revisão.

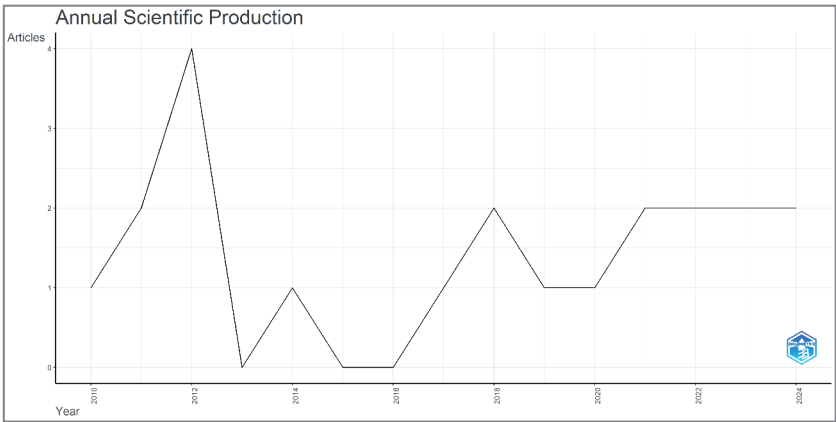
A escolha dessa ferramenta justifica-se por sua aplicabilidade na construção e visualização de redes acadêmicas, permitindo a verificação de acoplamentos bibliográficos, coautorias. Além disso, foi possível analisar a evolução temporal das publicações relacionadas ao bem-estar animal na suinocultura, bem como identificar os principais periódicos, autores, países e instituições envolvidos na produção científica sobre o tema.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Métricas reproduzidas através do Bibliometrix

No gráfico 1, é possível observar a evolução do número de publicações relacionadas ao tema ao longo do período analisado.

Gráfico 1 - Produção científica anual de artigos relacionados aos sistemas de produção e bem-estar na suinocultura entre os anos de 2010 e 2024.



Fonte: Gráfico gerado pelo Bibliometrix, 2026.

Considerando o recorte temporal de 20 anos, definido para esta revisão (2004-2024), verifica-se com essa pesquisa que as primeiras publicações aparecem a partir de 2010, com 1 artigo publicado, e houve um crescimento até 2012, ano que apresenta o maior número de artigos publicados no intervalo considerado, com 4 publicações. Após esse pico inicial, ocorre uma redução acentuada na

produção científica nos anos de 2013, 2015, 2016, com nenhuma publicação, entretanto, no ano de 2014 houve apenas uma publicação, indicando uma fase de menor atenção da literatura ao tema. Em sequência, a partir de 2017, nota-se uma retomada gradual da produção científica, com novo crescimento em 2018 com 2 publicações, seguido por oscilações moderadas nos anos 2019 e 2020, com 1 publicação no ano. Entre 2021 e 2024, observa-se uma estabilização do número de 2 publicações por ano.

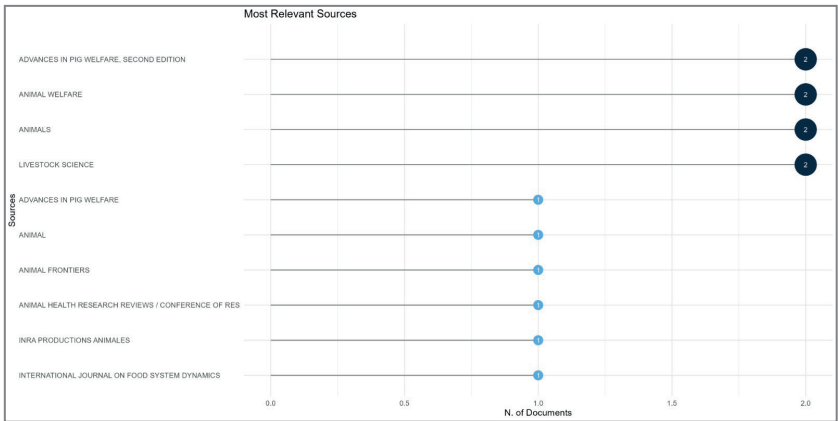
Entre 2021 e 2024, observa-se uma estabilização do número de publicações, sugerindo que o tema passou a ser abordado de forma mais recente na literatura científica. Embora a produção científica sobre o tema não seja linear durante o período analisado, há um interesse nos anos mais recentes, possivelmente associado ao fortalecimento das discussões sobre bem-estar animal, intensificação produtiva e exigências regulatórias e de mercado. Esse comportamento temporal pode estar associado ao fortalecimento das discussões sobre os impactos dos sistemas produtivos nas condições de bem-estar animal, impulsionado pela intensificação da produção e pela crescente demanda por sistemas mais sustentáveis e eticamente responsáveis (Lippi, 2022). Além disso, a ampliação do uso de protocolos padronizados de avaliação e o avanço das pesquisas voltadas à substituição de práticas restritivas, como o uso de celas individuais para fêmeas gestantes, contribuíram para o aumento do número de estudos nos anos mais recentes.

No Brasil, esse cenário está diretamente relacionado à publicação de normativas específicas, como a Instrução Normativa nº 113/2020 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que estabelece diretrizes para a promoção do bem-estar na cadeia produtiva de suínos e tem impulsionado adequações nos sistemas de criação e novas demandas por pesquisas na área. Em âmbito internacional, recomendações da World Organisation for Animal Health (WOAH) e legislações da União Europeia, que definem padrões mínimos para alojamento, manejo e transporte, também têm atuado como importantes indutores da produção científica, ao exigir embasamento técnico-científico para a implementação e monitoramento dessas práticas (Lippi, 2022). Dessa forma, a evolução temporal com picos altos e mais recente, reforça a relevância atual do tema e sustenta sua inclusão como objeto de análise nesta revisão sistemática.

Fontes de Publicação e Afiliações

No Gráfico 2, observa-se que os artigos estão distribuídos em diferentes periódicos e obras científicas, em revistas especializadas nas áreas de bem-estar animal e produção animal, como *Animal Welfare*, *Animals*, *Livestock Science* e *Advances in Pig Welfare*. A presença dessas fontes evidencia que o tema é predominantemente tratado em periódicos técnicos e científicos consolidados, voltados à ciência animal, ao bem-estar animal e às discussões sobre sistemas de produção.

Gráfico 2 - Periódicos com maior número de publicações em estudos relacionados aos sistemas de produção e ao bem-estar na suinocultura.

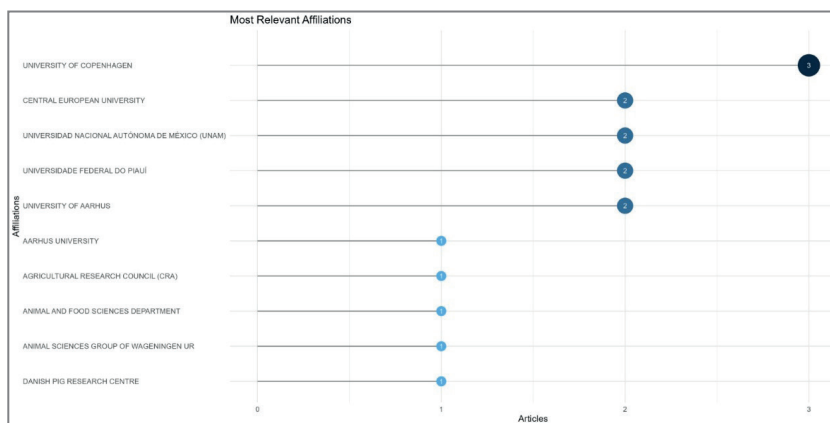


Fonte: Gráfico gerado pelo Bibliometrix, 2026.

Esses periódicos apresentam relevante impacto científico na área, com destaque para *Livestock Science* e *Animals*, que possuem fator de impacto superior a 1,9 e 2,0, respectivamente, enquanto *Animal Welfare* apresenta fator de impacto superior a 2,5, que possui indicadores bibliométricos expressivos e ampla circulação internacional, demonstrando ampla circulação internacional, relevância científica e rigor no processo de avaliação por pares. Além disso, no sistema de classificação Qualis CAPES para a área de Ciências Agrárias, esses periódicos situam-se predominantemente entre os estratos A1, A2 e B1, o que indica elevada qualidade científica das publicações e reforça que a produção sobre bem-estar animal em suínos tem sido veiculada em revistas de alto nível.

A análise das afiliações institucionais (Gráfico 3) dos estudos incluídos revela que a produção científica sobre bem-estar animal na suinocultura está concentrada em um número limitado de instituições, com destaque para universidades e centros de pesquisa localizados principalmente na Europa e na América Latina.

Gráfico 3 - Instituições com maior produção científica em estudos sobre sistemas de produção e bem-estar na suinocultura.



Fonte: Gráfico gerado pelo Bibliometrix, 2026.

Entre as afiliações mais recorrentes estão a University of Copenhagen, a University of Aarhus, a Central European University, a Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) e a Universidade Federal do Piauí, indicando a atuação de grupos específicos de pesquisa interessados na temática. Esse padrão pode ser explicado por dois fatores principais. O primeiro diz respeito à posição de vanguarda da União Europeia nas discussões sobre bem-estar animal, região que há décadas conta com legislações rigorosas, forte pressão social e políticas públicas que fomentam a pesquisa científica voltada às condições de criação e ao bem-estar dos animais de produção (MOLNÁR, 2022).

O segundo fator está relacionado à relevância econômica e produtiva da suinocultura na América Latina, especialmente no Brasil e no México, que figuram entre os maiores produtores e exportadores mundiais de carne suína. O Brasil figura entre os maiores produtores mundiais e ocupa posição de destaque nas exportações de carne suína, sendo atualmente apontado como o terceiro maior exportador mundial. O México, por sua vez, apresenta expressiva produção e

consumo interno, além de crescente demanda por carne suína, o que também estimula pesquisas voltadas à eficiência produtiva, ao manejo e ao bem-estar animal. Nesses países, a necessidade de atender às exigências dos mercados internacionais, cada vez mais sensíveis às questões de bem-estar animal, tem impulsionado a realização de estudos que avaliem e fundamentem cientificamente as práticas adotadas nos sistemas produtivos locais (DIAS *et al.*, 2018).

A rede de colaboração institucional evidencia a formação de núcleos específicos de pesquisa, com destaque para a University of Copenhagen e a University of Aarhus, que ocupam posições centrais na rede, indicando maior volume de publicações e interação com outras instituições (Figura 1).

Figura 1 - Rede de colaboração científica entre instituições com publicações sobre sistemas de produção e bem-estar na suinocultura.

Fonte: Figura gerada pelo Bibliometrix, 2026.

Além dos núcleos europeus, observa-se a presença de instituições brasileiras, como a Universidade Federal do Piauí, a Universidade Federal do Ceará, a Universidade Federal de Goiás e a Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Esse agrupamento indica colaborações predominantemente regionais, com menor conexão direta com os principais centros europeus, refletindo diferenças na organização das redes de pesquisa e na inserção internacional dos grupos envolvidos. A estrutura da rede reforça a ideia de que a produção científica sobre bem-estar animal na suinocultura ainda apresenta certo grau de fragmentação, com colaborações concentradas em poucos polos institucionais. Análise das palavras-chave.

A análise das palavras-chave dos artigos selecionados, apresentada na Figura 2, indica que os termos mais frequentes estão diretamente relacionados aos sistemas de produção suinícola e às estruturas de alojamento e aos indicadores associados ao bem-estar animal..

Figura 2 - Nuvem de palavras das palavras-chave mais recorrentes em estudos sobre sistemas de produção e bem-estar na suinocultura.



Fonte: Figura gerada pelo Bibliometrix, 2026.

Destacam-se palavras como *pig production*, *pig*, *pig farming* e *growing pig* evidência que a avaliação do bem-estar na suinocultura tem sido conduzida principalmente em contextos produtivos intensivos, nos quais fatores como densidade de alojamento, ambiente físico e manejo exercem influência direta sobre o comportamento e a saúde dos animais. Esse enfoque é amplamente

descrito na literatura, que aponta os sistemas de produção como o principal determinante das condições de bem-estar em suínos (SPOOLDER *et al.*, 1999; MOLNÁR, 2022).

A ocorrência de termos como *housing systems*, *confinement*, *welfare quality* e *casual factors* reforça que os estudos têm utilizado abordagens baseadas na avaliação das estruturas de alojamento e na mensuração de indicadores objetivos de bem-estar. Protocolos padronizados, como o *Welfare Quality*®, foram desenvolvidos justamente para integrar variáveis relacionadas ao ambiente, ao manejo e às respostas dos animais, permitindo a comparação entre diferentes sistemas de criação (MANTECA *et al.*, 2013). Nesse contexto, a literatura demonstra que fatores estruturais, como disponibilidade de espaço, presença de substrato para exploração e qualidade da ventilação, estão diretamente associados à ocorrência de comportamentos anormais, lesões e alterações fisiológicas indicativas de estresse crônico (MASON, 1991; D'EATH *et al.*, 2009).

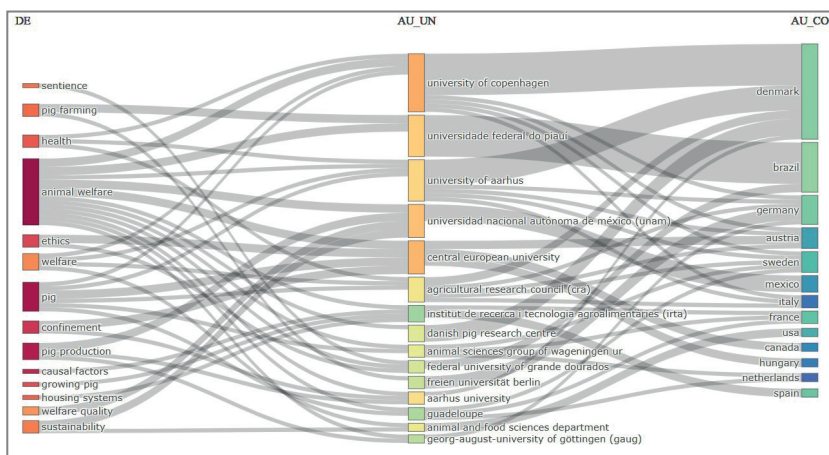
Além dos aspectos produtivos e estruturais, a presença de palavras-chave como *ethics*, *sentience*, *sustainability*, *consumer* e *health* indica a ampliação do debate sobre o bem-estar animal para além da dimensão zootécnica. Estudos recentes destacam que a suinocultura moderna está inserida em um cenário no qual as exigências de mercado, as preocupações com a sustentabilidade dos sistemas produtivos e a percepção social sobre o uso dos animais influenciam diretamente a adoção de práticas de manejo e o desenvolvimento de novas tecnologias (LIPPI, 2022; DIAS *et al.*, 2018). O reconhecimento da senciência animal e a incorporação de critérios éticos na produção de alimentos têm impulsionado a reformulação de sistemas de criação e o estabelecimento de normativas específicas voltadas à promoção do bem-estar.

Dessa forma, o conjunto de palavras-chave evidencia que a literatura científica tem abordado o bem-estar animal na suinocultura de maneira multidimensional, integrando aspectos produtivos, estruturais, comportamentais e socioeconômicos. Esse resultado está em consonância com a evolução conceitual da área, na qual o bem-estar deixa de ser avaliado apenas sob a perspectiva do desempenho produtivo e passa a incorporar indicadores relacionados à saúde, ao comportamento e à interação dos sistemas de produção com as demandas da sociedade (FRASER, 2008; BROOM, 1991).

Conexões entre palavras-chave, afiliações institucionais e países

A análise das conexões entre palavras-chave, afiliações institucionais e países, ilustrada no Gráfico 4, indica que os termos *animal welfare*, *pig*, *pig production* e *confinement* apresentam forte associação com instituições específicas, destacando-se a University of Copenhagen, a University of Aarhus, a Universidade Federal do Piauí e a Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Gráfico 4 - Agrupamentos de colaboração científica entre instituições que pesquisam sistemas de produção e bem-estar na suinocultura.



Fonte: Gráfico gerado pelo Bibliometrix, 2026.

Essas relações demonstram que os principais conceitos relacionados ao bem-estar animal na suinocultura são investigados por grupos de pesquisa bem definidos, vinculados a universidades e centros de pesquisa com atuação recorrente no tema.

No que se refere à distribuição geográfica, constata-se que países como Dinamarca, Brasil e Alemanha concentram as principais interações entre instituições e palavras-chave. Esse padrão sugere que a produção científica sobre bem-estar animal em sistemas de produção suinícola está associada tanto a países com tradição em pesquisas e regulamentações sobre bem-estar animal quanto àqueles com expressiva representatividade na produção e exportação de carne suína. Esse resultado pode ser compreendido a partir do papel desses países no cenário da suinocultura mundial.

A Dinamarca e a Alemanha estão entre os principais produtores e exportadores de carne suína da Europa, com sistemas altamente tecnificados e forte inserção em mercados internacionais, o que demanda constante desenvolvimento de pesquisas voltadas à eficiência produtiva e ao atendimento das exigências de bem-estar animal. O Brasil, por sua vez, figura entre os maiores produtores e exportadores mundiais de carne suína, sendo o quarto maior produtor global e o terceiro maior exportador mundial, o que reforça a necessidade de geração de conhecimento científico que subsidie a adequação dos sistemas produtivos às exigências dos mercados consumidores e às normativas nacionais e internacionais (ABPA, 2025; DIAS *et al.*, 2018).

CONCLUSÃO

A produção científica sobre bem-estar animal na suinocultura tem crescido nos últimos anos, refletindo a preocupação crescente com os impactos dos sistemas de produção sobre o bem-estar dos animais. Os estudos indicam que sistemas menos restritivos favorecem a expressão de comportamentos naturais, enquanto sistemas intensivos oferecem maior eficiência produtiva, mas exigem estratégias de manejo para minimizar seus efeitos sobre o bem-estar. A análise bibliométrica permitiu identificar as principais tendências, instituições e temas de pesquisa, evidenciando a necessidade de conciliar produtividade, sustentabilidade e bem-estar animal na suinocultura moderna.

REFERÊNCIAS

ABPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2025**. São Paulo: ABPA, 2025. Disponível em: <<https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2025/04/ABPA.-Relatorio-Anual-2025.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2026.

ARAÚJO, L.; SILVA, T.; SILVA, V.; OLIVEIRA, T.; SOUSA, M.; COSTA, G.; COLAÇO, E.; BARROS, V.; SOUZA, A.; ALENCAR, L. Bem-estar animal aplicado à suinocultura: práticas e desafios para uma produção sustentável. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/sevenVhealth2025-015>. Acesso em: 13 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 113, de 16 de dezembro de 2020. Estabelece as boas práticas de manejo e bem-estar animal nas granjas de suínos de criação comercial. Brasília, DF: **MAPA**, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/programas-de-saude-animal/sanidade-suidea/legislacao-suideos/2020/IN113de16dedezembroBPMeBEAgranjasdesunoscomerciais.pdf/view>. Acesso em: 13 fev. 2026.

BROOM, D. M. Animal welfare: concepts and measurement. **Journal of Animal Science**, v. 69, n. 10, p. 4167–4175, 1991.

CARVALHO, C. L.; CAVALCANTE, M. M.; CAMARGO, N. de O. T.; ANDRETTA, I.. **Bem-estar animal em suínos**. //: **Bem-estar animal em suínos**. Cap. 6, p. 89–115, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.37885/210203348>. Acesso em: 13 jan. 2026.

DE CASTRO L., I. C.; CALDARA, F. R.; DE LIMA ALMEIDA PAZ, I. C.; ODAKURA, A. M. Global and Brazilian scenario of guidelines and legislation on welfare in pig farming. **Animals**, v. 12, p. 2615, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12192615>. Acesso em: 13 jan. 2026.

DIAS, C.; SILVA, C.; FOPPA, L.; CALLEGARI, M.; PIEROZAN, C. Panorama brasileiro do bem-estar de suínos. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 16, p. 1, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.7213/1981-4178.2018.161101>. Acesso em: 13 jan. 2026.

D'EATH, R. B.; ROEHE, R.; TURNER, S. P.; ISON, S. H.; FARISH, M.; JACK, M. C.; LAWRENCE, A. B. Genetics of animal temperament: aggressive behaviour at mixing is genetically associated with the response to handling in pigs. **Animal**, v. 3, n. 11, p. 1544–1554, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731109990528>. Acesso em: 13 jan. 2026.

FRASER, D. Understanding animal welfare: the science in its cultural context. **Oxford: Wiley-Blackwell**, 2008.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 183–184, 2014. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742014000100018&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 14 jan. 2026.

HÖTZEL, M. J.; ALBERNAZ-GONÇALVES, R.; OLMOS, G. Atitudes dos agricultores em relação ao bem-estar suíno. //: **Advances in pig welfare**. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85676-8.00013-4>. Acesso em: 13 jan. 2026.

LOSADA-ESPINOSA, N.; TRUJILLO ORTEGA, M. E.; GALINDO, F. The welfare of pigs in rustic and technified production systems using the Welfare Quality® protocols of pigs in Mexico: validity of indicators of animal welfare as part of the sustainability criteria of pig production systems. **Veterinaria México OA**, v. 4, n. 4, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21753/vmoa.4.4.521>. Acesso em: 13 jan. 2026.

MANTECA, X.; SILVA, C. A. DA; BRIDI, A. M.; DIAS, C. P. Animal welfare: concepts and practical procedures to evaluate the swine production systems. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, supl. 2, p. 4213–4230, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6Supl2p4213>. Acesso em: 13 jan. 2026.

MARTINEZ, A.; DONOSO, E.; HERNÁNDEZ, R. O.; SANCHEZ, J. A.; ROMERO, M. H. Assessment of animal welfare in fattening pig farms certified in good livestock practices. **Journal of Applied Animal Welfare Science**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10888705.2021.2021532>. Acesso em: 13 jan. 2026.

MASON, G. J. Stereotypies: a critical review. **Animal Behaviour**, v. 41, p. 1015–1037, 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(05\)80640-2](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(05)80640-2).

MOLNÁR, M.; FRASER, D. Bem-estar animal durante um período de intensificação: as opiniões dos produtores suínos em confinamento e alternativos. **Animal Welfare**, v. 30, n. 2, p. 121–129, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.7120/09627286.30.2.121>. Acesso em: 13 jan. 2026.

MOLNÁR, M. Transforming intensive animal production: challenges and opportunities for farm animal welfare in the European Union. **Animals**, v. 12, p. 2086, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12162086>. Acesso em: 13 jan. 2026.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D.; *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, p. n71, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>. Acesso em: 14 jan. 2026.

PIRES, A.; SILVA, A. do S. L.; GALVÃO, A. T. G. T.; MORAIS, A. F. F. de; MENDONÇA NETO, J. S. N.; AZEVEDO, H. H. F. de. Bem-estar animal na suinocultura: Revisão. **Pubvet**, [S. l.], v. 13, n. 03, 2019. DOI: 10.31533/pubvet.v13n3a289.1-6. Disponível em: <https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/896>. Acesso em: 15 jan. 2026.

RAMOS, *et al.* Ambiência e bem-estar de suínos criados em SISCAL (sistema de criação ao ar livre). **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 4, n. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.61164/rmm.v4i1.2248>. Acesso em: 13 jan. 2026.

SILVEIRA, J. C. G. da; SILVA, R. R. da. Bem-estar animal na suinocultura: análise sobre as práticas e perspectivas para um manejo ético e sustentável. **Scientia Generalis**, Patos de Minas, v. 6, n. 2, p. 146–158, 2025. DOI: <https://doi.org/10.22289/sg.v6n2a16>. Disponível em: <https://scientiageneralis.com.br/index.php/SG/article/view/723>. Acesso em: 13 jan. 2026.

SPOOLDER, H. A. M.; EDWARDS, S. A.; CORNING, S. Legislative methods for specifying stocking density and consequences for the welfare of finishing pigs. **Livestock Production Science**, v. 62, n. 1, p. 13–25, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00152-9](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00152-9). Acesso em: 15 jan. 2026.

QUALIDADE EXTRÍNSECA DE PELES DE CAPRINOS ABATIDOS NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS - MA

Danilo Pavão Monteiro de Lima

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Gabriel Rodrigues Silva

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Vítor Manoel Araújo Gomes

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Adelmo Teixeira Silva

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Carlos Alberto Veras Dias Júnior

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Istefanny Rayany Viegas Barbosa

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Francisco Carneiro Lima

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Hélder Luís Chaves Dias

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Danilo Cutrim Bezerra

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Nancyleni Pinto Chaves Bezerra

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

RESUMO

A baixa qualidade extrínseca de peles caprinas disponível no Brasil tem limitado desempenhos mais expressivos do setor coureiro, prejudicando a capacidade do País em agregar valor ao produto. Logo, a qualidade deve ser tratada de forma ampla, com procedimentos que garantam ganhos progressivos na cadeia produtiva, do produtor rural ao empresário industrial. Nesse contexto, objetivou-se com o estudo determinar os tipos de defeitos que depreciam a qualidade de peles de caprinos abatidos no município de São Luís - MA. O estudo foi realizado em locais de abate de pequenos ruminantes em São Luís - MA. Os dados da pesquisa foram coletados por meio do levantamento de defeitos nas peles passíveis de visualização a olho nu e desarmado. As peles inteiras foram obtidas ao acaso e o julgamento realizado *in loco* após a etapa de esfolagem, com a avaliação da região dorso lateral das peles, pescoço e barriga. Os defeitos considerados no estudo foram: (i) presença de carrapatos; (ii) presença de berne; (iii) risco aberto; (iv) risco cicatrizado; (v) marca a ferro quente; (vi) fotossensibilização; (vii) dermatites; e, (viii) furos. Foram avaliados também, o comprimento (dm), a área (dm²), a massa (Kg) e a espessura (mm) das peles e os resultados obtidos comparados à International Organization for Standardization (ISO) 7482-2. Foram avaliadas 157 peles de caprinos com a classificação delas nas categorias pequena (7,1 a 8 dm) e muito pequena (21 a 27 dm) para os parâmetros comprimento e área, respectivamente. Quanto a massa, elas foram classificadas na categoria leve para peles *in natura* (1,3 a 2,0 Kg) e, quanto à espessura, elas variaram de 1-2 mm. O número de peles classificadas como "A" foi majoritário no estudo (n= 127; 80,90 %); já na classe B, foram enquadradas 30 peles (19,10 %), e nessa categoria carrapatos na barriga e risco cicatrizado fora do *grupon* foram evidenciados. Considerando em ordem decrescente a frequência dos defeitos capazes de discriminar as peles nas categorias "A" e "B", citam-se: risco aberto (29,30 %), risco cicatrizado (9,55 %), presença de carrapatos (3,82 %) e marca a ferro quente (3,82 %). As peles caprinas avaliadas revelaram boa qualidade extrínseca, sendo possível o enquadramento em categorias quanto ao comprimento, área e massa, conforme aparatos regulatórios internacionais, publicações científicas nacionais

e exigências de curtumes brasileiros. Apesar de presentes em pequena quantidade, infestações por ectoparasitas (carrapatos), riscos abertos e cicatrizados e, marcas a ferro quente podem interferir negativamente na qualidade das peles de ambas as espécies se não forem implementadas medidas de manejo preventivas nas propriedades rurais e nos abatedouros frigoríficos.

Palavras-chave: Atributos de qualidade; couro; pequenos ruminantes.

INTRODUÇÃO

A caprinocultura é uma atividade agropecuária difundida no mundo, com os animais exibindo grande adaptabilidade às condições adversas e manifestando habilidade para transformar material fibroso e de baixo valor nutritivo em alimentos de alto valor proteico, ambos os processos estão fortemente associados à adaptação, seleção natural e, também por influência humana. Esses pequenos ruminantes tornaram-se cosmopolitas, habitando regiões inóspitas para outros animais de interesse pecuário (Jesus Júnior; Rodrigues; Moraes, 2010; Ximenes; Cunha, 2012). Especificamente sobre os caprinos, eles podem ser encontrados nos cinco continentes do mundo - América, Europa, África, Ásia e Oceania. No entanto, é nos países em desenvolvimento que se concentra a maior parte da população desses animais (Santos *et al.*, 2023).

O Brasil é o 21º produtor mundial de caprinos e a criação desses animais é expressiva, especialmente, na Região Nordeste do País. O Nordeste brasileiro detém aproximadamente 90 % dos rebanhos de caprinos (IBGE, 2024). No ano de 2023, o rebanho caprino brasileiro foi estimado em 12.891.493 de animais, crescimento acima de 4,0 % em relação ao ano de 2019 e os estados da Bahia, Pernambuco, Piauí e Ceará foram considerados os maiores produtores (Magalhães; Holanda Filho; Martins, 2021; IBGE, 2024).

No Brasil existem diversas raças de caprinos (Moxotó, Canindé, Anglo Nubiana, Boer, Savana, Alpina, Toggemburg e Saanen) com aptidões produtivas, voltadas em maior ou menor grau à produção de carne, leite, lã e pele, conforme informações da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf, 2011). Malafaia, Barcellos e Azevedo (2006) pontuam que o desempenho da caprinocultura no Brasil varia conforme a Região e às seguintes características: (i) sistemas produtivos; (ii) estabilidade nas relações entre produtores, abatedouros frigoríficos e distribuidores comerciais; e, (iii) consequente grau de especificidade dos produtos transacionados¹.

¹ Produtos exportados por um país, alcançando diversas nações.

De acordo com dados do Centro de Inteligência e Mercado de Caprinos e Ovinos (CIM), citado pelo Canal Rural (2023), no Brasil há potencial para ampliação da produção de carne, leite e derivados oriundos de caprinos. Além dos tradicionais mercados locais da agricultura familiar que podem ser fortalecidos, surgem novas oportunidades como o mercado industrial, boutiques de produtos regionais, alta gastronomia, insumos para probióticos, nutracêuticos e matéria prima para confecção de produtos e acessórios derivados do couro.

Apesar de um cenário favorável, de acordo com o Ministério da Integração Nacional (Brasil, 2017), a oferta dos produtos da caprinocultura no Brasil não é qualificada, principalmente quando considerada a importância do Nordeste nesse segmento, conforme acima explicitado. Para Brisola (2011) e Alves e Souza (2015), isso ocorre, especialmente, pelo fato de os produtores não serem devidamente remunerados, além de serem pouco capacitados e/ou organizados (associações, cooperativas e sindicatos), não proporcionando uma oferta uniforme e regular dos produtos durante todo o ano.

Quanto à pele e lã, o principal destino desses co-produtos é a indústria de vestuários e calçados (Gomes *et al.*, 2014; Amarilho-Silveira; Brondani; Lemes, 2015). E as raças criadas no Brasil e envolvidas no provimento de pele são a Moxotó, Anglo-nubiana e animais mestiços (Codevasf, 2011; Monteiro; Brisola; Vieira Filho, 2021).

De acordo com Leite (2004) e Jacinto, Leite e Reis (2007), as peles brasileiras são de alta qualidade intrínseca, porém o manejo implementado nas propriedades rurais, o processo de abate dos animais e o baixo nível tecnológico empregado na conservação e no armazenamento, nas indústrias de beneficiamento, têm contribuído para a depreciação dos produtos. A pele é um importante derivado da caprinocultura de corte, sendo o produto com maior potencial de agregação de valor. Entretanto, o mercado brasileiro apresenta carência dessa matéria-prima em qualidade.

Para Ruppenthal (2001, p. 134), no Brasil os produtores rurais têm pouca consciência da importância do couro (denominação da pele após o curtimento) na sua atividade, por isso não há por parte deles um maior cuidado para manter a qualidade dessa matéria-prima. Portanto, são necessárias melhorias para elevar o padrão qualitativo das peles nacionais, matéria-prima para a fabricação do couro.

Neste contexto, considerando a atualidade e relevância do assunto, associado à importância da qualidade da pele de pequenos ruminantes para economia local e dos ganhos para produtores, indústrias frigoríficas e curtumes é que se realizou este projeto de iniciação científica.

OBJETIVOS

Geral

- Determinar os tipos de defeitos que depreciam a qualidade de peles de caprinos abatidos no município de São Luís - MA.

Específicos

- Estabelecer a frequência e intensidade dos defeitos extrínsecos;
- Classificar as peles quanto ao comprimento, área, massa e espessura;
- Caracterizar a qualidade extrínseca e identificar os principais fatores depreciativos.

METODOLOGIA

Local de Estudo

O estudo foi executado no município de São Luís, estado do Maranhão, em locais de abate de caprinos que recebem animais de todos os Municípios maranhenses, contemplando rebanhos mestiços com diferentes idades, procedência, sistemas de produção.

Avaliação de Peles Caprinas

A quantidade de peles de caprinos avaliadas, neste estudo, não foi calculada com base na população da espécie caprina no Estado do Maranhão, mas, pautada na disponibilidade de abate no município de São Luís - MA, ou seja, a amostra foi definida por amostragem não probabilística. As peles avaliadas foram provenientes de animais abatidos durante o período de Agosto de 2024

a Agosto de 2025, abrangendo dias de coleta aleatórios por conta da disponibilidade irregular de abates ao longo do período de realização do trabalho.

Os dados da pesquisa foram coletados durante o período seco do ano de 2024 e período das águas do ano de 2025 durante o período de abate dos animais por meio do levantamento de defeitos na pele de caprinos passíveis de visualização a olho nu e desarmado (sem o auxílio de qualquer objeto) por 4 avaliadores treinados pelo orientador do trabalho, considerando a disponibilidade de abate no município de São Luís – MA, como demonstrado na Figura1.

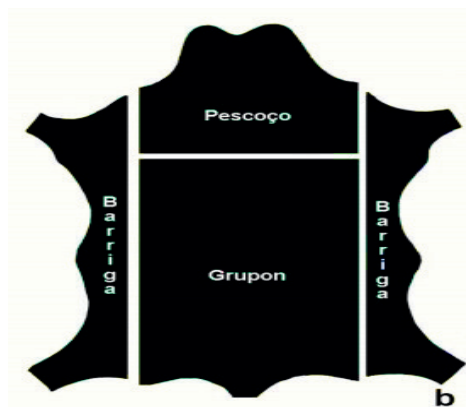
Figura 1 - Aferição de comprimento, verificação de defeitos e pesagem de pele caprina.



Fonte: Arquivo dos autores (2025).

As peles inteiras foram tomadas ao acaso, desconsiderando lotes de animais de origem em outros Estados da federação. O julgamento foi realizado *in loco*, após a etapa de esfolagem com a avaliação da região dorso lateral das peles, denominada “grupon”, além do pescoço e barriga, como representado na Figura 2.

Figura 2 - Delimitação das regiões do pescoço, grupon e barriga para a avaliação de peles caprinas com vistas a verificação de defeitos.



Fonte: Adaptado de Jacinto, Oliveira e Andreolla (2009).

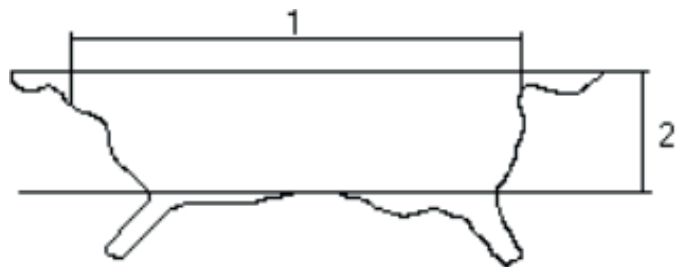
Os defeitos considerados no estudo e suas intensidades pautaram-se nos trabalhos de Bezerra (2001), Jacinto, Costa e Leite (2005) e Ximenes e Cunha (2012), sendo: (i) carrapatos - muito, médio, pouco e sem; (ii) berne - aberto, cicatrizado e sem; (iii) risco aberto - muito, médio, pouco e sem; (iv) risco cicatrizado - muito, médio, pouco e sem; (v) marca a ferro quente - muito, médio, pouco e sem; (vi) fotossensibilização - muito, médio, pouco e sem; (vii) dermatites - muito, médio, pouco e sem; e, furos - muito, médio, pouco e sem. Os defeitos e intensidades foram anotados em fichas de avaliação individual.

A classificação das peles foi dividida em três categorias A, B e C, o que representa a quantidade dos defeitos da pele, denominada de "grupon", segundo Padilha (1981), da seguinte forma: (i) categoria A - ausência de defeitos significativos; (ii) categoria B - qualidade moderada com a presença de carrapatos, risco cicatrizado, aberto, berne e pouco evidentes; e, (iii) categoria C - presença de defeitos mais expressivos ou extensos.

Foram avaliados o tamanho e espessura das peles, de acordo com a International Organization for Standardization (ISO) 7482-2 (ISO, 2000). A medida de comprimento (dm) da pele foi obtida da base da cauda até o final do pescoço; da área (dm²), por meio da distância entre a linha média dorsal e a linha ventral (Figura 3); da espessura, foi medida em milímetros com o auxílio de paquímetro analógico, medindo os dois lados do grupon, visto que é a região

mais valorizada da pele. O tamanho das peles foi classificado conforme discriminado na Tabela 1. Já a espessura, foi medida em milímetros com o auxílio de paquímetro analógico.

Figura 3 - Modelo para aferição de medidas de comprimento (1) e área (2) em peles caprinas.



Fonte: ISO 7482-2 (2000).

Tabela 1 - Classificação das Peles caprinas conforme a ISO 7482-2 para os parâmetros comprimento e área.

Categoria	Comprimento (dm)	Área (dm²)
Muito pequena (SS)	6,1 - 7,0	21 - 27
Pequena (S)	7,1 - 8,0	28 - 36
Média (M)	8,1 - 9,0	37 - 45
Grande (G)	9,1 - 10,0	46 - 54
Extra grande (EL)	≥ 10,1	≥ 55

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Foi avaliado, também, a massa das peles, de acordo com a International Organization for Standardization (ISO) 7482-2 (ISO, 2000). A medida de massa (Kg) foi obtida por meio da pesagem em balança tipo guincho ou tipo plataforma conforme a disponibilidade durante as coletas.

Análise dos Dados

Os dados obtidos foram tabulados e analisados por meio de tabelas de frequência, média e desvio padrão com a utilização do *software* Minitab. Para o enquadramento das peles caprinas em categorias considerou-se a Instrução Normativa (IN) nº 12, de 18 de dezembro de 2002, com adaptações para este estudo. A IN citada estabeleceu os critérios de classificação do couro bovino

conforme os defeitos presentes na pele do animal, assim como o local onde o técnico deve se posicionar para fazer a avaliação (Brasil, 2002) e o trabalho de Jacinto, Costa e Leite (2005) com a temática produção de peles e couros caprinos e ovinos.

RESULTADOS

Foram avaliadas 157 peles de caprinos registrando-se o comprimento, a área, a massa (Tabela 2) e a espessura delas.

Tabela 2 - Avaliação de peles caprinas fundamentada no comprimento (dm), área (dm²) e massa (Kg).

Peles <i>In Natura</i>									
Peles	Comprimento (dm)			Área (dm ²)			Massa Total (Kg)		
Caprinas (n= 157)	Min.	Máx.	Média +DP	Min.	Máx.	Média +DP	Min.	Máx.	Média +DP
	6,5	11	8,00 + 1,05	19,36	46,24	25 + 10,10	1,050	3,550	1,60 + 0,65

Onde: Min= peso mínimo; Máx= peso máximo; DP= desvio padrão.

Considerando os valores médios obtidos e avaliados com base na ISO 7482-2 (ISO, 2000) para peles *in natura*, constata-se que as peles foram enquadradas nas categorias pequena (7,1 a 8 dm) e muito pequena (21 a 27 dm), de acordo com o parâmetro de comprimento (Tabela 1). Quanto a massa, as peles avaliadas foram classificadas na categoria leve (1,3 a 2,0 Kg), para peles *in natura* (Tabela 1).

Quanto à avaliação do parâmetro espessura, as peles de caprinos variaram de 1-2 mm, valores semelhantes aos apresentados por Giacomolli (2014) para caprinos e ovinos. Bezerra (2001) cita que a espessura da pele é um dos aspectos mais valorizado pelos curtumes brasileiros.

Para Jacinto, Reis e Vargas Júnior (2007), a qualidade é fator determinante na classificação da pele e na estratificação do preço do couro *wet blue*² e do

² Refere-se à pele que sofreu o primeiro processo de transformação no curtume, por meio de um "banho" de cromo, que a deixa molhada e com tom azulado (BNDS, 2006).

couro acabado³. Porém, há uma tendência dos curtumes venderem os couros em função de duas classificações: (i) única e econômica; e, (ii) dois tamanhos - pequeno e grande. Quanto à esta última classificação, 96,18 % (n= 151/157) das peles de caprinos estariam em conformidade com o requerido pelos curtumes brasileiros para o quesito comprimento.

Com a avaliação das Guias de Trânsito Animal (GTAs) disponibilizadas nos locais de abate de caprinos, constatou-se que as peles avaliadas eram oriundas de animais mestiços, idade média de 24 meses, ambos os sexos e categorias. Importante mencionar que de acordo com Bezerra (2001), animais mais jovens apresentam peles menos espessas e mais valorizadas quando comparadas às peles de animais adultos.

Os defeitos identificados nas peles avaliadas estão sumarizados na Tabela 3. Com base nos dados coletados constatou-se a boa qualidade das peles de caprinos abatidos no município de São Luís - MA, sem a identificação de berne, fotossensibilização, dermatites e furos. Esses resultados diferem de trabalhos já realizados para a avaliação de peles bovinas, em que eles comprovam a baixa qualidade desse coproduto (Gomes, 2002; Medeiros, 2002; Pereira *et al.*, 2007; Jacinto; Oliveira; Andreolla, 2009).

Tabela 3 - Intensidade e frequência de defeitos em peles *in natura* de caprinos, em função de diferentes causas e classes qualitativas (A, B ou C).

Tipo de Defeito	Intensidade	Classes			Total	Frequência (%)
		A	B	C		
Carrapato	Sem	127	24	0	151	96,18
	Muito	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0
	Pouco	0	6	0	6	3,82
Berne	Sem	127	30	0	157	100
	Aberto	0	0	0	0	0
	Cicatrizado	0	0	0	0	0

³ Couro com as características finais agregadas, estando pronto para a produção de diferentes produtos (calçados, bolsas, móveis etc.) (Leather Naturally, 2023).

Tipo de Defeito	Intensidade	Classes			Total	Frequência (%)
		A	B	C		
Risco Aberto	Sem	110	0	0	110	70,06
	Muito	0	0	0	0	
	Médio	17	29	0	46	29,30
	Pouco	0	1	0	1	0,64
Risco cicatrizado	Sem	118	24	0	142	90,45
	Muito	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0
	Pouco	9	6	0	15	9,55
Marca a ferro quente	Sem	127	24	0	151	96,18
	Muito	0	6	0	6	3,82
	Médio	0	0	0	0	0
	Pouco	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

DISCUSSÃO

A qualidade extrínseca das peles constitui um dos principais fatores determinantes para sua valorização comercial, uma vez que defeitos adquiridos durante a criação, transporte, abate e conservação comprometem o rendimento industrial e reduzem a competitividade do couro natural frente aos materiais sintéticos (França; Leite; Prasad, 2007; Jacinto, 2003). Nesse contexto, a predominância de peles classificadas na categoria A (80,90%) observada neste estudo indica que, de modo geral, os animais abatidos em São Luís apresentaram bom padrão de qualidade extrínseca. Entretanto, esse resultado deve ser interpretado com cautela, pois 19,10% das peles foram enquadradas na categoria B e 29,30% apresentaram riscos abertos, evidenciando que ainda existem falhas de manejo e de processamento capazes de depreciar a matéria-prima.

Segundo Jacinto (2003), a qualidade da pele é definida ao longo de toda a cadeia produtiva, sendo influenciada tanto pelas condições de criação quanto pelas etapas de abate, esfolagem e conservação. Os resultados obtidos corroboram essa afirmação, uma vez que a ausência de defeitos como berne, dermatites, fotossensibilização e furos sugere condições sanitárias satisfatórias dos animais avaliados, enquanto a elevada frequência de riscos abertos indica que

parte das perdas pode estar associada às etapas finais da cadeia produtiva, especialmente durante a esfolagem.

O principal defeito identificado foi o risco aberto, presente em 29,30% das peles, seguido pelos riscos cicatrizados (9,55%), carrapatos (3,82%) e marca a ferro quente (3,82%). Embora a maioria das peles tenha sido enquadrada na categoria A, a elevada frequência de riscos abertos demonstra que esse defeito representa o principal fator limitante para a valorização das peles produzidas na região, mesmo sendo pouco evidenciados (Figura 4).

Figura 4 - Pele caprina classificada na categoria "A" quanto a defeitos extrínsecos e intensidades de defeitos.



Fonte: Arquivo dos autores.

A infestação por carrapatos foi observada em apenas 3,82% das peles, sempre com baixa intensidade e restrita à região ventral. Esse resultado difere parcialmente do cenário descrito por Jacinto, Costa e Leite (2005), que apontam os ectoparasitas como importantes agentes depreciadores da qualidade das peles de pequenos ruminantes no Nordeste brasileiro. A baixa frequência observada neste estudo sugere que os rebanhos avaliados apresentavam adequado controle sanitário ou reduzida pressão parasitária no período das coletas. Apesar disso, mesmo lesões discretas provocadas por carrapatos podem comprometer a "flor" do couro, tornando-se mais evidentes após o curtimento e reduzindo a

resistência mecânica e o valor comercial do produto acabado, conforme descrito por Gomes (2002), Jacinto e Pereira (2004) e Jacinto *et al.* (2012).

Outro aspecto relevante foi a ausência de berne, dermatites, fotossensibilização e furos em todas as peles avaliadas. Esses resultados indicam que tais enfermidades ou lesões não constituíram fatores limitantes para a qualidade das peles analisadas, diferentemente do observado em outros estudos conduzidos com peles de ruminantes, nos quais alterações dermatológicas e ectoparasitoses representam causas frequentes de condenação ou desvalorização da matéria-prima (Gomes, 2002; Medeiros, 2002; Pereira *et al.*, 2007). Assim, os defeitos identificados neste trabalho estiveram relacionados predominantemente a lesões mecânicas e não a problemas sanitários.

Embora a marca a ferro quente tenha sido observada em apenas 3,82% das peles, sua ocorrência merece atenção, pois esse tipo de lesão provoca dano permanente à derme e compromete áreas nobres do couro. Oliveira (2013) destaca que defeitos que atingem a superfície ou as fibras de colágeno restringem a utilização do couro na fabricação de produtos de maior valor agregado, como calçados, estofamentos e artigos de selaria. Dessa forma, mesmo defeitos pouco frequentes podem reduzir significativamente o aproveitamento industrial da pele.

Os resultados obtidos reforçam que a melhoria da qualidade extrínseca das peles depende de ações integradas em toda a cadeia produtiva. Conforme destacado por Jacinto, Costa e Leite (2005) e Jacinto *et al.* (2007), a adoção de boas práticas de manejo sanitário, adequação das instalações, capacitação dos responsáveis pela esola, conservação adequada das peles e fortalecimento da assistência técnica constituem estratégias fundamentais para reduzir perdas econômicas e aumentar a competitividade do setor coureiro. Considerando que a maior parte das peles avaliadas apresentou boa classificação, mas que os riscos abertos permaneceram como o principal defeito observado, conclui-se que investimentos direcionados principalmente à etapa de abate e ao manejo pré-abate possuem elevado potencial para elevar a qualidade da matéria-prima produzida no município de São Luís - MA.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E.; SOUZA, G. S. Pequenos estabelecimentos também enriquecem? Pedras e tropeços. **Revista de Política Agrícola**, v. 24, n. 3, p. 7-21, 2015.
- AMARILHO-SILVEIRA, F.; BRONDANI, W. C.; LEMES, J. S. Lã: características e fatores de produção. **Archivos de Zootecnia**, v. 64, n. 247, p. 13-24, 2015.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Bases para o plano nacional de desenvolvimento da rota do cordeiro**. / Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Desenvolvimento Regional. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017. 116 p.
- BEZERRA, A. Posição dos curtumes dentro de um programa nacional. *In*: REUNIÃO DE APOIO À CADEIA PRODUTIVA DA OVINOCAPRINOCULTURA BRASILEIRA, 2001, Brasília. Relatório final... Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2001. p. 31-33.
- BNDS. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Glossário de termos usados em atividades Agropecuárias, Florestais e Ciências Ambientais**. 2006. Disponível em: http://www.bnds.gov.br/conhecimento/livro_glossario/glossario.pdf. Acesso em: 23 jan. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 12, de 18 de dezembro de 2002**. Diário Oficial (da República Federativa do Brasil), Brasília, DF, 20 dez. 2002b. Seção 1. Disponível em: <http://www.in.gov.br/materias/xml/do/secao1/26078.xml>. Acesso em: 22 de jan. 2024.
- BRISOLA, M. V. **Diagnóstico nacional sobre a ovinocaprinocultura – relatório técnico**. Brasília: CSOC-Mapa/CNA/Gecomp-UnB, 2011.
- CANAL RURAL. **Caprinos e ovinos: ciência abre novas oportunidades na produção de espécies**. 2003. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/agronegocio/caprinos-e-ovinos-ciencia-abre-novas-oportunidades-na-producao-de-especies/>. Acesso em: 23 jul. 2024.
- CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Manual de criação de caprinos e ovinos. 2011. Disponível em: <https://bit.ly/3eDOZ4W>. Acesso em: 23 jul. 2024.
- GOMES, F. D. S. C. M. *et al.* A Cadeia produtiva da ovinocultura do estado de Mato Grosso do Sul. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, Goiânia, 2014 **Anais...** Sober, 2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agropecuária**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em: 27 set. de 2024.
- JACINTO, M. A. C.; COSTA, R. G.; LEITE, E. R. Produção de peles e couros caprinos e ovinos. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42., 2005. Goiânia. **Anais...**Goiânia: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2005. p.157-165.
- JACINTO, M. A. C.; LEITE, E. R.; REIS, F. A. Peles E Couros Ovinos E Caprinos – Indústria E Mercado. *In*: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE OVINOS E CAPRINOS, 1.; SIMPÓSIO PARANAENSE DE OVINOCULTURA, 13.; SIMPÓSIO PARANAENSE DE CAPRINOCULTURA, 1., 2007, Curitiba. [Palestras e resumos]. Curitiba: UFPR: UFRGS:EMATER-PR, 2007. 189.
- JACINTO, M. A. C.; REIS, F. A.; VARGAS JÚNIOR, F. M. Mercado nacional e internacional de peles e couros bovinos. *In*: ZOOTEC, 17, 2007, Londrina. **Anais...** Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2007. p. 243-254.

JACINTO, M. A. C.; OLIVEIRA, A. R. de; ANDREOLLA, D. L. **Avaliação Técnica e Operacional do Sistema Nacional de Classificação da Pele Bovina**. Boletim de pesquisa e Desenvolvimento 22, Embrapa, São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2009, 28p.

JESUS JÚNIOR, C. de J.; RODRIGUES, L. S.; MORAES, V. E. G. Ovinocaprinocultura de corte – a convivência dos extremos. **BNDES Setorial**, v. 31, p. 281-320, 2010.

LEITE, E. R. Cadeia produtiva de caprinos e ovinos como estratégia para a produção sustentável de carne. /in: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2004. p. 269-275.

LEITE, E. R.; SIMPLICIO, A. A. **Produção e mercado das peles caprina e ovina**. Embrapa Caprinos, 2002. 27 p. (Documentos 41).

MEDEIROS, E. M. C. **Produção de couro bovino de melhor qualidade no pantanal de Mato Grosso do Sul e estratégias de inserção na cadeia do agronegócio**. Campo Grande, 2002. 76p. Monografia (Especialização em Gestão Estratégica de Agronegócios – MBA) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

MAGALHÃES, K. A.; HOLANDA FILHO, Z. F.; MARTINS, E. C. Pesquisa Pecuária Municipal 2020: rebanhos de caprinos e ovinos. **Centro de Inteligência e Mercado de Caprinos e Ovinos Embrapa Caprinos e Ovinos - Embrapa Caprinos e Ovinos**, n. 6, p. 1-11, 2021.

MALAFIA G. C.; BARCELLOS, J. O. J.; AZEVEDO, D. B. Construindo vantagens competitivas para a pecuária de corte do Rio Grande do Sul: o caso de indicação de procedimento de “Carne do Pampa Gaúcho”. /in: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO (SEMEAD), 9., 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

MONTEIRO, M. G.; BRISOLA, M. V.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Diagnóstico da cadeia produtiva de caprinos e ovinos no Brasil**. Instituto da Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2021. 38 p.

RUPPENTHAL, J. E. **Perspectivas do setor couro do Estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 244 f. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção) – Faculdade de Engenharia da Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.

PEREIRA, M. de A.; JACINTO, M. A. C.; MEDEIROS, E. M. C.; TORRES JÚNIOR, R. A. de A.; GOMES, V. **Avaliação técnica e operacional do sistema de classificação de pele bovina estabelecido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)**. Circular Técnica, 35, p. 1-6, 2007.

SANTOS, W. de S. *et al.* Diagnóstico da cadeia produtiva de caprinos e ovinos no Brasil e na Região Nordeste. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 9, n. 7, p. 21283-21303, jul., 2023.

XIMENES, L. J. F.; da CUNHA, A. M. Setor de peles e de couros de caprinos e de ovinos no Nordeste. **Informe Rural Etene**, ano VI, n. 01, p. 1-22, 20.

DA OBSERVAÇÃO VISUAL AO MANEJO BASEADO EM DADOS: A PECUÁRIA DE PRECISÃO EM SISTEMAS LEITEIROS

Igor Kieling Severo

Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM)

Douglas Airton Farsen

Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM)

Alisson Gabriel Savicki

Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM)

Emanuel Felipe Ludwig

Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM)

Enzo Ivan Weiss

Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM)

RESUMO

A pecuária de precisão tem se destacado como uma ferramenta estratégica para modernizar o manejo reprodutivo e sanitário dos rebanhos, especialmente em sistemas leiteiros. Por meio da Internet das Coisas, sensores inteligentes, colares, brincos eletrônicos, acelerômetros, câmeras e sistemas automatizados permitem o monitoramento contínuo de variáveis como atividade, ruminação, temperatura, locomoção, produção de leite e comportamento animal. Essas tecnologias contribuem para a detecção mais eficiente do cio, auxiliando na definição do momento adequado para a inseminação artificial e reduzindo falhas da observação visual. Além disso, favorecem a identificação precoce de distúrbios metabólicos, mastite, metrite, claudicação e alterações no pós-parto. A inteligência artificial amplia esse potencial ao transformar grandes volumes de dados em alertas e recomendações práticas. Contudo, desafios como custo, conectividade, capacitação e interpretação dos dados ainda limitam sua adoção no campo.

Palavras-chave: pecuária de precisão; internet das coisas; sensores vestíveis; detecção de cio; inteligência artificial.

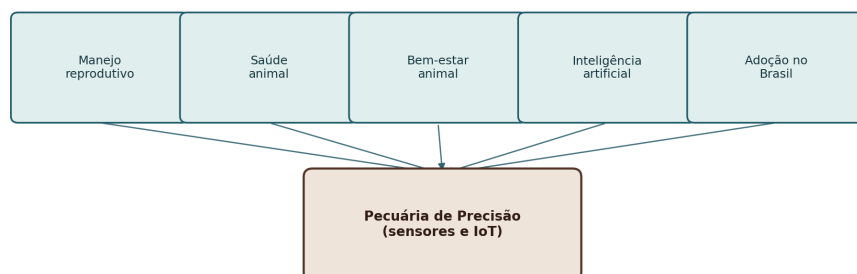
INTRODUÇÃO

A produção animal vem passando por um processo crescente de modernização, impulsionado pela necessidade de aumentar a eficiência produtiva, melhorar os índices reprodutivos, reduzir perdas econômicas e garantir melhores condições de saúde e bem-estar aos animais. De acordo com Lovarelli *et al.* (2020), a pecuária de precisão apresenta potencial para auxiliar o monitoramento dos animais, favorecer intervenções mais rápidas e apoiar a tomada de decisão dentro dos sistemas produtivos. Diferentemente dos métodos tradicionais, que dependem principalmente da observação visual do produtor, as tecnologias digitais permitem acompanhar o comportamento e o estado fisiológico dos animais de forma contínua e individualizada. A detecção de cio é um dos pontos mais importantes para a eficiência reprodutiva, pois influencia diretamente o momento da inseminação artificial, a taxa de prenhez e o intervalo entre partos, mas a observação visual pode falhar quando os sinais são pouco evidentes ou quando o rebanho é grande. Segundo Benaissa *et al.* (2020), por isso produtores têm utilizado cada vez mais sistemas automatizados com acelerômetros, pedômetros, sensores de pressão e termômetros para auxiliar na detecção de cio e de parto em vacas leiteiras.

Além da reprodução, o monitoramento da saúde animal também tem sido uma das principais áreas beneficiadas pelo avanço tecnológico, já que muitas enfermidades e distúrbios metabólicos apresentam alterações comportamentais antes que os sinais clínicos se tornem visíveis. Segundo Steensels *et al.* (2017), variáveis como duração da ruminação, atividade e produção de leite podem auxiliar na identificação precoce de problemas de saúde no pós-parto, incluindo cetose e metrite. Entre as principais tecnologias utilizadas destacam-se os colares inteligentes, brincos eletrônicos, pedômetros, bolus ruminais, câmeras, termografia infravermelha e plataformas digitais de gestão, todos associados ao conceito de Internet das Coisas. De acordo com Tangorra *et al.* (2024), a integração entre sensores, computação em nuvem e aprendizado de máquina possibilita o monitoramento individual dos animais em tempo real e favorece decisões baseadas em dados, gerando alertas automáticos sobre cio, doenças e desempenho produtivo.

A utilização dessas ferramentas representa uma mudança importante na forma de conduzir o manejo animal: o produtor deixa de depender apenas da percepção visual e passa a contar com dados objetivos, contínuos e organizados. Entretanto, apesar dos benefícios, a adoção dessas tecnologias ainda enfrenta desafios, como custo de aquisição, necessidade de conectividade no meio rural, manutenção dos equipamentos e capacitação dos usuários. No Brasil, Silvi *et al.* (2021) observaram que fatores como suporte técnico disponível, retorno sobre o investimento, facilidade de uso e compatibilidade com softwares de gestão influenciam diretamente a adoção de tecnologias de precisão em propriedades leiteiras. Para organizar essa discussão, o capítulo está estruturado em cinco eixos temáticos: manejo reprodutivo, monitoramento da saúde e do bem-estar, inteligência artificial, cenário de adoção no Brasil e, por fim, uma síntese integradora dos principais achados (Figura 1).

Figura 1 - Eixos temáticos que estruturam a aplicação da pecuária de precisão em sistemas leiteiros.



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

MANEJO REPRODUTIVO

A validação científica dos sensores comerciais acompanha o ritmo de lançamento de novas tecnologias?

A tecnologia não deve ser compreendida apenas como a inserção de sensores no rebanho, mas como uma nova forma de gestão produtiva, na qual informações sobre comportamento, saúde, reprodução, ambiente e desempenho passam a ser integradas ao planejamento da propriedade. Essa constatação é reforçada por Stygar *et al.* (2021), que, ao realizarem uma revisão sistemática sobre tecnologias validadas para bovinos leiteiros, identificaram que apenas 18 sensores comercialmente disponíveis apresentavam validação externa, diante

de 129 tecnologias encontradas no mercado, correspondendo a aproximadamente 14%. Esse resultado evidencia que a eficiência da pecuária de precisão depende não apenas da disponibilidade de equipamentos, mas principalmente da validação científica dos dados gerados e da capacidade de transformar essas informações em decisões práticas no manejo do rebanho.

Como sensores de atividade auxiliam na detecção do cio?

A partir dessa perspectiva, uma das aplicações mais relevantes da pecuária de precisão ocorre no manejo reprodutivo, especialmente na detecção de cio, pois essa etapa interfere diretamente no momento da inseminação artificial, na taxa de prenhez, no intervalo entre partos e na eficiência econômica da atividade. A observação visual, embora ainda importante, pode apresentar falhas em rebanhos maiores, sistemas intensivos ou em fêmeas que expressam sinais discretos de estro. Nesse contexto, sensores de atividade, acelerômetros, pedômetros e sistemas de localização permitem identificar alterações comportamentais associadas ao cio, como aumento da movimentação, mudanças no repouso, alterações na ruminação e maior interação entre animais. Schweinzer *et al.* (2019), ao avaliarem um acelerômetro auricular tridimensional em vacas leiteiras mantidas em sistema indoor, observaram sensibilidade de 97% na detecção de eventos de estro. Esse resultado demonstra que sensores bem validados podem aumentar a precisão da identificação do cio e reduzir perdas reprodutivas associadas à falha de observação visual, principalmente em propriedades nas quais o acompanhamento contínuo dos animais é limitado pela mão de obra ou pelo tamanho do rebanho.

Sensores combinados aumentam a precisão na detecção de cio e de parto?

Em estudo com vacas Holandesas, Benaissa *et al.* (2020) combinaram acelerômetros instalados no pescoço e na perna com sensores de localização interna para detectar cio e parto, mostrando que a associação de diferentes sensores pode gerar um sistema multifuncional de monitoramento reprodutivo. Para a detecção de cio em janelas de 8 a 24 horas antes da inseminação artificial, os sensores apresentaram precisão entre 86% e 89% e sensibilidade entre 73%

e 77%; quando a localização foi combinada com acelerômetros de pescoço ou de perna, a sensibilidade aumentou para até 91%, reforçando que a fusão de dados tende a ser superior ao uso de um único sensor.

Por outro lado, o mesmo estudo mostrou que a precisão diminui quando se tenta detectar eventos muito próximos do momento de ocorrência: em janelas curtas de 2 a 4 horas, o uso de apenas um sensor reduziu a precisão para 55% a 65% e a sensibilidade para 42% a 62%, enquanto a combinação de sensores elevou a precisão para 72% a 87% e a sensibilidade para 63% a 85%. Isso reforça que sensores não são infalíveis, mas sua eficiência melhora quando várias informações são analisadas em conjunto, o que torna a pecuária de precisão um sistema de apoio à decisão, e não uma ferramenta isolada capaz de eliminar a necessidade de interpretação técnica.

Sensores acoplados ao brinco são eficientes para a detecção de cio em grandes rebanhos?

Retomando o manejo reprodutivo, outro resultado bastante relevante para a detecção de cio foi observado por Schweinzer *et al.* (2019), que avaliaram um acelerômetro tridimensional acoplado ao brinco de vacas leiteiras alojadas em sistema indoor. O estudo utilizou 579 eventos de cio de vacas múltiparas e comparou os eventos registrados no manejo reprodutivo com os alertas gerados pelo sistema. Na análise retrospectiva, o equipamento apresentou 97% de sensibilidade e 98% de especificidade para detecção de cio. Além disso, para 263 eventos registrados, o sistema apresentou 96% de valor preditivo positivo, 94% de valor preditivo negativo, 96% de acurácia e apenas 2% de taxa de erro. Esses resultados reforçam que sensores de atividade instalados em brincos podem ser ferramentas eficientes para reduzir falhas na observação visual do cio, principalmente em propriedades com maior número de animais.

É possível determinar o momento ideal para a inseminação artificial usando sensores?

Álvarez *et al.* (2025) reforçam essa aplicação ao avaliarem um colar comercial com acelerômetro em 47 vacas Holandesas, utilizando ultrassonografia como método de referência para confirmar o cio. Das 33 vacas diagnosticadas

em cio pela ultrassonografia, 30 foram corretamente detectadas pelo sistema, resultando em 90,90% de sensibilidade, 100% de especificidade e 93,62% de acurácia. Além disso, o estudo indicou uma janela ótima para inseminação artificial entre 11,4 e 15,5 horas após o início do cio, com recomendação média de 13,5 horas. Esse resultado é bastante relevante, pois mostra que a tecnologia não apenas identifica o cio, mas também pode auxiliar na definição do melhor momento para a inseminação, tornando o manejo reprodutivo mais preciso e menos dependente de observações pontuais.

Os dados de Álvarez *et al.* (2025) também reforçam a importância de associar sensores comportamentais com parâmetros fisiológicos. O estudo observou duração média de cio de $11,90 \pm 4,34$ horas, pico de intensidade comportamental em torno de $6,27 \pm 4,05$ horas após o início do cio e alterações no fluxo sanguíneo folicular nas 48 horas anteriores à ovulação. Esses achados são importantes porque mostram que a manifestação do cio é dinâmica e pode variar ao longo do tempo, exigindo sistemas capazes de monitorar continuamente o animal. Assim, sensores com leitura em tempo real podem oferecer vantagem sobre observações pontuais realizadas apenas em determinados horários do dia, principalmente em vacas que expressam sinais de estro de forma mais discreta ou por menor período.

Sensores de atividade também conseguem prever o momento do parto?

Além da detecção de cio, os sensores também apresentaram resultados expressivos na previsão de parto, reforçando sua utilidade no acompanhamento reprodutivo de vacas leiteiras. Borchers *et al.* (2017) avaliaram 20 vacas primíparas e 33 multíparas utilizando monitores automatizados de atividade, tempo deitada e ruminação. Os autores observaram mudanças comportamentais nos 14 dias anteriores ao parto, sendo que os valores mais extremos ocorreram nas últimas 24 horas. Quando utilizaram redes neurais combinando variáveis das tecnologias avaliadas, o modelo atingiu 100% de sensibilidade e 86,8% de especificidade na análise diária. Já na identificação de períodos de 2 horas dentro das 8 horas anteriores ao parto, o modelo apresentou 82,8% de sensibilidade e 80,4% de especificidade. Esses resultados demonstram que alterações comportamentais

podem antecipar eventos fisiológicos importantes, permitindo maior atenção ao período periparto.

SAÚDE ANIMAL

Como os sensores auxiliam na detecção geral de distúrbios metabólicos?

De forma geral, sensores de ruminação e de atividade também têm se mostrado úteis para antecipar distúrbios metabólicos, digestivos e infecciosos no período pós-parto, fase em que as vacas estão mais suscetíveis a esse tipo de problema. Steensels *et al.* (2017) avaliaram 300 vacas saudáveis e 403 doentes e observaram queda na ruminação, na atividade e na produção de leite já alguns dias antes do diagnóstico clínico, com diferenças de até 5,6 kg de leite por dia em relação aos animais saudáveis. Stangaferro *et al.* (2016) avaliaram um sistema semelhante em 1.121 vacas Holandesas e obtiveram sensibilidade de 98% para deslocamento de abomaso, 91% para cetose e 89% para indigestão, com alertas surgindo, em média, entre 1,6 e 3 dias antes do diagnóstico clínico. Paudyal *et al.* (2018), por sua vez, mostraram que a ruminação é um bom indicador geral de risco sanitário, mas com sensibilidade variável conforme a doença, de 42% para distúrbios digestivos a até 100% para hipocalcemia clínica. Em conjunto, esses estudos reforçam que a queda na ruminação e na atividade funciona como um sinal precoce e relativamente confiável de desequilíbrio metabólico, ainda que sua interpretação deva sempre considerar o tipo de distúrbio e o contexto clínico do animal.

Como os sensores auxiliam no controle de qualidade e na detecção de mastite e metrite?

No que se refere ao controle de qualidade do leite e à sanidade do úbere, sistemas automatizados de ordenha e de monitoramento também têm sido empregados na detecção de mastite e de metrite, embora com desempenho variável conforme o agente causador e a gravidade do quadro clínico. Stangaferro *et al.* (2016) verificaram sensibilidade de 80,7% para mastite causada por *Escherichia coli*, mas de apenas 45% a 48% para mastites causadas por bactérias Gram-positivas, e sensibilidade de 55% a 78% para metrite, a depender

de sua associação com outros distúrbios. Bausewein *et al.* (2022), ao avaliarem sistemas automáticos de ordenha em 114 fazendas leiteiras da Baviera, totalizando mais de 7 mil vacas, encontraram sensibilidade entre 61,4% e 78,2% e especificidade entre 79,2% e 92,2% para mastite clínica, sem que nenhum sistema alcançasse o limite mínimo desejável de 99% de especificidade. Já Tian *et al.* (2024), ao desenvolverem modelos preditivos com dados de atividade, ruminação, produção e condutividade elétrica do leite de quase 2.600 vacas, observaram que animais de maior produção tendem a ser mais suscetíveis à mastite. Na prática, esses resultados mostram que os sensores de ordenha automática funcionam bem como ferramentas de triagem, mas ainda geram falsos positivos suficientes para exigir confirmação clínica antes de qualquer decisão de descarte de leite ou tratamento.

Câmeras conseguem substituir a avaliação visual do escore de condição corporal?

Além da mastite, o escore de condição corporal também pode ser monitorado por tecnologias automatizadas, permitindo acompanhar alterações nutricionais e metabólicas de forma mais precisa. Na avaliação do escore de condição corporal, Albornoz *et al.* (2022) compararam o método visual com um sistema automatizado de câmera tridimensional em 32 vacas Holandesas múltiparas no início da lactação. As vacas foram avaliadas visualmente por três avaliadores treinados uma vez por semana, enquanto a câmera registrou medições automáticas duas vezes ao dia por pelo menos sete semanas consecutivas. Os resultados mostraram que a sensibilidade para detectar mudanças no escore foi de 1,7 no método visual, 3,6 com os dados brutos da câmera e 6,2 após refinamento dos dados. Isso indica que a câmera foi mais sensível para detectar mudanças corporais ao longo do tempo do que a avaliação visual semanal.

O mesmo estudo de Albornoz *et al.* (2022) mostrou uma diferença prática ainda mais clara: considerando uma redução aproximada de 0,2 ponto de escore corporal por mês, o método visual levaria cerca de 44 dias para detectar essa mudança, enquanto a câmera com dados brutos levaria 21 dias e a câmera com dados refinados apenas 12 dias. Esse resultado é muito forte para discutir manejo nutricional e saúde metabólica, pois vacas que perdem condição

corporal rapidamente no início da lactação podem apresentar maior risco de problemas reprodutivos, metabólicos e produtivos. Assim, câmeras de escore corporal podem antecipar ajustes de dieta e manejo antes que a perda corporal seja percebida visualmente, contribuindo para decisões mais rápidas durante uma fase crítica da lactação.

Por que a identificação individual correta dos animais é essencial para sistemas automatizados?

A aplicação de câmeras também tem avançado para outras finalidades, como identificação individual, avaliação locomotora e análise automatizada do bem-estar. Na área de visão computacional, Swartz *et al.* (2024) avaliaram a confiabilidade de identificação individual de vacas por uma tecnologia baseada em câmeras voltada à avaliação de claudicação e escore corporal. O sistema apresentou 98,9% de acurácia na identificação dos animais, e 84% das vacas foram reconhecidas após 4 a 11 dias de exposição à câmera. Esse tipo de resultado é relevante porque a identificação correta é uma etapa essencial para qualquer sistema automatizado: de nada adianta detectar claudicação, escore corporal ou comportamento se o sistema não consegue associar a informação ao animal correto.

Visão computacional pode detectar claudicação sem contato direto com o animal?

Nesse contexto, a detecção de claudicação se destaca como uma das aplicações mais promissoras da visão computacional, por envolver um problema sanitário e de bem-estar frequentemente subdiagnosticado. Li *et al.* (2024) desenvolveram um sistema baseado em segmentação de instância e aprendizado profundo, utilizando vídeos para extrair características do pescoço, dorso e marcha das vacas. Para testar o modelo, os autores utilizaram 246 vídeos, sendo 172 para treinamento e 74 para teste. O sistema alcançou 98,65% de acurácia na detecção de claudicação, demonstrando o potencial da visão computacional para identificar alterações locomotoras sem contato direto com o animal. Esse resultado é promissor porque a claudicação muitas vezes é percebida tardiamente pelo manejo visual, quando já há dor, redução de produção, piora reprodutiva e comprometimento do bem-estar. Resultados semelhantes foram observados

por Myint *et al.* (2024) em um sistema de detecção de claudicação em tempo real: o módulo de detecção baseado em rede neural profunda alcançou 98,98% de acurácia, enquanto o módulo de rastreamento atingiu 99,50%, mostrando que câmeras associadas a algoritmos de inteligência artificial podem localizar o animal na imagem e acompanhar sua movimentação ao longo do tempo.

Apesar do alto desempenho, é importante considerar que resultados obtidos em ambiente experimental ou com banco de vídeos controlado podem não se repetir integralmente em fazendas comerciais, já que luz, sujeira, ângulo da câmera, piso e movimentação de vários animais podem reduzir a eficiência dos modelos. Mesmo assim, a tendência é clara: no futuro, parte do monitoramento de claudicação e de bem-estar poderá ser feita por câmeras e inteligência artificial, reduzindo a dependência da avaliação visual subjetiva e ampliando a capacidade de acompanhamento individual dos animais.

O monitoramento automatizado muda a rotina sanitária da propriedade?

Esse resultado reforça que a doença frequentemente começa de forma silenciosa, alterando comportamento e produção antes que o produtor perceba visualmente. Isso é bastante relevante: a queda de ruminação, a redução de atividade e a diminuição da produção de leite podem funcionar como sinais indiretos de desequilíbrio fisiológico. Em sistemas leiteiros intensivos, onde cada dia de queda produtiva representa perda econômica, a capacidade de antecipar problemas pode ter impacto direto na rentabilidade e no bem-estar animal. Assim, o monitoramento automatizado não elimina a necessidade de avaliação clínica, mas permite que ela seja direcionada de forma mais rápida aos animais com maior risco.

A comparação entre monitoramento automatizado e observação visual também traz resultados importantes, principalmente por mostrar como os sensores podem modificar a rotina sanitária da propriedade. Rial *et al.* (2024) conduziram um estudo com 1.204 vacas Holandesas, divididas em grupo de observação visual e grupo com monitoramento automatizado por sensores. No grupo com sensores, as vacas eram examinadas quando apresentavam índice de saúde menor que 86, ruminação diária inferior a 250 minutos ou queda superior a 20%

na produção diária de leite. O estudo observou que o monitoramento automatizado aumentou o número de exames clínicos, diagnósticos e tratamentos, além de estar associado a maior produção de leite acumulada entre 2 e 21 dias em lactação e menor saída do rebanho até 21 dias em lactação.

Esse resultado mostra que os sensores podem aumentar a intensidade do monitoramento sanitário. Em outras palavras, o sistema faz com que mais vacas suspeitas sejam avaliadas, o que pode aumentar a chance de diagnóstico precoce. Porém, isso também exige organização da propriedade, pois mais alertas podem significar mais trabalho de checagem. Portanto, a tecnologia melhora o rastreamento dos animais em risco, mas a fazenda precisa ter rotina, mão de obra treinada e critérios técnicos para decidir quando tratar, quando observar e quando descartar um alerta sem relevância clínica.

Tabela 1 - Síntese de estudos internacionais sobre sensores aplicados à pecuária leiteira de precisão.

Estudo	Tecnologia	Principal achado
Schweinzer <i>et al.</i> (2019)	Acelerômetro no brinco	97% sensib. / 98% espec. (cio)
Álvarez <i>et al.</i> (2025)	Colar com acelerômetro	90,9% sensib. / 100% espec. (cio)
Borchers <i>et al.</i> (2017)	Atividade, repouso e ruminação	100% sensib. / 86,8% espec. (parto)
Stangaferro <i>et al.</i> (2016)	Ruminação e atividade	89-98% sensib. (distúrbios metabólicos)
Bausewein <i>et al.</i> (2022)	Ordenha automática	61,4-78,2% sensib. (mastite)
Piette <i>et al.</i> (2020)	Sistema automatizado individual	82% acurácia (claudicação)
Li <i>et al.</i> (2024)	Visão computacional	98,65% acurácia (claudicação)
Myint <i>et al.</i> (2024)	Rede neural profunda (vídeo)	98,98% acurácia (claudicação)

Fonte: elaborado pelos autores (2026), com base nos estudos citados.

BEM-ESTAR ANIMAL

A pecuária de precisão também contribui para o bem-estar animal?

De forma complementar ao monitoramento sanitário, outro ponto relevante é que a pecuária de precisão não contribui apenas para produtividade, mas também para o bem-estar animal. Tecnologias baseadas em sensores, câmeras, termografia e análise automatizada podem auxiliar na identificação de claudicação, mastite, alterações de condição corporal e sinais de desconforto. Esses problemas afetam diretamente a saúde, a longevidade produtiva e a qualidade de vida dos animais. Piette *et al.* (2020), ao avaliarem um sistema

automatizado individualizado para detecção de claudicação em vacas leiteiras, observaram acurácia de 82% na identificação dos animais afetados. Esse resultado demonstra que ferramentas de monitoramento automatizado podem auxiliar na identificação mais objetiva de alterações locomotoras, favorecendo intervenções mais precoces e reduzindo o tempo entre o início do problema e a tomada de decisão técnica.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Qual o papel da inteligência artificial na interpretação dos dados gerados pelos sensores?

Entretanto, apesar do avanço dos sensores e de sua aplicação em diferentes áreas do manejo, a simples coleta de dados não garante melhoria na condução da propriedade. O principal desafio está em transformar grandes volumes de informações em decisões práticas, compreensíveis e aplicáveis à rotina do sistema produtivo. Um sistema pode registrar atividade, ruminação, temperatura, produção de leite e dados ambientais, mas esses dados só terão valor se forem interpretados corretamente e convertidos em alertas úteis. Nesse sentido, a inteligência artificial e os algoritmos de análise assumem papel central, pois permitem identificar padrões normais de cada animal, detectar desvios e gerar recomendações. Perez *et al.* (2025), ao desenvolverem modelos de aprendizado de máquina para seleção de vacas com necessidade de exame clínico, observaram que o algoritmo de aprendizado de máquina selecionado apresentou valor preditivo negativo de 97,6%. Esse resultado indica que modelos baseados em sensores e dados produtivos podem auxiliar na triagem sanitária do rebanho, reduzindo avaliações desnecessárias e direcionando a atenção técnica aos animais com maior probabilidade de alteração clínica.

ADOÇÃO DA PECUÁRIA DE PRECISÃO NO BRASIL

Qual é o cenário de adoção da pecuária de precisão no Brasil?

Ao trazer essa discussão para a realidade brasileira, os resultados de Silvi *et al.* (2021) são fundamentais para compreender que a adoção tecnológica ainda ocorre de forma desigual. Os autores avaliaram 378 fazendas leiteiras

brasileiras e observaram que as tecnologias mais adotadas foram medidores automáticos de leite, presentes em 31,7% das propriedades, portões inteligentes de sala de ordenha, com 14,5%, sensores para detecção de mastite por condutividade elétrica, com 8,4%, sensores de temperatura corporal, com 7,9%, e medidores de atividade, com 7,1%. Já as tecnologias menos utilizadas foram câmera termográfica, sensores hormonais de fertilidade, sensores para saúde de casco e GPS/localização animal, todos com apenas 0,8% de adoção, o que mostra um descompasso entre a tendência científica e o que de fato chegou ao campo brasileiro.

Os mesmos autores observaram que os principais fatores considerados pelos produtores para comprar tecnologias foram assistência técnica disponível, retorno sobre o investimento, facilidade de uso, custo inicial e compatibilidade com softwares de gestão, enquanto os principais motivos para não investir foram a necessidade de priorizar outros setores da fazenda, apontada por 36% dos produtores, incerteza sobre retorno econômico, com 24%, e falta de integração com outros sistemas, com 11%. Isso mostra que o produtor não avalia apenas a eficiência técnica do sensor, mas também sua viabilidade econômica e sua integração com a rotina da propriedade.

Além dos dados de adoção pelo produtor, o próprio desenvolvimento científico e institucional da pecuária de precisão no Brasil também tem avançado. Brainer *et al.* (2022) realizaram uma revisão sobre os principais métodos empregados na pecuária leiteira de precisão, discutindo tanto os desafios de implantação quanto os impactos dessas tecnologias na cadeia produtiva nacional. Em paralelo, iniciativas de pesquisa aplicada, como a parceria entre a Embrapa Gado de Corte e a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul descrita por Da Silva e Rubinsztein (2023), têm se dedicado a padronizar e integrar os dados gerados por diferentes sensores no campo, um passo importante para que essas tecnologias se tornem mais acessíveis e interoperáveis nas propriedades brasileiras.

Essa limitação econômica é exclusiva da realidade brasileira?

Essa limitação econômica não é exclusiva da realidade brasileira, pois também aparece em estudos internacionais. Abeni, Petrera e Galli (2019) observaram que, mesmo em fazendas leiteiras italianas de uma das regiões mais importantes

para a produção láctea do país, a difusão de sensores para detecção de mastite e de cio ainda não era amplamente disseminada, e que a relação custo-benefício era o fator mais determinante para a decisão de compra pelos produtores. Isso reforça que a adoção tecnológica não ocorre automaticamente, mesmo em regiões com maior acesso à infraestrutura. O produtor tende a avaliar se a ferramenta realmente reduz mão de obra, melhora o controle do rebanho, aumenta a eficiência produtiva e apresenta retorno econômico compatível com o investimento realizado.

Como a realidade da pecuária leiteira a pasto no Brasil influencia a adoção dessas tecnologias?

Grande parte da pecuária leiteira brasileira ainda é conduzida a pasto, em propriedades de pequeno e médio porte, com estrutura mais simples de instalações, conectividade limitada e menor disponibilidade de capital para investimento em tecnologia, quando comparada aos sistemas confinados nos quais boa parte dos estudos internacionais citados neste capítulo foi conduzida. Os próprios dados de Silvi *et al.* (2021), apresentados na seção anterior, reforçam esse cenário, ao mostrar que as tecnologias menos adotadas no Brasil são justamente as mais dependentes de conectividade e de sistemas de localização, como o GPS animal. Apesar dessa limitação, é razoável esperar que a adoção ganhe força ao longo do tempo, à medida que o custo dos dispositivos diminui, a conectividade rural se expande e surgem soluções mais adaptadas a sistemas extensivos, como colares e brincos com alimentação solar e transmissão via satélite, seguindo a mesma curva de popularização já observada em outras tecnologias de manejo.

Nesse processo de adoção, o perfil da propriedade também importa: fazendas em que já existe um sucessor definido dentro da família tendem a apresentar maior disposição para investir em tecnologia, pois o horizonte de retorno do investimento deixa de estar limitado à geração atual e passa a considerar a continuidade do negócio ao longo do tempo. Esse aspecto dialoga diretamente com os fatores de decisão identificados por Silvi *et al.* (2021), como o retorno sobre o investimento e a compatibilidade com softwares de gestão, pois famílias com sucessão planejada costumam profissionalizar mais cedo a administração da propriedade e enxergar a pecuária de precisão como parte de um processo

de modernização a ser aproveitado pela próxima geração, e não apenas como um custo pontual.

O que os estudos analisados evidenciam em conjunto?

Portanto, os estudos analisados mostram que a pecuária de precisão possui resultados concretos e mensuráveis, especialmente na detecção de cio, previsão de parto, identificação de distúrbios metabólicos, monitoramento de mastite, metrite e claudicação. Os melhores resultados aparecem quando diferentes fontes de dados são combinadas, como ruminação, atividade, produção de leite, localização, tempo de repouso e imagens. Entretanto, os trabalhos também demonstram limitações importantes, como sensibilidade variável conforme a doença, risco de falsos alertas, necessidade de confirmação clínica e barreiras de adoção no campo. Dessa forma, a principal contribuição dessas tecnologias não é substituir o olhar técnico, mas ampliar a capacidade de monitoramento e permitir decisões mais rápidas, preventivas e baseadas em evidências.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pecuária de precisão, associada à Internet das Coisas, aos sensores inteligentes e aos sistemas digitais de gestão, apresenta grande potencial para modernizar o manejo animal. Essas tecnologias permitem o monitoramento contínuo, individualizado e em tempo real dos rebanhos, contribuindo para decisões mais rápidas, técnicas e baseadas em dados. Dessa forma, o produtor passa a contar com informações mais precisas sobre comportamento, reprodução, saúde, ambiência e desempenho produtivo dos animais.

Entre as principais aplicações, a detecção de cio se destaca como uma das mais importantes, principalmente em sistemas leiteiros e propriedades que utilizam inseminação artificial. Sensores de atividade, colares inteligentes, brincos eletrônicos, pedômetros e sistemas automatizados podem auxiliar na identificação do momento mais adequado para a inseminação, reduzindo falhas da observação visual e favorecendo melhores índices reprodutivos. Com isso, há possibilidade de reduzir perdas relacionadas ao aumento dos dias abertos, repetição de cio e maior intervalo entre partos.

O monitoramento da saúde animal também representa um avanço significativo, pois permite identificar alterações comportamentais e fisiológicas antes que os sinais clínicos se tornem evidentes. Mudanças na ruminação, atividade, temperatura, locomoção, consumo e produção podem indicar precocemente distúrbios metabólicos, doenças infecciosas, problemas locomotores, estresse térmico e alterações no pós-parto. Assim, o uso dessas ferramentas contribui para um manejo mais preventivo, reduzindo prejuízos produtivos e favorecendo o bem-estar dos animais.

A inteligência artificial e a análise de dados ampliam ainda mais a utilidade dessas tecnologias, pois permitem interpretar grandes volumes de informações e transformá-las em alertas e recomendações práticas. Entretanto, apesar dos benefícios, a adoção da pecuária de precisão ainda enfrenta desafios importantes, como custo de aquisição, necessidade de conectividade no meio rural, manutenção dos equipamentos, capacitação dos usuários e correta interpretação dos dados. Portanto, essas tecnologias devem ser compreendidas como ferramentas de apoio ao manejo, e não como substitutas do conhecimento técnico. Quando utilizadas de forma planejada, integrada e adaptada à realidade da propriedade, podem contribuir significativamente para uma produção animal mais eficiente, sustentável, preventiva e tecnicada.

REFERÊNCIAS

- ABENI, F.; PETRERA, F.; GALLI, A. A survey of Italian dairy farmers' propensity for precision livestock farming tools. **Animals**, v. 9, n. 5, p. 202, 2019. DOI: 10.3390/ani9050202.
- ALBORNOZ, R. I. *et al.* An improved approach to automated measurement of body condition score in dairy cows using a three-dimensional camera system. **Animals**, v. 12, n. 1, p. 72, 2022. DOI: 10.3390/ani12010072.
- ÁLVAREZ, J. *et al.* Estrus detection and optimal insemination timing in Holstein cattle using a neck-mounted accelerometer sensor system. **Sensors**, v. 25, n. 17, p. 5245, 2025. DOI: 10.3390/s25175245.
- BAUSEWEIN, M.; MANSFELD, R.; DOHERR, M. G.; HARMS, J.; SORGE, U. S. Sensitivity and specificity for the detection of clinical mastitis by automatic milking systems in Bavarian dairy herds. **Animals**, v. 12, n. 16, p. 2131, 2022. DOI: 10.3390/ani12162131.

BENAISSA, S. *et al.* Calving and estrus detection in dairy cattle using a combination of indoor localization and accelerometer sensors. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 168, p. 105153, 2020. DOI: 10.1016/j.compag.2019.105153.

BORCHERS, M. R. *et al.* Machine-learning-based calving prediction from activity, lying, and ruminating behaviors in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 7, p. 5664-5674, 2017. DOI: 10.3168/jds.2016-11526.

BRAINER, M. M. A.; SILVA, L. F. F.; MACHADO, A. S.; FARIA JÚNIOR, O. L.; RAMOS, J. S. Pecuária leiteira de precisão. *In*: **OPEN SCIENCE RESEARCH VI**. [S. l.]: Editora Científica Digital, 2022. cap. 21, p. 331-349. DOI: 10.37885/220910020.

DA SILVA, L. B.; RUBINSZTEJN, H. K. S. Modelagem e persistência de dados sensoriais para a pecuária de precisão. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 6, n. 1, p. 407-417, 2023.

LI, Q. *et al.* Lameness detection system for dairy cows based on instance segmentation. **Expert Systems with Applications**, v. 249, p. 123775, 2024. DOI: 10.1016/j.eswa.2024.123775.

LOVARELLI, D.; BACENETTI, J.; GUARINO, M. A review on dairy cattle farming: is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production? **Journal of Cleaner Production**, v. 262, p. 121409, 2020.

MYINT, B. B.; ONIZUKA, T.; TIN, P.; AIKAWA, M.; KOBAYASHI, I.; ZIN, T. T. Development of a real-time cattle lameness detection system using a single side-view camera. **Scientific Reports**, v. 14, art. 13734, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-64664-7.

PAUDYAL, S. *et al.* Rumination time and monitoring of health disorders during early lactation. **Animal**, v. 12, n. 7, p. 1484-1492, 2018. DOI: 10.1017/S1751731117002932.

PEREZ, M. M.; CABRERA, E.; RIAL, C.; YOU, Y.; WANG, Y.; WEINBERGER, K.; NYDAM, D. V.; GIORDANO, J. O. Screening and selection of a machine learning algorithm for development of a model to select cows for clinical examination using data from automated health monitoring technologies and other predictors of cow health. **Journal of Dairy Science**, v. 108, n. 12, p. 13720-13738, 2025. DOI: 10.3168/jds.2025-26511.

PIETTE, D.; NORTON, T.; EXADAKTYLOS, V.; BERCKMANS, D. Individualised automated lameness detection in dairy cows and the impact of historical window length on algorithm performance. **Animal**, v. 14, n. 2, p. 409-417, 2020. DOI: 10.1017/S1751731119001642.

RIAL, C.; STANGAFERRO, M. L.; THOMAS, M. J.; GIORDANO, J. O. Effect of automated health monitoring based on rumination, activity, and milk yield alerts versus visual observation on herd health monitoring and performance outcomes. **Journal of Dairy Science**, v. 107, n. 12, p. 11576-11596, 2024. DOI: 10.3168/jds.2024-25256.

SCHWEINZER, V.; GUSTERER, E.; KANZ, P.; KRIEGER, S.; SÜSS, D.; LIDAUER, L.; BERGER, A.; KICKINGER, F.; ÖHLSCHUSTER, M.; AUER, W.; DRILLICH, M.; IWERSEN, M. Evaluation of an ear-attached accelerometer for detecting estrus events in indoor housed dairy cows. **Theriogenology**, v. 130, p. 19-25, 2019. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2019.02.038.

SILVI, R.; PEREIRA, L. G. R.; PAIVA, C. A. V.; TOMICH, T. R.; TEIXEIRA, V. A.; SACRAMENTO, J. P.; FERREIRA, R. A. P.; COELHO, S. G.; MACHADO, F. S.; CAMPOS, M. M.; DÓREA, J. R. R. Adoption of precision technologies by Brazilian dairy farms: the farmer's perception. **Animals**, v. 11, n. 12, p. 3488, 2021. DOI: 10.3390/ani11123488.

STANGAFERRO, M. L. *et al.* Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part I. Metabolic and digestive disorders. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 9, p. 7395-7410, 2016. DOI: 10.3168/jds.2016-10907.

STANGAFERRO, M. L. *et al.* Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part II. Mastitis. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 9, p. 7411-7421, 2016. DOI: 10.3168/jds.2016-10908.

STANGAFERRO, M. L. *et al.* Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part III. Metritis. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 9, p. 7422-7433, 2016. DOI: 10.3168/jds.2016-11352.

STEENSELS, M.; MALTZ, E.; BAHR, C.; BERCKMANS, D.; ANTLER, A.; HALACHMI, I. Towards practical application of sensors for monitoring animal health: the effect of post-calving health problems on rumination duration, activity and milk yield. **Journal of Dairy Research**, v. 84, n. 2, p. 132-138, 2017. DOI: 10.1017/S0022029917000176.

STYGAR, A. H.; GÓMEZ, Y.; BERTESSELLI, G. V.; DALLA COSTA, E.; CANALI, E.; NIEMI, J. K.; LLONCH, P.; PASTELL, M. A systematic review on commercially available and validated sensor technologies for welfare assessment of dairy cattle. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 8, art. 634338, 2021. DOI: 10.3389/fvets.2021.634338.

SWARTZ, D.; SHEPLEY, E.; CRAMER, G. Evaluating cow identification reliability of a camera-based locomotion and body condition scoring system in dairy cows. **JDS Communications**, v. 6, n. 2, p. 202-205, 2025. DOI: 10.3168/jdsc.2024-0659.

TANGORRA, F. M.; BUOIO, E.; CALCANTE, A.; BASSI, A.; COSTA, A. Internet of Things (IoT): sensors application in dairy cattle farming. **Animals**, v. 14, n. 21, p. 3071, 2024. DOI: 10.3390/ani14213071.

TIAN, H. *et al.* The prediction of clinical mastitis in dairy cows based on milk yield, rumination time, and milk electrical conductivity using machine learning algorithms. **Animals**, v. 14, n. 3, p. 427, 2024. DOI: 10.3390/ani14030427.

ESTUDO MODELO PARA ANÁLISE DE PEDIGREES EM CAVALOS PURO-SANGUE LUSITANOS

Larissa Yahagi Rodrigues

Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias – FCAV, Jaboticabal – SP, Brasil

José Manuel Martins Teixeira Gomes

Coudelaria Lusitano Sport Horse, Portugal

António Pedro Andrade Vicente

Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Santarém – ESAS – IPS, Portugal

Vitor Hugo da Silva Mendes

Coudelaria Lusitano Sport Horse, Portugal

Ana Rafael Barbosa de Matos Teixeira

HT Equine, Unipessoal LDA, Portugal

Gustavo Henrique Alberto

Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias – FCAV, Jaboticabal – SP, Brasil

Nuno Carolino

Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária I.P, Santarém Portugal

Rosa Lino Neto Pereira

Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária I.P, Santarém Portugal

Josineudson Augusto II Vasconcelos Silva

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – FMVZ, Botucatu – SP, Brasil

Ricardo António da Silva Faria

Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária I.P, Santarém Portugal

RESUMO

Objetivo: Avaliar a diversidade genética e fornecer informações sobre os principais ancestrais e fundadores de uma população de cavalos, no início da criação de um haras. **Métodos:** Foram avaliadas 16 éguas denominadas população pLSH, nascidas entre os anos de 2016 a 2021 e os seus 483 ancestrais nascidos entre os anos 1947 a 2015, que conjuntamente com a pLSH formaram a população total ($pT = 499$ animais). As análises do pedigree forneceram informações das gerações equivalentes conhecidas (GE), intervalo de gerações (IG), coeficiente de consanguinidade (F), tamanho efetivo da população (N_e), aumento individual da F (ΔFi) e contribuição genéticas dos ancestrais e fundadores. **Resultados:** As GE forneceram valores de 4,7 (pais) e 5,7 (pLSH), os IG foram elevados de 9,5 a 10,7 anos. Os F foram de 1,13% (pT) e 5,26% (pLSH), os F pelos dados da associação (APSL) foram mais elevados com 10,24% (pT) e 11,03% (pLSH) e a relação de parentesco de 1,88% (pT) e 3,38% (pLSH). Os N_e de 79 e 43 e, ΔFi de 42 a 28 (Gerações) para pT e pLSH, respectivamente. O número de ancestrais que explicam a totalidade da diversidade genética foi 142 (pT) e 22 (pLSH) animais, considerado reduzido. Os 10 principais ancestrais explicaram 39,4% (pT) e 71,1% (pLSH) da diversidade genética das populações. **Conclusão:** Observada perda da diversidade genética em detrimento da funcionalidade (Salto de obstáculos) e concentração de reprodutores em número reduzido. Pode ser revertido com um programa simultâneo para melhoramento e preservação, por meio do delineamento dos acasalamentos dirigidos com seleção dos reprodutores.

Palavras-chave: ancestrais; consanguinidade; diversidade genética; equinos; tamanho efetivo da população.

INTRODUÇÃO

A possibilidade de selecionar os seus cavalos e a transformação aplicada pelo Homem ao longo do tempo, colocaram estes animais num patamar ímpar durante a sua evolução ao longo da história, destacando-se de qualquer outra espécie. O Puro-sangue Lusitano (PSL) é por muitos considerado um dos cavalos de sela mais antigos do mundo, reportadamente excelente na guerra e na caça (VICENTE, 2015). Consegue demonstrar de entre as suas características, a sua coragem, versatilidade e lealdade para com o cavaleiro.

A raça PSL foi evoluindo de tal forma, que acaba mesmo por adquirir uma versatilidade ímpar e, ao contrário do que se poderia imaginar, o facto de não permitir registos de cavalos exteriores à raça desde 1989 (ou seja, o registo dos cavalos é realizado em livro fechado, tendo como obrigatoriedade a inscrição dos seus progenitores no Livro de Reprodutores do Stud-Book da Raça Lusitana), não a impede de demonstrar todas as suas capacidades e manter as características dos seus ancestrais. As principais disciplinas equestres praticadas pelo cavalo PSL, são Equitação de trabalho (várias vezes campeões do mundo individual e equipas), Adestramento (uma das raças mais pontuadas pela FEI), Atrelagem (mais de uma vez campeões do mundo), entre outras. Não tendo como principais características, as que permitem obter capacidades de criar cavalos PSL campeões do mundo em Saltos de Obstáculos, a raça PSL por outro lado, forneceram versatilidade, coragem e ligeireza, para se tornar um excelente cavalo de Saltos de Obstáculos de nível médio para jovens cavaleiros, um mercado em constante expansão.

O monitoramento e avaliação da diversidade genética (Maignel; Boichard; Verrier, 1996) e principais ancestrais/fundadores (Boichard; Maignel; Verrier, 1997) permitem o delineamento e o desenvolvimento de programas de melhoramento genético de cavalos atletas, considerando a preservação e alterações da diversidade genética. Estudo avaliando a estrutura populacional e identificando os ancestrais mais importantes é considerado imprescindível no século XXI (Faria *et al.*, 2018a, 2018b).

Os objetivos do estudo foram avaliar a diversidade genética e descrever os principais ancestrais e fundadores da linhagem de cavalos de um criador com

um núcleo inicial de 16 éguas da raça Puro-sangue Lusitano e fornecer este estudo, como um modelo de avaliação de haras com pequenas dimensões.

MÉTODOS

Animais, (sub)populações, qualidade do pedigree e intervalo de gerações

Os dados de pedigree foram obtidos manualmente no Stud-book online da Associação Portuguesa de criadores do cavalos Puro-Sangue Lusitano (APSL) e inseridos todos os ancestrais que estavam disponíveis (APSL, 2025), tornando a análise robusta e precisa (100% dos ancestrais que a APSL torna públicos). A partir das 16 éguas avaliadas (população denominada pLSH), nascidas entre os anos de 2016 a 2021, foi criado um arquivo de pedigree com 483 ancestrais, nascidos de 1947 a 2015, em que o pedigree final compunha 499 cavalos e foi denominado de população total (pT).

Foram criadas ainda 2 subpopulações da pT para avaliar os pais (pP) com 26 animais e avós (pA) com 42 animais, referentes às 16 éguas da pLSH avaliadas. As subpopulações permitem análise dos animais que contribuíram ou podem contribuir mais para as gerações seguintes (SIDERITS; BAUMUNG; FUERST-WALT, 2013). A qualidade do pedigree é representada pela média das gerações equivalentes conhecidas (GE) e foi calculada segundo Maignel, Boichard e Verrier (1996). O intervalo de geração (IG) foi calculado considerando a idade dos pais quando nascem as progênes que se reproduzem (JAMES, 1972), e apresentado por quatro diferentes caminhos, Pai-filho, Pai-filha, Mãe-filho e Mãe-filha, mais as médias totais das populações avaliadas.

Diversidade genética

Parâmetros da consanguinidade

O coeficiente de consanguinidade (F) individual foi calculado segundo Meuwissen e Luo (1992), e o coeficiente de parentesco (AR) individual médio como descrito por Gutiérrez e Goyache (2005). O aumento individual por ano da consanguinidade (ΔFi) foi calculado conforme González-Recio, López De Maturana e Gutiérrez (2007) e o tamanho efetivo da população (N_e) com base no ΔFi e

calculado como proposto por Cervantes *et al.* (2008). O valor do N_e por ΔF_i foi utilizado no cálculo da deriva genética. Adicionalmente, foi calculado o N_e com base no aumento de consanguinidade por geração (WRIGHT, 1965). Foram ainda calculados outros valores médios de F , valores estes, que surgem na informação individual de cada animal presente no website da APSL (APSL, 2025).

A estrutura genética das subpopulações (pLSH, pP e pA) foi avaliada por meio da estatísticas F de Wright (WRIGHT, 1965), e calculada segundo Caballero e Toro (2000, 2002), permitindo avaliar as diferenças entre indivíduo, subpopulações e população total. Foram calculados os coeficientes de consanguinidade individual em relação ao total da população (FIT), média da consanguinidade da subpopulação em relação ao total da população (FST) e coeficiente de consanguinidade do indivíduo em relação à própria subpopulação (FIS).

Número de fundadores, probabilidade de origem do gene e deriva genética

O número de fundadores (N_f) é obtido pelos ancestrais que não têm pais conhecidos, foram fornecidas informações dos 10 principais fundadores da pT e pLSH. A probabilidade de origem do gene foi avaliada pelo número efetivo de fundadores (f_e) como indicado por Lacy (1989), pelo número efetivo de ancestrais (f_a) segundo Boichard, Maignel e Verrier (1997) e, pelo número efetivo de genomas fundadores (f_{ge}), calculado segundo Caballero e Toro (2000).

A deriva genética representa a mudança aleatória nas frequências alélicas da população, que ocorre em ritmo acelerado quando a população sofre redução drástica em seu tamanho efetivo (FRANKHAM, 1996). A desigual participação dos ancestrais fundadores, presença do efeito gargalo e a perda de alelos fundadores entre gerações nas populações, podem ser observados se o valor das razões N_f/f_e , f_e/f_a e f_{ge}/f_e , respectivamente, for diferente e distante do valor 1 (BOICHARD; MAIGNEL; VERRIER, 1997).

Contribuições genéticas dos principais ancestrais e árvore genealógica

Os principais ancestrais (fundadores ou não) que explicaram a diversidade genética total das populações e suas contribuições genéticas marginais acumuladas foram calculadas segundo Boichard, Maignel e Verrier (1997). As informações dos 10 principais ancestrais das (sub)populações avaliadas são apresentadas,

bem como suas contribuições genéticas marginais acumuladas. A árvore genealógica dos 499 animais foi apresentada, permitindo observação visual do parentesco e focos de linhagens entre os animais.

A preparação dos dados, estatísticas do pedigree e árvore genealógica foram realizados nos programas SPSS31 (IBM, 2026) e PedGraph (GARBE; DA, 2008). Os parâmetros da estrutura genética foram obtidos pelo programa ENDOG v4.8 (GUTIÉRREZ; GOYACHE 2005).

RESULTADOS

Animais, (sub)populações, qualidade do pedigree e intervalo de gerações

O número de cavalos da pT, pLSH, pP e pA foram de 499, 16, 26 e 42 animais, respectivamente. A distribuição por sexo indica percentagem maior de fêmeas, com tendência de diminuição da percentagem da pP para pA (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo estatístico dos animais, qualidade do pedigree, intervalo de gerações e tamanho efetivo da população do grupo de animais da raça Puro-sangue Lusitano.

Itens	Populações			
	Total (pT)	subpopulações		
		pA	pP	pLSH
Intervalo de anos de nascimento	1947 a 2021	1986 a 2009	2004 a 2015	2016 a 2021
Animais e qualidade do pedigree (número)				
Total	499	42	26	16
Machos	197	17	11	-
Fêmeas	302	25	15	16
GE, gerações equivalentes conhecidas	1,9	3,7	4,7	5,7
IG, Intervalo gerações (anos)				
Garanhões – Filhos	10,0	14,3	10,6	-
Garanhões – Filhas	10,7	12,0	12,1	-
Matrizes – Filhos	9,5	9,5	8,6	-
Matrizes – Filhas	9,8	9,7	9,5	-
Média IG	10,0	11,3	10,3	-
Ne, tamanho efetivo da população (indivíduos)				
Ne por ΔFi	79	48	79	43
Ne por geração	42	45	43	28

pLSH, população avaliada; pP, população de pais; pA, população de avós; ΔFi , aumento individual da consanguinidade.

Os valores das GE indicam boa qualidade de informações do pedigree da pLSH (5,7) e pP (4,7), moderada para pA (3,7) e baixa informação na pT (Tabela 1). Os valores do IG foram elevados, em torno de 10 anos, em todas as vias de seleção avaliadas e as matrizes apresentam valores do IG menores que os ganhões (Tabela 1).

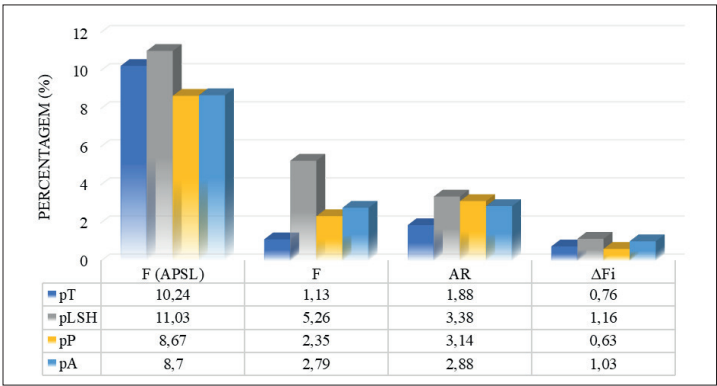
Os valores do Ne calculados pelo ΔFi foram superiores aos Ne obtidos por gerações, onde o maior valor observado foi igual na pT e pP (79) e o menor na pLSR em ambos os cálculos (Tabela 1). O valor do Ne por geração em todas as (sub)populações avaliadas apresentou limite inferior ao indicado (50 animais) pela FAO (FAO, 1998).

Diversidade genética

Parâmetros da consanguinidade

Os coeficientes de F apresentam valores consideravelmente superiores nos dados fornecidos pela APSL, comparativamente as análises realizadas no presente estudo. A pLSH apresentou valores superiores em todos os parâmetros analisados (Figura 1). A diferença entre os valores dos parâmetros F e ΔFi foram na pLSH perto do dobro e reduzidas no AR.

Figura 1 - Parâmetros de consanguinidade da linhagem de animais de um haras da raça Puro-Sangue Lusitano.



F, consanguinidade; AR, parentesco; ΔFi , aumento individual da consanguinidade; pT, população total, pLSH, população avaliada; pP, população de pais; pA, população de avós

Foram observados 128 valores para o grau de parentesco (AR) entre as 16 éguas da pLSH (Tabela 2), variando de 0,2% (entre os animais D e G) a 37,6%

(entre animais K e L). Foram observados 55 parentescos (AR) acima de 5,0%, destes, 28 valores do AR acima de 10,0%, destes 18 valores AR acima de 15,0%, destes 14 valores acima de 20,0% e metade destes valores AR acima de 30,0%. Os 7 valores acima de 30,0% foram fornecidos pelas éguas E, I, J, K e L (Tabela 2).

Tabela 2 - Grau de parentesco (%) entre as 16 éguas da pLSH avaliada da raça Puro-Sangue Lusitano.

pLSH	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
A	-	3,44	11,62	3,33	24,24	21,33	7,63	9,38	12,34	12,47	21,61	20,0	3,65	2,15	3,38	4,14
B	-	-	2,86	1,61	3,32	2,61	3,08	2,25	3,29	3,72	5,09	3,89	3,43	15,19	15,09	2,97
C	-	-	-	0,55	11,21	8,37	6,77	8,43	6,04	3,28	8,84	8,84	2,96	1,45	2,95	3,06
D	-	-	-	-	4,92	4,14	0,22	0,34	3,90	5,01	5,77	6,13	2,06	1,33	1,30	2,27
E	-	-	-	-	-	36,6a	10,3	11,88	9,87	9,93	16,6	36,0	3,61	1,95	3,02	4,03
F	-	-	-	-	-	-	8,10	9,46	7,88	8,30	13,4	14,7	3,60	1,98	2,78	3,15
G	-	-	-	-	-	-	-	25,9b	2,08	3,30	3,50	7,27	5,40	4,25	4,81	1,69
H	-	-	-	-	-	-	-	-	3,14	3,98	5,06	8,64	5,59	3,20	4,10	1,80
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,3c	33,4c	30,0c	4,21	3,21	4,47	5,15
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34,5c	31,2c	15,6	8,49	8,47	5,14
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37,6c	5,65	3,18	4,18	6,35
L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,89	2,66	3,41	5,40
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,2	13,5	4,06
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,0	2,57
O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,99
P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

a, meias irmãs por pai (Z); b, meias irmãs por pai (X); c, meias irmãs por pai (Y).

As diferenças genéticas observadas pelas estatísticas F de Wright, forneceram valores positivos mas reduzidos nas subpopulações avaliadas, valores iguais no FIT e diminuindo de pA para pP e para pLSH nos valores da FIS e FST (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo das estatísticas F de Wright da linhagem de cavalos Lusitano Sport Horse da raça PSL

Parâmetro	Subpopulações		
	pA	pP	pLSH
F de Wright (%)			
FIT	0,37	0,37	0,37
FIS	0,25	0,22	0,20
FST	0,12	0,17	0,16

FIT, coeficientes de consanguinidade individual em relação ao total da população; FST, média da consanguinidade da subpopulação em relação ao total da população; FIS coeficiente de consanguinidade do indivíduo em relação à própria subpopulação; .pA, população dos avós; pP, população dos pais; pLSH, população principal com 16 éguas.

Número de fundadores, probabilidade de origem do gene e deriva genética

Observando o Nf considerando que avaliamos uma população fechada, foi igual em todas as (sub)populações avaliadas (Tabela 4), com perda considerável e número reduzido quando avaliado 50% dos principais fundadores.

Tabela 4 - Resumo estatístico do número de fundadores, probabilidade de origem do gene e deriva genética da linhagem de cavalos pLSH da raça Puro-Sangue Lusitano.

Parâmetro	Populações			
	Total (pT)	subpopulações		
		pA	pP	pLSH
Fundadores (número)				
Total (Nf)	166	166	166	166
50%	37	20	17	14
Probabilidade de origem do gene (número)				
fe	67	44	41	35
fa	62	29	21	15
fge	53	18	12	7
Deriva genética (número)				
Nf / fe	2,48	3,77	4,05	4,74
fe / fa	1,08	1,52	1,95	2,33
fge / fe	0,79	0,41	0,29	0,20

fe, número efetivo de fundadores; fa, número efetivo de ancestrais; fga, número efetivo de genomas fundadores; Nf, número de fundadores; pA, população dos avós; pP, população dos pais; pLSH, população principal com 16 éguas.

Os valores da probabilidade de origem do gene pelo fe, fa e fge também apresentaram diminuição, onde os menores valores foram observados na pLSH. A deriva genética calculada por meio dos valores da probabilidade de origem do gene e do número de fundadores, pelas razões fe/Nf, fa/fe e fge/fe, forneceram resultados distantes de 1 (valor ideal), os valores mais próximos da unidade foram observados na pT e mais distantes na pLSH (Tabela 4).

Todos os fundadores são animais sem pais conhecidos ou ½ fundador se tiverem apenas um dos ascendentes desconhecidos. Os cinco principais fundadores da pT foram Firme, Estribilho, Abadia, Bailador e Guizo e para a pLSH mantiveram-se os mesmos, mas com alteração da contribuição do Guizo pelo Bailador, sendo que todos aumentaram a sua contribuição quando avaliados os fundadores da pLSH (Tabela 5). Os dez principais fundadores

representam contribuições genéticas elevadas, com 36,8% na pT tendo aumentado para 43,7% na pLSH.

Tabela 5 - Principais fundadores com indicação do nome, sexo, ano de nascimento, número de progénies e contribuições genéticas 10 principais fundadores da pT e pLSH da linhagem de animais pLSH da raça Puro-Sangue Lusitano.

	Animal	Sexo	Ano Nascimento	Número progénies	Contribuições fundadores
População Total (pT)	Firme	♂	1956	9	8,3%
	Estribilho	♂	1963	3	6,8%
	Abadia	♀	1959	2	4,7%
	Bailador	♂	1962	11	4,2%
	Guizo	♂	1947	3	3,2%
	Boca-negra	♂	1960	3	2,4%
	Grosa	♀	1964	1	2,0%
	Ervilha	♀	1963	2	2,0%
	Fúria	♂	1956	9	1,7%
	Anil	♂	1958	3	1,6%
	TOTAL	-	-	46	36,8%
População LSH (pLSH)	Firme	♂	1956	9	8,6%
	Estribilho	♂	1963	3	8,3%
	Abadia	♀	1959	2	6,0%
	Guizo	♂	1947	3	4,4%
	Bailador	♂	1962	11	3,8%
	Cimeira	♀	1961	1	2,7%
	Grosa	♀	1964	1	2,7%
	Boca-negra	♂	1960	3	2,6%
	Ervilha	♀	1963	2	2,3%
	Vassoura II	♀	1959	1	2,1%
	TOTAL	-	-	36	43,7%

♂, macho; ♀, fêmea.

Contribuições genética dos principais ancestrais e árvore genealógica

O número de animais ancestrais (fundadores ou não) explicando a totalidade (100%) da diversidade genética foi de 142, 50, 31 e 22 animais para pT, pLSH, pP e pA, respectivamente, com 50% da diversidade genética representado por

um reduzido número de animais (Tabela 6), com 24 na pT, 12 na pA, 9 na pP e 6 animais na pLSH.

As contribuições genéticas marginais acumuladas dos dez principais ancestrais foram elevadas (Tabela 7), aumentando consideravelmente nos animais recentes (pLSH). Foram observadas repetições nas (sub)populações avaliadas, em que os ancestrais Firme, Bailador, Martini e Abadia surgem na pT e pA, Quieto, Quieta e Quadrada II surgem na pA e pP e os garanhões Escorial e Peralta dos Pinhais surgem na pP e pLSH, indicando repetição de linhagem e consequente perda de diversidade genética (Tabela 7). Por sexo, destaca-se nos dez principais ancestrais um total de 8 machos na pT, 6 fêmeas na pA e igual distribuição para pP e pLSH.

Tabela 6 - Resumo estatístico dos principais ancestrais e suas contribuições genéticas da linhagem de cavalos Lusitano Sport Horse da raça Puro-Sangue Lusitano.

Parâmetro	Populações			
	Total (pT)	subpopulações		
		pA	pP	pLSH
Ancestrais (número)				
100% da diversidade genética	142	50	31	22
50% da diversidade genética	24	12	9	6
Contribuições genéticas marginais dos ancestrais mais influentes (%)				
10 ancestrais	30,4	45,6	56,5	71,1
50 ancestrais	71,2	100	-	-
100 ancestrais	91,8	-	-	-

fe, número efetivo de fundadores; fa, número efetivo de ancestrais; fga, número efetivo de genomas fundadores; a, menos de 500 animais explicam a diversidade total da subpopulação (sP00); Nf, número de fundadores; fe, número efetivo de fundadores; fa, número efetivo de ancestrais; fge, número efetivo de genomas fundadores.

Na pLSH surgem do 6º ao 10º ancestral com maior acumulado, 5 das 16 éguas avaliados (pLSH), sugerindo que os pais apresentam idêntica contribuição, porque este valor indica as contribuição acumuladas dos principais ancestrais, como indicado por Boichard, Maignel e Verrier (1997).

Tabela 7 - Principais ancestrais com indicação do nome, sexo, ano de nascimento, número de progénies e contribuições genéticas marginais acumuladas dos 10 principais ancestrais das (sub) populações avaliadas da linhagem de animais Lusitano Sport Horses da raça Puro sangue Lusitano.

	Animal	Sexo	Ano Nascimento	Número progénies pT	Contribuições genéticas marginais
População Total (pT)	Firme	♂	1973	9	4,9%
	Bailador	♂	1967	11	4,5%
	Estribilho	♂	1968	3	4,4%
	Martini	♂	1940	9	3,4%
	Abadia	♀	1988	2	2,5%
	Jogada	♀	1945	1	2,4%
	Brioso III	♂	1976	9	2,2%
	Fúria	♂	1977	3	2,2%
	Quadrado	♂	1972	5	2,0%
	Prodígio	♂	1993	5	1,9%
	All	-	-	57	30,4%
População Avós (pA)	Firme	♂	1956	9	8,3%
	Quieta	♀	1974	5	8,0%
	Quieto	♂	1974	7	5,4%
	Abadia	♀	1959	2	4,7%
	Bailador	♂	1962	11	4,3%
	Cenoura	♀	1984	2	3,6%
	Martini	♂	1993	9	3,4%
	Quadrada II	♀	1974	1	3,0%
	Juno	♀	1991	2	2,7%
	Tola	♀	1975	3	2,4%
	All	-	-	41	45,6%
População Pais (pP)	Escorial	♂	2009	4	9,6%
	Nilo	♂	1971	7	8,7%
	Peralta Pinha	♂	1996	4	7,7%
	Quieta	♀	1974	5	6,6%
	Quadrada II	♀	1974	1	4,3%
	Estoiro	♂	1986	3	4,3%
	Quieto	♂	1974	7	4,0%
	Hazulua	♀	2012	1	3,9%
	Hebe	♀	2012	1	3,9%
	Bolota	♀	2006	1	3,6%
	All	-	-	34	56,5%

	Animal	Sexo	Ano Nascimento	Número progênes pT	Contribuições genéticas marginais
População LSH (pLSH)	Interessante	♂	2013	4	12,5%
	Finório	♂	1987	6	10,9%
	Escorial	♂	2009	4	7,8%
	Peralta Pinha	♂	1996	4	6,3%
	Zuelo	♂	2004	2	6,3%
	Beirão AR	♂	2006	117	6,3%
	Bolota JCL	♀	2006	11	6,3%
	Almirante (SPA)	♂	2005	98	5,5%
	Peralta Pinha (BRA)	♂	1996	320	4,7%
	Zafico	♂	2004	23	4,7%
	All			589	71,1%

♂, macho; ♀, fêmea.

O número total de progênes dos principais ancestrais na pT é igual a 57 animais, diminuído para 41, 34 e 20 na pA, pP e pLSH, respetivamente (Tabela 7). O valor de 30,4% da diversidade genética da pT é explicado por apenas dez principais ancestrais, valores que foram superiores e elevados na pA, pP e pLSH com 45,6%, 56,5% e 71,1%, respetivamente.

DISCUSSÃO

Animais, (sub)populações, qualidade do pedigree e intervalo de gerações

O presente estudo estabelece um modelo de avaliação da estrutura populacional de um rebanho equino, permitindo utilizar dados de pedigree como ferramenta de gestão estratégica para o haras. Em contextos produtivos, onde a base do programa de melhoramento reside na qualidade e na diversidade do plantel de éguas, a análise pormenorizada da constituição genética revela-se indispensável. Mais do que uma simples descrição estatística, esta abordagem permite ao criador identificar, de forma precoce, gargalos como a redução do tamanho efetivo e a concentração excessiva de linhagens. Conhecendo os gargalos, torna-se possível traçar acasalamentos que equilibrem o mérito genético para a funcionalidade, neste caso, para Saltos de obstáculos, com a preservação da viabilidade do rebanho a longo prazo.

O tamanho do plantel avaliado (Tabela 1) reflete a realidade da fase inicial de criação de um haras, de forma que a robustez dos resultados deste modelo de análise está diretamente ancorada na qualidade das informações genealógicas disponíveis, quantificada aqui pelo número de gerações equivalentes conhecidas (GE). Tanto a população total quanto as subpopulações avaliadas registraram valores de GE superiores aos reportados para as raças Brasileiro de Hipismo (1,72) e Crioulo (3,51) no Brasil (MEDEIROS *et al.*, 2014; MACIEL *et al.*, 2014). O valor de GE da pLSH foi idêntico aos das raças PSL no Brasil e Maremmano na Itália, com 5,7 gerações conhecidas (FARIA *et al.*, 2018b; GIONTELLA *et al.*, 2019). Populações das raças Old Kladruber e Puro Sangue Árabe turco apresentaram pedigrees mais profundos, com 15,1 e 7,8 gerações conhecidas, respectivamente (VOSTRÁ-VYDROVÁ *et al.*, 2016; DURU, 2017). A utilização de dados consistentes, provenientes de registros oficiais, garante a acurácia dos parâmetros populacionais, sendo um requisito fundamental para evitar distorções na avaliação da diversidade e dos níveis de consanguinidade. Em populações de pequena escala, onde o impacto de cada decisão de acasalamento é amplificado, um pedigree bem documentado não é apenas um requisito burocrático, mas sim uma ferramenta de diagnóstico. Ao assegurar um histórico genealógico profundo e confiável, o criador identifica com precisão a ancestralidade e potenciais fragilidades genéticas, transformando o registro genealógico em um ativo estratégico para a gestão do sucesso reprodutivo e produtivo das matrizes.

O intervalo de gerações (IG) observado neste estudo (Tabela 1) evidencia a preferência por reprodutores comprovados, mas esta preferência impõe um desafio direto ao progresso genético do haras. Longos IG são comuns em equinos, por exemplo, Vicente, Carolino e Gama (2012) e Faria *et al.* (2018b) registraram valores médios de 10,5 anos e 10,1 anos para a raça PSL em Portugal e no Brasil, similar aos valores avaliados neste trabalho. Gómez *et al.* (2020) observaram que raças criadas para esporte tendem a apresentar valores de IG superiores, como Spanish Sport Horse, Anglo-Arab Horse e Spanish Trotter Horse, com 11,84; 11,17 e 13,01 anos, respectivamente. Do ponto de vista prático, quanto maior o tempo que um garanhão ou matriz permanecem em reprodução, mais lento se torna o ciclo de renovação genética da população. A manutenção prolongada, especialmente de garanhões maduros, embora traga estabilidade na venda de

potros e segurança na transmissão de linhagens consagradas, reduz o ganho genético anual. Para acelerar a evolução do plantel em direção aos objetivos de seleção, como a aptidão funcional para Saltos de obstáculos, é necessário equilibrar o uso de reprodutores de elite com a introdução planejada de animais jovens. Dessa forma, o haras não apenas reduz o intervalo entre gerações, mas também impulsiona o melhoramento de forma contínua, permitindo que as gerações futuras expressem mais rapidamente as características desejadas.

O tamanho efetivo da população (N_e) representa o número de indivíduos idealmente necessários em uma população para manter a taxa de consanguinidade observada no rebanho real (Tabela 1). A recomendação da FAO de um mínimo de $N_e = 50$ deve ser vista como um limite de segurança para a sustentabilidade da criação (FAO, 2021). Quando o N_e cai abaixo deste patamar, o rebanho torna-se vulnerável a riscos no curto prazo: o aumento da consanguinidade e da deriva genética que comprometem a variabilidade genética aditiva, fundamental para o progresso genético. Como exemplo, as raças Spanish Sport Horse e Holstein registraram N_e por Δf_i de 64 e 55 animais, respectivamente (GÓMEZ *et al.*, 2020; ROOS *et al.*, 2015), resultados próximos aos dos animais avaliados. Na criação de cavalos de esporte, isso significa que a capacidade de resposta à seleção é limitada pela falta de diversidade genética, podendo reduzir o teto de produtividade que o criador poderia alcançar a longo prazo. Portanto, a gestão deste indicador é fundamental, exigindo estratégias que otimizem a contribuição genética dos reprodutores disponíveis, evitando a concentração em reduzidas linhagens.

Diversidade genética

Parâmetros da consanguinidade

A análise da consanguinidade (F) revelou que os valores obtidos via software, quando comparados aos registros oficiais da APSL, foram distintos devido às variações na profundidade e grau de preenchimento das informações genealógicas (Figura 1). Este resultado evidencia que a acurácia do diagnóstico de consanguinidade em um haras depende diretamente da qualidade do banco de dados disponível ao criador. A observação de que a pLSH apresentou índices de consanguinidade superiores às demais subpopulações confirma a tendência

de concentração de determinadas linhagens na formação do plantel. A consanguinidade obtida para o total da raça PSL em Portugal foi 11,34 (VICENTE; CAROLINO; GAMA, 2012), similar ao resultado do deste estudo, sugerindo que a formação da pLSH tem origem em padrões de acasalamentos utilizados por grande parte dos criadores da raça.

Em populações fechadas, como um haras, o aumento no número de gerações conhecidas (GE) é fator que altera a precisão dos cálculos de consanguinidade. No Brasil, a raça PSL apresentou valores de 4,06 (F), 5,41 (AR) e de 0,96 (Δfi), resultados próximos aos da pLSH, e indicativo de que maior número de gerações conhecidas em populações fechadas pode alterar resultados da diversidade genética. Isso reforça a necessidade de um controle rigoroso e contínuo sobre o histórico genealógico: quanto mais robusta for a base de dados, mais fidedigno será o nível de parentesco e consanguinidade obtidos dos animais, permitindo evitar acasalamentos que possam comprometer a saúde e o vigor da futura geração.

Os valores de parentesco (AR) observados entre as matrizes avaliadas confirmam que o rebanho possui uma base genética estreita, com metade das éguas sendo meio-irmãs entre si (Tabela 2). Para um haras em fase inicial e que busca fixar características de desempenho no Saltos de obstáculos, tal uniformidade pode ser explorada por expandir a base genética ou por padronizar as progênies. A primeira estratégia utilizaria garanhões distintos para cada grupo de meio-irmãs, o que dilui o parentesco e aumenta a diversidade do plantel futuro. A segunda estratégia reprodutiva selecionaria o mesmo reprodutor em matrizes aparentadas para testar a consistência da progênie e identificar quais linhagens melhor expressam as capacidades físicas desejadas. Independentemente da escolha, a seleção de múltiplas éguas por garanhão nesta fase é fundamental para que o criador possa avaliar, com segurança, quais acasalamentos geram progênies com potencial para o esporte, permitindo realizar descarte orientado e seleção mais rigorosa das futuras reposições.

A análise das estatísticas FIS e FST (Tabela 3) oferece um diagnóstico geral da estrutura genética do rebanho. A variação observada nestes índices, com diminuição progressiva dos valores entre as gerações de Avós (pA), Pais (pP) e éguas (pLSH), confirma seleção voltada para o uso recorrente de linhagens

aparentadas. Na prática, o FIS, quando monitorado, revela o sucesso ou a falha de esquemas de acasalamento em controlar a consanguinidade (Figura 1). Simultaneamente, a reduzida diferença nos valores de FST entre as subpopulações sugere compartilhamento de ancestrais comuns (CERVANTES *et al.*, 2008), resultado que pode ser associado à utilização intensiva de reprodutores via biotecnologias reprodutivas. Compreender estes índices é essencial visto que, enquanto a seleção busca fixar fenótipos superiores, o monitoramento do FST permite identificar a necessidade de aumentar a diversidade genética ou separar linhagens, equilibrando o ganho genético com a viabilidade do plantel a longo prazo. Considerando que a raça PSL em Portugal não possui animais sem parentesco entre si, são reduzidas as alternativas no mercado nacional para minimizar a consanguinidade sem comprometer o elevado padrão atlético conquistado, e torna-se necessário ampliar a busca por novos reprodutores. A utilização de indivíduos menos aparentados, provenientes de outros mercados, é medida essencial para manter a variabilidade genética da raça PSL. A introdução planejada de novas linhagens é a solução mais eficaz para que o criador continue evoluindo o seu plantel, garantindo a saúde e o vigor dos animais e sem renunciar às características de desempenho exigidas para o esporte.

Número de fundadores, probabilidade de origem do gene e deriva genética

No presente estudo os valores decrescentes do Nf, para fe, para fa e para fge em todas as (sub)populações (Tabela 4), indicam uso preponderante de determinadas linhagens de ancestrais. A diferença entre o Nf e o fe sugere contribuições distintas dos fundadores nas (sub)populações avaliadas. Os valores de fa, indicam que reduzido número de ancestrais é responsável por grande parte da diversidade genética com perdas acentuadas na pLSH (Tabela 4). Os reduzidos valores do fge, nas três subpopulações, indicam elevada perda de alelos dos fundadores. Em comparações com outras populações da raça, os resultados apresentados são superiores aos relatados por Vicente, Carolino e Gama (2012) em Portugal, com valores de 28 (fe), 12 (fa) e 5 (fge), e na população total da raça PSL no Brasil (FARIA *et al.*, 2018b), com valores de 30 (fa), 19 (fge). Ainda assim, para o criador, este diagnóstico é um alerta: a progressiva redução nestes valores quantifica a perda de alelos originais da raça devido à deriva genética

e à seleção intensiva. Ignorar este processo pode comprometer a resiliência do plantel a longo prazo. Portanto, a gestão do rebanho deve priorizar o equilíbrio da contribuição genética dos ancestrais, buscando linhagens menos representadas no pedigree. Planejar acasalamentos que protejam este patrimônio genético é a forma mais eficaz de garantir que o progresso funcional no Saltos de obstáculos não ocorra em detrimento da variabilidade genética essencial para a sustentabilidade e a longevidade competitiva do haras. Os valores dos indicadores de deriva genética (f_e/N_f) e de redução de alelos fundadores entre gerações (f_{ge}/f_e) confirmam a perda progressiva da variabilidade original e a contribuição desigual de fundadores na população avaliada (Tabela 4). As perdas com base no parâmetro f_{ge}/f_e também foram relatadas nas raças Holstein, Old Kladruber e Quarto de Milha (ROOS *et al.*, 2015; VOSTRÁ-VYDROVÁ *et al.*, 2016; FARIA *et al.*, 2018a). O efeito de gargalo genético (f_e/f_a) observado é um reflexo da utilização intensa de número restrito de reprodutores, um cenário comum em populações submetidas à seleção rigorosa, como o caso de equinos criados para esportes. Estes efeitos foram igualmente observados na raça Lusitana, American Shire e Quarto de Milha (VICENTE; CAROLINO; GAMA 2012; STEPHENS; SPLAN, 2013; FARIA *et al.*, 2018a), reforçando a hipótese de uso de poucos reprodutores. Para o criador, estes dados reiteram que a diversidade genética não é fixa e pode ser consumida a cada acasalamento.

Monitoramentos regulares destes parâmetros são essenciais para evitar a escalada da consanguinidade e o declínio do tamanho efetivo do plantel, permitindo tomadas de decisão preventivas, evitando que a perda de variabilidade comprometa a sustentabilidade e a capacidade de resposta do plantel às demandas da seleção.

Contribuições genética dos principais ancestrais e árvore genealógica

A análise da contribuição dos 10 principais ancestrais (Tabela 5), revela uma concentração acentuada da diversidade genética em número restrito de linhagens. Estudos da raça PSL em Portugal (VICENTE; CAROLINO; GAMA, 2012) indicaram 62% para os 10 principais fundadores dos animais nascidos de 2005 a 2009, superior ao observado neste trabalho. O estudo da raça no Brasil (FARIA *et al.*, 2018), indicou 43,5 para os 10 fundadores com maior contribuição

de 2003 a 2012, sendo um valor idêntico a pLSH (Tabela 5). Esta predominância, observada tanto pLSH quanto em diversas populações da raça, é indicativo de que a seleção se concentra recorrentemente em reprodutores com idênticas linhagens. Os valores são indicativos de dependência genética: quanto maior a parcela da variabilidade explicada por apenas 10 animais, mais limitada é a capacidade do criador em realizar novas seleções sem elevar os níveis de consanguinidade.

Corrigir este cenário exige que os programas de melhoramento complementem a seleção pelo desempenho individual dos reprodutores com o delineamento estratégico dos acasalamentos. Essa abordagem deve ser utilizada como ferramenta ativa de preservação da variabilidade pela introdução planejada de fundadores distintos. Tais medidas são imperativas para garantir que o rebanho mantenha a flexibilidade necessária para sustentar a evolução funcional do plantel a longo prazo.

As contribuições genéticas marginais acumuladas (Tabela 6) confirmam que um grupo restrito de animais detém a maior responsabilidade pela diversidade do plantel avaliado. Especificamente na pLSH, os cinco principais ancestrais identificados são os garanhões Interessante, Finório, Escorial, Peralta dos Pinhais e Zuelo, enquanto na pT destacam-se Firme, Bailador, Estribilho, Martini e a matriz Abadia (Tabela 7). Identificar estes ancestrais permite ao criador mapear linhagens e mensurar a influência de reprodutores predominantes no seu rebanho em comparação com o restante da raça PSL (VICENTE; CAROLINO; GAMA, 2012; FARIA *et al.*, 2018), permitindo uma gestão mais precisa sobre a base genética do plantel. A elevada contribuição desses poucos indivíduos deve ser o ponto de partida para a seleção dos futuros reprodutores. Ao direcionar os acasalamentos das éguas pLSH para linhagens que equilibrem essas influências, promove-se o aumento da diversidade nas futuras progênes, garantindo a renovação genética necessária para o sucesso do haras.

CONCLUSÃO

No geral, os criadores da raça PSL possuem pouco controle dos intervalos de geração, ocasionando pequeno ganho genético dos cavalos ao longo das décadas. A perda da diversidade genética e concentração em reduzido número

de reprodutores denota falha dos programas de melhoramento e definição de determinadas linhagens. Não sendo elevado, o número de animais ainda existentes em Portugal, Brasil e França, com fundadores/ancestrais distintos aos da linhagem da LSH, indica possível solução da diversidade genética. Delineamento dos acasalamentos em conjunto com seleção dos reprodutores deve ser promovido, definindo metas para os cavalos de Saltos de Obstáculos Lusitano Sport Horses da raça Puro Sangue Lusitano.

Agradecimentos

Ao criador José Gomes da Coudelaria/Haras Lusitano Sport Horse pela autorização de utilização dos dados para a publicação do presente estudo, o nosso muito obrigado.

REFERÊNCIAS

APSL – ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE CRIADORES DE CAVALOS PURO-SANGUE LUSITANO. APSL. 2025.

BARTOLOMÉ, E. *et al.* Influence of foreign breeds on the genetic structure of the Spanish Sport Horse population. **Livestock Science**, v. 142, p. 70–79, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.06.021>. Acesso em: 16 abr. 2026.

BOICHARD, D.; Maignel, L.; VERRIER, E. The value of using probabilities of gene origin to measure genetic variability in a population. **Genetics Selection Evolution**, v. 29, p. 5–23, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1297-9686-29-1-5>. Acesso em: 16 abr. 2026.

CABALLERO, A.; TORO, M. Analysis of genetic diversity for the management of conserved subdivided populations. **Conservation Genetics**, v. 3, p. 289–299, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1019956205473>. Acesso em: 16 abr. 2026.

CABALLERO, A.; TORO, M. Interrelations between effective population size and other pedigree tools for the management of conserved populations. **Genetic Research**, v. 75, p. 331–343, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0016672399004449>. Acesso em: 16 abr. 2026.

CERVANTES, I. *et al.* Application of individual increase in inbreeding to estimate realized effective sizes from real pedigrees. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 125, p. 301–310, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.2008.00755.x>. Acesso em: 16 abr. 2026.

DURU, S. Pedigree analysis of the Turkish Arab horse population: structure, inbreeding and genetic variability. **Animal**, v. 11, p. 1449–1456, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S175173111700009X>. Acesso em: 16 abr. 2026.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION (FAO). Animal Production and Health Division. **Secondary guidelines for development of national farm animal genetic resources management plans: management of small populations at risk**. Roma: FAO, 1998. 219 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-w9361e.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2026.

FARIA, R. A. S. *et al.* Assessment of pedigree information in the Quarter Horse: population, breeding and genetic diversity. **Livestock Science**, v. 214, p. 135–141, 2018a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.06.001>. Acesso em: 16 abr. 2026.

FARIA, R. A. S. *et al.* Genetic diversity of Lusitano Horse in Brazil using pedigree information. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 69, p. 149–158, 2018b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.07.009>. Acesso em: 16 abr. 2026.

FRANKHAM, R. Introduction to quantitative genetics. **Trends in Genetics**, v. 12, p. 280, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0168-9525\(96\)81458-2](https://doi.org/10.1016/0168-9525(96)81458-2). Acesso em: 16 abr. 2026.

GARBE, J. R.; DA, Y. **Pedigraph: a software tool for the graphing and analysis of large complex pedigree: user manual, version 2.4**. [S. l.]: Department of Animal Science, 2008.

GIONTELLA, A. *et al.* Analysis of founders and performance test effects on an autochthonous horse population through pedigree analysis: structure, genetic variability and inbreeding. **Animal**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731118001180>. Acesso em: 16 abr. 2026.

GÓMEZ, M. D. *et al.* Phenotypic and genetic analysis of reproductive traits in horse populations with different breeding purposes. **Animal**, v. 14, p. 1351–1361, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731120000087>. Acesso em: 16 abr. 2026.

GONZÁLEZ-RECIO, O.; LÓPEZ DE MATURANA, E.; GUTIÉRREZ, J. P. Inbreeding depression on female fertility and calving ease in Spanish dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0203>. Acesso em: 16 abr. 2026.

GOYACHE, F. *et al.* Using pedigree information to monitor genetic variability of endangered populations: the Xalda sheep breed of Asturias as an example. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 120, p. 95–105, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0388.2003.00378.x>. Acesso em: 16 abr. 2026.

GUTIÉRREZ, J. P. *et al.* Pedigree analysis of eight Spanish beef cattle breeds. **Genetics Selection Evolution**, v. 35, p. 43–63, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/gse>. Acesso em: 16 abr. 2026.

GUTIÉRREZ, J. P.; GOYACHE, F. A note on END OG: a computer program for analysing pedigree information. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.2005.00512.x>. Acesso em: 16 abr. 2026.

IBM. **IBM SPSS Statistics**. [S. l.]: IBM, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02331889108802322>. Acesso em: 16 abr. 2026.

JAMES, J. W. Computation of genetic contributions from pedigrees. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 42, p. 272–273, 1972. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00277555>. Acesso em: 16 abr. 2026.

LACY, R. C. Analysis of founder representation in pedigrees: founder equivalents and founder genome equivalents. **Zoo Biology**, v. 8, p. 111–123, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/zoo.1430080203>. Acesso em: 16 abr. 2026.

MACIEL, F. C. *et al.* Population structure and genealogical analysis of the Brazilian Crioula Horse. **Animal Genetic Resources**, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S2078633613000489>. Acesso em: 16 abr. 2026.

MAIGNEL, L.; BOICHARD, D.; VERRIER, E. Genetic variability of French dairy breeds estimated from pedigree information. *In*: **INTERBULL BULLETIN**. [S. l.]: Interbull, 1996. p. 48–56.

MEDEIROS, B. R. *et al.* Brazilian Sport Horse: pedigree analysis of the Brasileiro de Hipismo breed. **Italian Journal of Animal Science**, v. 13, p. 657–664, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3146>. Acesso em: 16 abr. 2026.

MEUWISSEN, T.; LUO, Z. Computing inbreeding coefficients in large populations. **Genetics Selection Evolution**, v. 24, p. 305–313, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1297-9686-24-4-305>. Acesso em: 16 abr. 2026.

ROOS, L. *et al.* Investigations into genetic variability in Holstein horse breed using pedigree data. **Livestock Science**, v. 177, p. 25–32, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.04.013>. Acesso em: 16 abr. 2026.

SIDERITS, M.; BAUMUNG, R.; FUERST-WATTL, B. Pedigree analysis in the German Paint Horse: genetic variability and the influence of pedigree quality. **Livestock Science**, v. 151, p. 152–157, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.10.018>. Acesso em: 16 abr. 2026.

STEPHENS, T. D.; SPLAN, R. K. Genetic variability of the American Shire Horse via pedigree analysis. **Journal of Equine Veterinary Science**, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2013.03.029>. Acesso em: 16 abr. 2026.

TAVEIRA, R. Z.; MOTA, M. D. S.; OLIVEIRA, H. N. Population parameters in Brazilian Thoroughbred. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 121, p. 384–391, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.2004.00472.x>. Acesso em: 16 abr. 2026.

VICENTE, A. A.; CAROLINO, N.; GAMA, L. T. Genetic diversity in the Lusitano horse breed assessed by pedigree analysis. **Livestock Science**, v. 148, p. 16–25, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.05.002>. Acesso em: 16 abr. 2026.

VICENTE, A. P. A. **Characterization and selection of the Lusitano horse breed**. 2015. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/8646>. Acesso em: 16 abr. 2026.

VOSTRÁ-VYDROVÁ, H. *et al.* Pedigree analysis of the endangered Old Kladruber horse population. **Livestock Science**, v. 185, p. 17–23, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.01.001>. Acesso em: 16 abr. 2026.

WRIGHT, S. The interpretation of population structure by F-statistics with special regard to systems of mating. **Evolution**, v. 19, n. 3, p. 395–420, 1965. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1965.tb01731.x>. Acesso em: 16 abr. 2026.

BIOFERTILIZANTES PRODUZIDOS A PARTIR DA CAMA DE GALINHAS CAIPIRAS POEDEIRAS: BASES BIOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E APLICAÇÕES NA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

Adelir José dos Santos

Instituto federal Goiano (IFGOIANO)

Weslane Justina da Silva

Instituto federal Goiano (IFGOIANO)

Ana Maria Vilas Boas Moraes

Instituto federal Goiano (IFGOIANO)

Lara Vilas Boas Moraes

Instituto federal Goiano (IFGOIANO)

Stéfane Alves Sampaio

Instituto federal Goiano (IFGOIANO)

Jessica Cristina Alvarenga

Instituto federal Goiano (IFGOIANO)

Josilene Silva Sousa

Instituto federal Goiano (IFGOIANO)

Julia Marixara Sousa da Silva

Instituto federal Goiano (IFGOIANO)

Cibele Silva Minafra

Instituto federal Goiano (IFGOIANO)

RESUMO

A produção de biofertilizantes a partir da cama de galinhas caipiras poedeiras constitui uma alternativa sustentável para o manejo de resíduos da avicultura e para a reciclagem de nutrientes na agricultura. O crescimento da produção de ovos intensifica a geração de cama aviária, composta por excretas, penas, restos de ração, água e materiais absorventes, cuja destinação inadequada pode causar contaminação do solo e da água, emissão de gases e perdas de nutrientes. Neste capítulo, discutem-se a composição físico-química da cama, os fatores que influenciam sua qualidade e os processos bioquímicos e microbiológicos envolvidos na degradação da matéria orgânica. O biofertilizante resultante pode melhorar a fertilidade do solo, estimular a atividade microbiana, aumentar a disponibilidade de nutrientes e favorecer o crescimento vegetal. Além disso, seu uso contribui para a redução da dependência de fertilizantes minerais, a mitigação de impactos ambientais e o fortalecimento da economia circular. Entretanto, sua aplicação deve considerar composição, dose, características do solo e riscos de salinização, lixiviação, patógenos e acúmulo de minerais em aplicações sucessivas no sistema agrícola.

Palavras-chave: cama de aviário; biodigestão anaeróbia; fertilidade do solo; economia circular.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial por alimentos impulsionou a intensificação da produção animal, consolidando a avicultura como um dos setores mais tecnificados do agronegócio. Avanços em melhoramento genético, nutrição, manejo sanitário, ambiência e automação elevaram significativamente a produtividade, tornando a carne de frango e os ovos importantes fontes de proteína de alto valor biológico. Entretanto, a expansão da atividade aumentou a geração de resíduos orgânicos, especialmente a cama de aviário, cujo manejo adequado tornou-se um importante desafio ambiental (NAEEM *et al.*, 2026; RAHMAN *et al.*, 2022).

O Brasil destaca-se entre os maiores produtores mundiais de carne de frango e ovos. Apesar da elevada eficiência produtiva, o aumento da produção resulta em maior geração de dejetos que, quando descartados inadequadamente, podem causar contaminação do solo e da água, emissão de gases de efeito estufa e proliferação de microrganismos patogênicos. Nesse cenário, o aproveitamento desses resíduos por meio de tecnologias sustentáveis torna-se fundamental para reduzir impactos ambientais e promover a economia circular (DOS SANTOS *et al.*, 2023; TANVEER *et al.*, 2022).

Nos sistemas de criação de galinhas caipiras poedeiras, a cama de aviário é composta por fezes, uratos, penas, restos de ração e materiais absorventes, como maravalha, serragem e casca de arroz. Sua composição varia conforme o sistema de criação, manejo e alimentação das aves, apresentando elevados teores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e micronutrientes, características que conferem elevado potencial para uso agrícola (BONNEFOUS *et al.*, 2022).

Entre as alternativas de aproveitamento, destaca-se a biodigestão anaeróbia, processo que converte parte da matéria orgânica em biogás e gera um material residual denominado digestato. Neste capítulo, o termo biofertilizante é reservado ao digestato que, após caracterização físico-química, agrônômica e sanitária e, quando necessário, pós-tratamento, apresenta condições adequadas para uso agrícola. A biodigestão pode reduzir carga orgânica, odores e determinados microrganismos, mas não garante, isoladamente, sanitização completa nem qualidade fertilizante universal (SONG *et al.*, 2023).

Quando o digestato atende aos critérios de qualidade e é aplicado em dose compatível com o solo e a cultura, pode fornecer nutrientes e matéria orgânica e contribuir para atributos físicos, químicos e biológicos do solo. A substituição de fertilizantes minerais, entretanto, não deve ser presumida: depende da concentração e da forma química dos nutrientes, da mineralização, da eficiência de uso pela cultura e do balanço de nutrientes no sistema.

Apesar do avanço das pesquisas sobre aproveitamento de resíduos avícolas, ainda há lacunas na integração entre composição da cama de galinhas poedeiras, estabilidade bioquímica e microbiológica da biodigestão, segurança sanitária do digestato e critérios agrônômicos para sua aplicação. A elevada variabilidade da matéria-prima e das condições operacionais dificulta a definição de valores universais de composição, desempenho e dose. Assim, este capítulo analisa criticamente a literatura sobre geração e composição da cama, transformações bioquímicas e microbiológicas, biodigestão anaeróbia, qualidade e segurança do biofertilizante e estratégias de manejo no solo, destacando limitações, riscos e oportunidades para seu uso sustentável.

METODOLOGIA DA REVISÃO

Foi realizada uma revisão narrativa de caráter crítico, com levantamento complementar da literatura científica nas bases PubMed, ScienceDirect e SpringerLink e em portais de periódicos. A busca priorizou publicações de 2022 a 2026; trabalhos anteriores foram mantidos quando necessários para fundamentar mecanismos consolidados ou fornecer dados experimentais diretamente relacionados à cama/esterco de aves e à biodigestão anaeróbia. Foram empregados, isoladamente e em combinação, os descritores em inglês *poultry litter*, *chicken manure*, *laying hens*, *free-range laying hens*, *anaerobic digestion*, *co-digestion*, *digestate*, *biofertilizer*, *nutrient composition*, *ammonia inhibition*, *pathogens*, *antibiotic resistance*, *electrical conductivity* e *land application*. Foram priorizados artigos revisados por pares com dados sobre composição físico-química, rotas bioquímicas e microbiológicas, desempenho da biodigestão, segurança sanitária/química, uso agrônômico e impactos ambientais. Estudos sem relação direta com resíduos avícolas foram utilizados apenas para mecanismos gerais quando faltavam evidências específicas. Por se tratar de revisão narrativa, não houve

metanálise; a síntese confrontou resultados, condições experimentais, limitações e possibilidade de extrapolação para sistemas de galinhas caipiras poedeiras.

DESENVOLVIMENTO

Avicultura de Postura e Geração de Resíduos

A avicultura de postura é um dos principais segmentos da produção animal, desempenhando papel estratégico na segurança alimentar pela elevada eficiência na produção de ovos. Avanços em genética, nutrição, sanidade, manejo e automação aumentaram significativamente a produtividade, mas também intensificaram a geração de resíduos orgânicos, tornando seu manejo um importante desafio ambiental (NASSAR, 2026).

O Brasil destaca-se entre os maiores produtores mundiais de ovos e carne de frango. O crescimento da atividade elevou a produção de resíduos, como fezes, cama de aviário, penas, restos de ração e águas residuárias, que, quando manejados inadequadamente, podem contaminar o solo e os recursos hídricos, favorecer a emissão de gases de efeito estufa e a disseminação de microrganismos patogênicos. Dessa forma, o aproveitamento sustentável desses resíduos tornou-se essencial para a sustentabilidade da cadeia avícola (MENEZES *et al.*, 2026; DOS SANTOS *et al.*, 2023).

Entre os resíduos gerados, a cama de aviário destaca-se pelo elevado volume e potencial agrônômico. Trata-se de uma mistura de excretas, uratos, penas, restos de ração e materiais absorventes, como maravalha, serragem e casca de arroz. Sua composição varia conforme o sistema de criação, material utilizado, dieta, idade das aves e manejo, apresentando elevados teores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes, o que a torna uma importante fonte de nutrientes para uso agrícola (MAJ, 2022; MOZHIARASI; NATARAJAN, 2025).

Na criação de galinhas caipiras poedeiras, a menor densidade interna, o acesso a piquetes e a diversidade de substratos e manejos diferenciam a distribuição das excretas e a composição do material coletado em relação a sistemas intensivos e a frangos de corte. Poedeiras recebem dietas com maior aporte de cálcio e permanecem por ciclos produtivos mais longos, enquanto

parte das excretas pode ser depositada fora do galpão. Consequentemente, a cama efetivamente removida do alojamento pode ser mais heterogênea quanto à umidade, relação C:N e concentração de minerais. Como a literatura específica para cama de poedeiras caipiras ainda é limitada, resultados obtidos com esterco de galinhas, cama de frangos ou outros sistemas de postura são utilizados neste capítulo de forma comparativa, e não como equivalentes diretos.

Além de proporcionar conforto térmico e controle da umidade, os materiais utilizados como substrato influenciam a relação carbono:nitrogênio da cama, afetando a atividade microbológica e a eficiência dos processos de compostagem e biodigestão anaeróbia. Do ponto de vista químico, a cama apresenta elevadas concentrações de nitrogênio, fósforo, cálcio, potássio, magnésio e outros nutrientes essenciais às plantas, além de elevada matéria orgânica, que contribui para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo quando o resíduo é adequadamente estabilizado (GAO *et al.*, 2026; SPIEHS *et al.*, 2023).

Apesar do elevado potencial fertilizante, a aplicação inadequada da cama de aviário pode provocar perdas de nitrogênio por volatilização, lixiviação de nitratos, emissão de óxido nitroso, acúmulo de fósforo e contaminação ambiental por patógenos ou resíduos de medicamentos veterinários. Esses fatores reforçam a necessidade de tratamentos prévios que garantam maior segurança ambiental e agrônômica (KACPRZAK *et al.*, 2023).

Caracterização Físico-Química da Cama de Galinhas Caipiras Poedeiras

A caracterização físico-química da cama de galinhas caipiras poedeiras é fundamental para avaliar seu potencial como matéria-prima na produção de biofertilizantes. Trata-se de um resíduo orgânico constituído por excretas, materiais absorventes, restos de ração, penas, água e ovos quebrados, cuja composição varia conforme o sistema de criação, dieta das aves, tipo de substrato, manejo, idade do lote e condições ambientais. Essa variabilidade influencia diretamente seu potencial fertilizante e a eficiência dos processos de compostagem e biodigestão anaeróbia (THOMAS; SUNIL, 2023; THOMAS *et al.*, 2024).

Fisicamente, a cama apresenta estrutura heterogênea, formada por partículas vegetais misturadas aos dejetos das aves. A textura e a porosidade dependem do

material utilizado, como maravalha, serragem ou casca de arroz, influenciando a retenção de umidade, aeração e atividade microbiológica. A umidade é um dos principais indicadores de qualidade, pois níveis elevados favorecem a produção de amônia e a proliferação de microrganismos indesejáveis, enquanto valores muito baixos reduzem a atividade microbiana e retardam a decomposição da matéria orgânica (SPIEHS *et al.*, 2023; KHOSHRU *et al.*, 2023).

Quimicamente, a cama caracteriza-se pelo elevado teor de matéria orgânica e nutrientes essenciais às plantas. A matéria orgânica constitui a principal fonte de carbono para os microrganismos responsáveis pela decomposição e desempenha papel importante na melhoria da estrutura do solo, aumentando a retenção de água, a capacidade de troca catiônica e a agregação das partículas (ZHOU *et al.*, 2024).

Entre os macronutrientes, destaca-se o nitrogênio, presente principalmente na forma de ácido úrico. Durante a decomposição, esse composto é mineralizado, originando amônio e, posteriormente, nitrato, formas disponíveis para absorção pelas plantas. O fósforo também ocorre em elevadas concentrações devido às exigências nutricionais das poedeiras para formação da casca dos ovos, enquanto o cálcio apresenta níveis superiores aos observados em resíduos de frangos de corte. Além disso, a cama contém quantidades expressivas de potássio, magnésio, enxofre e micronutrientes, como cobre, zinco, manganês, ferro e boro, conferindo elevado valor agronômico ao resíduo (ZAYED *et al.*, 2023; DAVID *et al.*, 2023).

A relação carbono:nitrogênio (C:N) conecta diretamente a composição da cama ao desempenho da biodigestão. Em esterco de galinhas, valores de C:N de aproximadamente 5–10 são relatados, abaixo da faixa de 20–30 frequentemente empregada como referência para digestão anaeróbia equilibrada (SONG *et al.*, 2023). Relações muito baixas aumentam a disponibilidade relativa de N e a formação de $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ durante a degradação de proteínas e ácido úrico; a amônia livre atravessa membranas celulares e pode comprometer principalmente metanogênicos acetoclásticos. Materiais lignocelulósicos, por sua vez, elevam a oferta de carbono, mas frações muito recalcitrantes podem limitar a hidrólise. Portanto, aumentar a C:N por codigestão só é vantajoso quando o cosubstrato

também apresenta biodegradabilidade, umidade e ausência de contaminantes compatíveis com o processo.

A cama de aviário também abriga uma microbiota diversificada, composta por bactérias, fungos, actinomicetos e arqueias, responsáveis pela degradação da matéria orgânica e pela ciclagem dos nutrientes. A atividade desses microrganismos varia conforme a umidade, temperatura e condições de manejo, influenciando diretamente a qualidade sanitária e o potencial agrônomo do resíduo (KUMAR *et al.*, 2022).

De forma geral, a cama de galinhas caipiras poedeiras apresenta elevada concentração de matéria orgânica e nutrientes, constituindo uma excelente matéria-prima para a produção de biofertilizantes. Entretanto, devido à variabilidade de sua composição, recomenda-se a realização de análises físico-químicas antes de sua utilização agrícola, permitindo definir estratégias de processamento e aplicação que maximizem o aproveitamento dos nutrientes e reduzam possíveis impactos ambientais (BONNEFOUS *et al.*, 2022).

A literatura evidencia que esses atributos não devem ser tratados como valores fixos. SONG *et al.* (2023) relatam para esterco de galinhas sólidos totais superiores a 20%, N total geralmente acima de 4% e C:N de 5–10. A mesma revisão destaca que 40–70% do N orgânico pode derivar do ácido úrico e 30–60% de proteínas, explicando a elevada formação de amônia durante a digestão. Em digestato de esterco de galinhas, MOUSAVI *et al.* (2024) encontraram 4.863 mg L⁻¹ de N Kjeldahl, 4.036 mg L⁻¹ de N amoniacal, 195 mg L⁻¹ de P total e 4.160 mg L⁻¹ de K, além de 322 mg L⁻¹ de Ca, 58,7 mg L⁻¹ de Mg, 5,20 mg L⁻¹ de Zn e 6,36 mg L⁻¹ de Cu. Esses dados demonstram simultaneamente valor agrônomo e necessidade de controle de amônia, sais e carga de nutrientes. Variações de dieta, proporção de excretas/substrato, umidade, reutilização da cama e tempo de armazenamento alteram esses parâmetros e, por consequência, a diluição requerida, o risco de inibição, a produção de biogás e a dose agrônoma.

Tabela 1 - Exemplos quantitativos de parâmetros relevantes da cama/esterco de galinhas e do digestato.

Parâmetro	Valor/intervalo reportado	Implicação	Fonte
Sólidos totais – esterco de galinha	>20%	Alta carga de sólidos; pode exigir diluição ou manejo específico	SONG <i>et al.</i> (2023)
Nitrogênio total – esterco de galinha	>4%	Potencial fertilizante e risco de formação de NH_3/NH_4	SONG <i>et al.</i> (2023)
Relação C:N	5–10	Abaixo da faixa 20–30; favorece risco de inibição amoniacal	SONG <i>et al.</i> (2023)
N Kjeldahl / N amoniacal – digestato	4.863 / 4.036 mg L^{-1}	Alta disponibilidade de N, exigindo controle da dose	MOUSAVI <i>et al.</i> (2024)
P total / K – digestato	195 / 4.160 mg L^{-1}	Valor agrônômico, mas risco de acúmulo em aplicações repetidas	MOUSAVI <i>et al.</i> (2024)
N orgânico: ácido úrico / proteínas	40–70% / 30–60% do N orgânico	Explica rápida amonificação e risco de TAN elevado	SONG <i>et al.</i> (2023)
Ca / Mg – digestato	322 / 58,7 mg L^{-1}	Nutrientes; composição depende de separação e precipitação	MOUSAVI <i>et al.</i> (2024)
Zn / Cu – digestato	5,20 / 6,36 mg L^{-1}	Micronutrientes, mas requerem monitoramento em uso repetido	MOUSAVI <i>et al.</i> (2024)
Faixa de TAN associada à inibição	$\approx 1,5\text{--}7,0 \text{ g L}^{-1}$; risco frequente $>3 \text{ g L}^{-1}$	Redução da atividade metanogênica e possível acúmulo de AGV	SONG <i>et al.</i> (2023)
Rendimento de CH_4 – sistema em escala de fazenda com cama de aves	112–222 $\text{L CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ SV}$	Mostra variabilidade operacional e potencial energético	HASSANEIN <i>et al.</i> (2022)

Bioquímica da Matéria Orgânica da Cama de Aviário

A matéria orgânica da cama de galinhas caipiras poedeiras é o principal componente responsável por seu potencial agrônômico e energético. Constituída por excretas, materiais lignocelulósicos, restos de ração, penas e outros resíduos orgânicos, sua composição determina a eficiência da degradação microbiológica, da biodigestão anaeróbia e da produção de biofertilizantes (SOARES *et al.*, 2022).

Os principais constituintes bioquímicos da cama são carboidratos estruturais, proteínas, lipídios, compostos nitrogenados e minerais. Os materiais

vegetais utilizados como substrato fornecem principalmente celulose, hemicelulose e lignina, enquanto as excretas são ricas em proteínas, ácido úrico e lipídios. A degradação desses compostos libera carbono e nutrientes essenciais ao metabolismo microbiano e à fertilidade do solo (WU *et al.*, 2025).

A celulose e a hemicelulose constituem as principais fontes de carbono para os microrganismos decompositores, sendo degradadas por enzimas como celulasas e hemicelulasas, que liberam açúcares utilizados na produção de energia e biomassa microbiana. A lignina, por sua vez, apresenta maior resistência à degradação e é transformada lentamente por fungos e bactérias especializados, contribuindo para a formação de substâncias húmicas responsáveis pela estabilidade da matéria orgânica (HEMATI *et al.*, 2022; BHATIA *et al.*, 2024).

As proteínas provenientes das excretas e dos resíduos alimentares são hidrolisadas em aminoácidos, que posteriormente sofrem desaminação, liberando amônia e amônio. Nas aves, o principal composto nitrogenado excretado é o ácido úrico, cuja degradação representa importante fonte de nitrogênio para os processos microbiológicos e para a produção de biofertilizantes. Entretanto, o manejo inadequado pode favorecer perdas de nitrogênio por volatilização de amônia (ALABI; ADEDOKUN, 2025).

Os lipídios, constituídos principalmente por triglicerídeos e fosfolipídios, são degradados por lipases em glicerol e ácidos graxos, utilizados como fonte energética pelos microrganismos e como precursores da formação de metano durante a biodigestão anaeróbia (DONG *et al.*, 2022).

A transformação desses compostos depende da ação integrada de enzimas produzidas pela microbiota da cama, como celulasas, proteases, lipases, ureases e fosfatases. Essas enzimas promovem a hidrólise e a mineralização da matéria orgânica, disponibilizando carbono, nitrogênio, fósforo e outros nutrientes para os microrganismos e, posteriormente, para as plantas (DAUNORAS *et al.*, 2024).

É necessário distinguir decomposição aeróbia de biodigestão anaeróbia. Em condições aeróbias, o carbono é predominantemente oxidado a CO_2 e o NH_4^+ pode ser nitrificado a NO_3^- . No biodigestor, sem oxigênio, a conversão segue uma rede sintrofica: polímeros são hidrolisados; açúcares e aminoácidos são fermentados a ácidos graxos voláteis (AGV), álcoois, H_2 e CO_2 ; propionato e butirato são convertidos principalmente em acetato, H_2 e CO_2 ; e arqueias

metanogênicas formam CH_4 pelas rotas acetoclástica e hidrogenotrófica. Proteínas e ácido úrico acrescentam $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ ao meio, enquanto lipídios geram glicerol e ácidos graxos de cadeia longa, que apresentam alto potencial metanogênico, mas podem inibir a comunidade quando acumulados (SONG *et al.*, 2023).

Do ponto de vista crítico, a composição bioquímica define simultaneamente o potencial energético e os limites do processo. A fração lignocelulósica pode restringir a hidrólise; proteínas e ácido úrico elevam a formação de N amoniacal; e lipídios aumentam o potencial metanogênico, mas seus ácidos graxos de cadeia longa podem causar inibição quando acumulados. Para esterco de galinhas, concentrações de nitrogênio amoniacal total (TAN) acima de aproximadamente 3 g L^{-1} já são associadas a maior risco de inibição, embora a resposta varie com pH, temperatura, inoculo e adaptação microbiana (SONG *et al.*, 2023). Assim, a relação C:N, a carga orgânica e a forma química do nitrogênio devem ser avaliadas em conjunto, e não isoladamente.

Microbiologia da Cama de Aviário

A cama de aviário constitui um ecossistema microbiológico dinâmico, composto por bactérias, fungos, arqueias, actinomicetos e outros microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e estabilização dos resíduos. A composição dessa microbiota varia conforme o tipo de substrato, idade do lote, dieta, temperatura, umidade, pH e manejo da cama, influenciando diretamente seu potencial agrônomo (MINKINA *et al.*, 2023).

As bactérias representam o principal grupo decompositor, produzindo enzimas como celulases, proteases, lipases e amilases, que hidrolisam carboidratos, proteínas e lipídios. Os fungos e actinomicetos complementam esse processo ao degradarem compostos mais resistentes, como celulose, hemicelulose e lignina, contribuindo para a formação de substâncias húmicas e a estabilização da matéria orgânica (NEEMISHA; SHARMA, 2022).

A microbiota da cama, a comunidade do biodigestor, os microrganismos remanescentes no digestato e a microbiota do solo devem ser tratados como compartimentos distintos. Na cama armazenada e com zonas oxigenadas podem ocorrer amonificação e nitrificação; no biodigestor predominam hidrolíticos/fermentadores, acetogênicos sintroficos e arqueias metanogênicas. Após a

digestão, apenas uma fração dessa comunidade permanece viável, e sua presença não implica efeito benéfico. No solo, a resposta microbiológica depende da comunidade edáfica pré-existente, da dose e das características do digestato.

A cama pode conter microrganismos de importância sanitária, incluindo *Salmonella* spp., *Escherichia coli* e *Campylobacter* spp. A redução durante a biodigestão depende especialmente de temperatura, tempo de exposição, pH, amônia e características do substrato. Em estudo com esterco de galinhas, *E. coli* total, inicialmente entre 6,43 e 7,84 log₁₀ UFC g⁻¹, ficou abaixo do limite de detecção após 7 dias a 37 °C e após 14 dias a 30 °C, evidenciando efeito de temperatura e tempo, mas não uma regra universal de sanitização. Genes de resistência antimicrobiana (ARGs) também exigem cautela: estudos recentes mostram que a digestão pode reduzir bactérias resistentes sem eliminar proporcionalmente os genes, e alguns ARGs podem persistir ou apresentar dinâmica distinta no digestato. Assim, a qualificação agrícola deve considerar indicadores microbiológicos e, em cenários de risco, pós-tratamento e condições de armazenamento.

A atividade microbiológica é regulada principalmente pela temperatura, umidade, pH e relação carbono:nitrogênio, fatores que determinam a velocidade de degradação da matéria orgânica. Técnicas modernas de biologia molecular, como metagenômica e sequenciamento do gene 16S rRNA, têm ampliado o conhecimento sobre essas comunidades microbianas, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para a produção de biofertilizantes. Em conjunto, a microbiota da cama de galinhas caipiras poedeiras desempenha papel essencial na reciclagem de nutrientes, na estabilização dos resíduos e na produção de bioinsumos para sistemas agrícolas sustentáveis (KHAN *et al.*, 2025; PIRES *et al.*, 2024).

Biodigestão Anaeróbia

A biodigestão anaeróbia é uma das principais tecnologias para o tratamento da cama de galinhas caipiras poedeiras, permitindo a produção simultânea de biogás e biofertilizantes. Nesse processo, a matéria orgânica é degradada por bactérias e arqueias na ausência de oxigênio, originando biogás, composto principalmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), e um digestato

rico em nutrientes e matéria orgânica estabilizada, com elevado potencial agronômico (PRAKASH *et al.*, 2026; VIJAY *et al.*, 2025).

A degradação anaeróbia ocorre por quatro etapas funcionalmente interdependentes. Na hidrólise, celulose/hemicelulose, proteínas e lipídios são convertidos em açúcares, aminoácidos, glicerol e ácidos graxos; a lignina e a cristalinidade da fibra podem limitar essa etapa. Na acidogênese, monômeros são fermentados a AGV, álcoois, H_2 , CO_2 e NH_4^+ . Na acetogênese, intermediários como propionato e butirato são convertidos sintroficamente em acetato, H_2 e CO_2 . Na metanogênese, arqueias utilizam acetato ou H_2/CO_2 para formar CH_4 . Na cama de aves, a elevada carga de proteína e ácido úrico intensifica a liberação de N amoniacal, enquanto a fração lignocelulósica do substrato pode retardar a hidrólise; por isso, o equilíbrio entre essas etapas é particularmente sensível à composição da matéria-prima (SONG *et al.*, 2023).

O desempenho do biodigestor deve ser avaliado por um conjunto de parâmetros: temperatura, pH, sólidos totais (ST) e voláteis (SV), carga orgânica volumétrica, tempo de retenção, C:N, alcalinidade, TAN/amônia livre e AGV. Esterco de galinhas pode apresentar ST >20%, frequentemente exigindo diluição ou tecnologias para altos sólidos. TAN >3 g L⁻¹ é um ponto de atenção recorrente, embora limiares de inibição relatados variem aproximadamente de 1,5 a 7,0 g L⁻¹ em função de pH, temperatura, aclimatação e comunidade microbiana; pH e temperatura mais elevados aumentam a fração de NH_3 livre. O acúmulo de AGV, especialmente quando a acidogênese supera o consumo metanogênico, sinaliza perda de estabilidade. Portanto, valores isolados não definem falha: tendências de TAN, AGV, alcalinidade, pH e produção/composição do biogás devem ser interpretadas conjuntamente (SONG *et al.*, 2023).

O produto residual da digestão é o digestato, e não necessariamente um biofertilizante pronto para uso. Seu valor agronômico depende de estabilidade, composição de N, P, K e sais, presença de contaminantes e segurança microbiológica. A separação sólido-líquido redistribui nutrientes: a fração líquida tende a concentrar N amoniacal e K, enquanto sólidos e precipitados podem reter parte do P e da matéria orgânica. Somente após essa caracterização e eventual pós-tratamento o digestato deve ser recomendado como biofertilizante.

A codigestão é particularmente relevante para cama/esterco de aves por permitir diluir a carga nitrogenada, ajustar C:N, umidade e micronutrientes e ampliar a diversidade de substratos fermentáveis. Cosubstratos como palhas, resíduos de culturas, silagens e resíduos alimentares podem ser utilizados, desde que sua biodegradabilidade, teor de lignina, salinidade e contaminantes sejam avaliados. O benefício não decorre apenas de elevar numericamente a C:N: materiais excessivamente lignificados podem aumentar carbono total sem fornecer carbono prontamente fermentável. Por isso, proporção de mistura, carga orgânica e resposta de TAN/AGV devem ser validadas para cada combinação (SONG *et al.*, 2023).

Produção de Biofertilizantes

A obtenção de um biofertilizante a partir da cama de galinhas poedeiras envolve duas etapas conceitualmente distintas: produzir o digestato por biodigestão e qualificar esse digestato para uso agrícola. Homogeneização, ajuste de sólidos/umidade, inoculação e, quando necessária, codigestão condicionam o processo anaeróbio. Após a digestão, separação sólido-líquido, armazenamento, maturação ou outros pós-tratamentos podem ser necessários. A liberação para aplicação deve ser sustentada por análises de nutrientes, pH, condutividade elétrica (CE), estabilidade, indicadores microbiológicos e contaminantes relevantes; portanto, nem todo digestato deve ser denominado automaticamente biofertilizante.

Composição Bioquímica do Biofertilizante

A composição do digestato de cama/esterco de galinhas varia substancialmente com matéria-prima, codigestão, diluição, temperatura, tempo de retenção, separação sólido-líquido e armazenamento. A digestão reduz parte do carbono biodegradável e converte parcela do N orgânico em N amoniacal, mas não cria uma composição padronizada. Assim, expressões como “rico em nutrientes”, “humificado” ou “bioestimulante” devem ser interpretadas à luz de análises específicas de cada produto.

Frações húmicas ou semelhantes a substâncias húmicas podem estar presentes no digestato, sobretudo associadas à matéria orgânica mais recalcitrante.

Seu papel como condicionadores do solo — complexação de cátions, contribuição à CTC e à agregação — é distinto de um possível efeito bioestimulante sobre raízes. Este último depende da origem, estrutura molecular, concentração aplicada, espécie vegetal e condições do solo; portanto, não pode ser atribuído indistintamente a qualquer digestato (AMPONG *et al.*, 2022).

Durante a biodigestão, proteínas e ácido úrico aumentam a fração de N amoniacal; o P pode permanecer em solução, adsorver-se aos sólidos ou precipitar com Ca/Mg, enquanto o K tende a permanecer majoritariamente solúvel. Em um digestato de esterco de galinhas, foram medidos 4.036 mg L^{-1} de N amoniacal, 195 mg L^{-1} de P total e 4.160 mg L^{-1} de K (MOUSAVI *et al.*, 2024). Esses valores não representam uma composição universal, mas ilustram por que o produto deve ser caracterizado antes do cálculo de equivalência fertilizante.

A presença de microrganismos no digestato também não deve ser descrita genericamente como “benéfica”. Microrganismos promotores de crescimento exigem identificação funcional e demonstração de efeito; paralelamente, patógenos, bactérias resistentes e ARGs podem persistir. O valor agrônômico do produto resulta principalmente da composição nutricional e orgânica comprovada, enquanto alegações bioestimulantes ou microbiológicas requerem evidência específica.

Mecanismos de Ação dos Biofertilizantes no Solo

Os efeitos de um digestato qualificado como biofertilizante podem ser organizados em cinco mecanismos: (i) nutricional, pelo fornecimento de nutrientes; (ii) físico, pela contribuição da matéria orgânica à agregação, porosidade e retenção de água; (iii) químico, por alterações em CTC, pH e retenção de íons; (iv) microbiológico, pela oferta de substratos à microbiota do solo; e (v) bioestimulante, quando compostos ou microrganismos específicos demonstram efeito além da nutrição. A magnitude de cada mecanismo depende do produto, solo, cultura e dose.

A dinâmica do N é central para benefício e risco. Após aplicação, NH_4 pode ser absorvido, imobilizado, volatilizado como NH_3 ou nitrificado a NO_3^- ; este pode ser absorvido, lixiviado ou desnitrificado, com possível formação de N_2O . O P apresenta menor mobilidade vertical, mas pode acumular-se no solo

e ser perdido por escoamento/erosão, contribuindo para eutrofização. O K, predominantemente iônico e solúvel, é prontamente disponível, mas pode ser lixiviado em solos de baixa CTC. Por isso, a concentração total não equivale à fração efetivamente disponível nem à substituição direta de fertilizantes minerais.

A matéria orgânica residual pode fornecer carbono à microbiota edáfica e modificar atividade enzimática e ciclagem de nutrientes, mas a resposta depende do grau de estabilização e da comunidade do solo. De forma semelhante, substâncias húmicas podem contribuir para atributos químicos e físicos; efeitos diretos sobre crescimento radicular devem ser tratados como dependentes de dose, composição e cultura, e não como propriedade universal do digestato.

A aplicação contínua pode aumentar o carbono orgânico do solo, porém também favorecer salinização e acúmulo de P, K, Cu ou Zn quando as entradas superam a remoção pelas culturas. Em experimento com cama de aves, aplicações de 5 e 10 Mg ha⁻¹ alteraram as formas de P do solo, e a dose de 10 Mg ha⁻¹ apresentou maior fração de P altamente reativo no início da incubação, indicando risco de perdas (CHAKRABORTY *et al.*, 2024). O resultado reforça que doses fixas não devem ser extrapoladas entre propriedades e que o balanço de nutrientes é mais relevante que o volume aplicado.

Dose, Manejo e Segurança da Aplicação Agrícola

A recomendação agrícola deve ser baseada na análise do digestato, fertilidade do solo, exigência da cultura, histórico de aplicações e restrições sanitárias. Para a fração líquida, N amoniacal, pH, CE e K são parâmetros particularmente relevantes; para a fração sólida, matéria orgânica, N total, P e K ganham importância. A CE funciona como indicador operacional da concentração de sais solúveis: valores elevados exigem maior cautela, sobretudo em culturas sensíveis, solos com drenagem limitada e aplicações frequentes. Não existe, contudo, um único limite agrônomo universal de CE, pois a tolerância depende da cultura e do método de aplicação.

Do ponto de vista químico, aplicações repetidas justificam monitoramento de Cu, Zn e outros elementos-traço, além de resíduos de antimicrobianos quando houver histórico de uso veterinário. MOUSAVI *et al.* (2024), por exemplo, quantificaram 5,20 mg L⁻¹ de Zn e 6,36 mg L⁻¹ de Cu no digestato bruto

estudado, evidenciando que micronutrientes também integram a avaliação de carga acumulada. O risco ambiental decorre da dose e da frequência, e não apenas da presença do elemento.

O manejo do N deve priorizar aplicação próxima à demanda da cultura, parcelamento quando pertinente e incorporação/injeção quando tecnicamente possível para reduzir volatilização de NH_3 . Aplicações em solo saturado ou imediatamente antes de chuvas intensas aumentam risco de escoamento e lixiviação. Em solos já enriquecidos em P, a dose deve ser limitada pela necessidade de P, mesmo que isso exija complementar N por outra fonte. Assim, a dose segura é definida por balanço de nutrientes e risco ambiental, e não por um volume fixo de digestato.

Resposta Fisiológica das Plantas ao Uso de Biofertilizantes Produzidos a partir da Cama de Galinhas Caipiras Poedeiras

Respostas fisiológicas de plantas a digestatos não são uniformes. Crescimento radicular, fotossíntese, atividade antioxidante, produtividade e tolerância a estresses variam com espécie, dose, salinidade, forma de N, características do solo e origem do produto. Além disso, grande parte da literatura sobre substâncias húmicas, biofertilizantes microbianos e fertilizantes orgânicos não utiliza especificamente digestato de cama de galinhas caipiras poedeiras; esses estudos fornecem plausibilidade mecanística, mas não devem ser extrapolados como evidência direta para este material.

Quando a dose fornece nutrientes sem provocar excesso salino ou desequilíbrio, o N pode sustentar síntese de proteínas e clorofila, o P participa do metabolismo energético e o K da regulação osmótica e estomática. Possíveis efeitos de frações húmicas sobre arquitetura radicular são condicionais e devem ser separados do simples efeito nutricional. Portanto, aumentos de biomassa ou produtividade precisam ser interpretados à luz da equivalência de nutrientes e de controles fertilizados nos experimentos.

Relatos de maior atividade antioxidante ou tolerância a seca e calor são mais frequentes em estudos com bioestimulantes, substâncias húmicas ou fertilizantes orgânicos de diferentes origens. Para digestatos avícolas, a evidência ainda é insuficiente para generalizar esses efeitos. Estudos futuros devem comparar

doses equivalentes de nutrientes, incluir controles minerais e caracterizar CE, N amoniacal e frações orgânicas, permitindo distinguir resposta nutricional de verdadeiro efeito bioestimulante.

Assim, a resposta vegetal deve ser avaliada caso a caso. Um digestato pode aumentar produtividade quando corrige limitações nutricionais, mas doses excessivas podem elevar salinidade, causar toxicidade amoniacal ou desequilíbrio de nutrientes. A recomendação deve se apoiar em ensaios específicos para cultura e solo e em análise do produto, evitando extrapolar resultados de outros biofertilizantes.

Figura 1 - Fluxo bioquímico, microbiológico e circular da valorização da cama de galinhas poedeiras.

Cama / esterco	Hidrólise	Acidogênese	Acetogênese	Metanogênese	Biogás + digestato	Solo / cultura
Macromoléculas → monômeros → AGV/H ₂ /CO ₂ → acetato/H ₂ /CO ₂ → CH ₄ ; proteínas e ácido úrico liberam N amoniacal. O digestato somente retorna ao solo como biofertilizante após caracterização e manejo seguro.						

Sustentabilidade, Economia Circular e Perspectivas Futuras

A sustentabilidade da biodigestão não deve ser inferida apenas pela produção de biogás. Avaliações de ciclo de vida mostram que o resultado depende do uso do biogás, eficiência de conversão, transporte da cama, consumo de água e energia, emissões fugitivas de CH₄, armazenamento e destino do digestato. Em sistema de escala de fazenda com cama de aves, foram obtidos 112–222 L CH₄ kg⁻¹ SV; cenários com maior aproveitamento do biogás e captura de nutrientes apresentaram menor impacto climático e de eutrofização que o transporte e aplicação do resíduo não processado (HASSANEIN *et al.*, 2022). Em avaliação recente de esterco de galinhas, a rota de digestão apresentou potencial médio de redução de 597,75 kg CO₂-eq por tonelada de matéria seca, mas o benefício variou com a configuração do processo e o destino do digestato (WANG *et al.*, 2025).

A economia circular pode ser representada pelo fluxo produção avícola → geração e coleta da cama → biodigestão → biogás + digestato → qualificação/ pós-tratamento → fertilização da produção vegetal → retorno de nutrientes ao sistema. O fechamento do ciclo é efetivo somente quando as cargas de N, P, sais e contaminantes permanecem compatíveis com a capacidade de uso do

solo e das culturas; caso contrário, a simples transferência do resíduo para o solo desloca o impacto ambiental em vez de eliminá-lo.

Lacunas de conhecimento e prioridades de pesquisa

Persistem lacunas específicas para cama de galinhas caipiras poedeiras. São necessários estudos que: (i) caracterizem lotes de diferentes sistemas, dietas e substratos; (ii) estabeleçam relações entre C:N, TAN, AGV e rendimento de CH_4 ; (iii) comparem estratégias de codigestão e pós-tratamento; (iv) quantifiquem patógenos, resíduos de antimicrobianos e ARGs antes e após a digestão; (v) definam doses com base em N, P, CE e elementos-traço para diferentes solos e culturas; e (vi) acompanhem aplicações sucessivas em campo e por avaliação de ciclo de vida. Essas lacunas limitam a formulação de recomendações universais e justificam a abordagem cautelosa adotada nesta revisão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biodigestão anaeróbia apresenta potencial para integrar tratamento da cama de galinhas caipiras poedeiras, recuperação energética e reciclagem de nutrientes, mas seu desempenho é condicionado pela elevada carga de N, baixa C:N, heterogeneidade da matéria-prima e condições operacionais. O material obtido deve ser denominado digestato até que sua estabilidade, composição, segurança microbiológica e adequação agrônoma sejam demonstradas.

O uso agrícola seguro depende da caracterização de cada lote, do controle de TAN/CE, patógenos, ARGs e contaminantes relevantes, e de dose definida pelo balanço de N e P, exigência da cultura e capacidade do solo. A biodigestão pode reduzir impactos ambientais, mas os benefícios dependem também de emissões fugitivas, transporte, aproveitamento do biogás e manejo do digestato. Portanto, a tecnologia deve ser entendida como uma rota promissora, porém não automaticamente sustentável. A principal lacuna permanece a escassez de estudos quantitativos e de longo prazo especificamente com cama de poedeiras caipiras; avançar nessa direção é essencial para estabelecer protocolos de biodigestão, critérios de qualidade e recomendações agrônomicas tecnicamente robustas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal Goiano pelo apoio institucional e pela infraestrutura disponibilizada para a realização desta revisão bibliográfica sobre a produção de biofertilizantes a partir da cama de galinhas caipiras poedeiras, com ênfase nos aspectos bioquímicos, microbiológicos e nas aplicações desses bioinsumos na agricultura sustentável. Agradecem, ainda, às agências de fomento pelo apoio às pesquisas voltadas ao aproveitamento sustentável de resíduos agropecuários, ao desenvolvimento de bioinsumos, à valorização da economia circular e ao fortalecimento de tecnologias que promovam a sustentabilidade dos sistemas de produção animal e agrícola.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, Iffat Abbas *et al.* Circular economy-based integrated farming system for indigenous chicken: Fostering food security and sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 436, p. 140368, 2024.
- ALABI, Taiwo; ADEDOKUN, Sunday. Amino acid nutrition in poultry: A review. **Animals**, v. 15, n. 22, p. 3323, 2025.
- ALLEGRINI, Marco; ZABALOY, María Celina. Anaerobic digestates in agricultural soils: A systematic review of their effects on antibiotic resistance genes. **Revista Argentina de Microbiología**, v. 56, n. 4, p. 394-401, 2024.
- AMPONG, Kwame; THILAKARANTHNA, Malinda S.; GORIM, Linda Yuya. Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. **Frontiers in Agronomy**, v. 4, p. 848621, 2022.
- ATANASOVA, S. *et al.* Temporal dynamics of antimicrobial resistance gene abundances in chicken manure and anaerobic digestate. **Frontiers in Antibiotics**, 2025. DOI: 10.3389/frabi.2025.1612886.
- BEAUSANG, C.; MCDONNELL, K.; MURPHY, F. Anaerobic digestion of poultry litter – A consequential life cycle assessment. **Science of the Total Environment**, v. 735, p. 139494, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139494.
- BHATIA, Tanvi; SINDHU, Satyavir Singh. Sustainable management of organic agricultural wastes: contributions in nutrients availability, pollution mitigation and crop production. **Discover Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 130, 2024.
- BHATIA, Tanya *et al.* A review on cellulose degrading microbes and its applications. **Industrial Biotechnology**, v. 20, n. 1, p. 26-39, 2024.
- BONNEFOUS, Claire *et al.* Welfare issues and potential solutions for laying hens in free range and organic production systems: A review based on literature and interviews. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, p. 952922, 2022.

BOUHIA, Youness *et al.* Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 21, n. 2, p. 425-446, 2022.

CAI, Shangying *et al.* The impacts of the C/N ratio on hydrogen sulfide emission and microbial community characteristics during chicken manure composting with wheat straw. **Agriculture**, v. 14, n. 6, p. 948, 2024.

CHAKRABORTY, D.; PRASAD, R.; FENG, H.; WATTS, D. B.; TORBERT III, H. A. Distribution of phosphorus forms in soil amended with poultry litter of different ages and application rates: Agronomic and environmental perspectives. **Soil Science Society of America Journal**, p. 1-13, 2024.

CHAMOLI, Arti *et al.* Ammonia, nitrite transformations and their fixation by different biological and chemical agents. **Chemistry and Ecology**, v. 40, n. 2, p. 166-199, 2024.

CHAUDHARY, Parul *et al.* Overview of biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 930340, 2022.

CHEN, Jiaxin *et al.* In situ preparation of oriented microbial consortium-based compound enzyme strengthens food waste disintegration and anaerobic digestion: performance, mechanism, microbial communities and global metabolic pathways. **Chemical Engineering Journal**, v. 486, p. 150208, 2024.

DAUNORAS, Jokūbas; KAČERGIUS, Audrius; GUDIUKAITĖ, Renata. Role of soil microbiota enzymes in soil health and activity changes depending on climate change and the type of soil ecosystem. **Biology**, v. 13, n. 2, p. 85, 2024.

DAVID, Laura Shiromi *et al.* Calcium nutrition of broilers: current perspectives and challenges. **Animals**, v. 13, n. 10, p. 1590, 2023.

DONG, Haiquan *et al.* Microbial electrochemical degradation of lipids for promoting methane production in anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, v. 345, p. 126467, 2022.

DOS SANTOS, Ramon Araújo *et al.* Reducing the environmental impacts of Brazilian chicken meat production using different waste recovery strategies. **Journal of Environmental Management**, v. 341, p. 118021, 2023.

FIGIEL, Sylwia *et al.* Microbially enhanced biofertilizers: technologies, mechanisms of action, and agricultural applications. **Agronomy**, v. 15, n. 5, p. 1191, 2025.

FILIPOVIĆ, Adrijana *et al.* Transformation of organic matter and impact on the ecosystem. *In: Agroforestry for Carbon and Ecosystem Management*. Academic Press, 2024. p. 311-329.

GAO, Xia *et al.* Effects of bedding materials and composting methods on gaseous emissions and compost quality across the whole chain of sheep husbandry and manure management. **Waste Management**, v. 210, p. 115222, 2026.

GUPTA, Shreya *et al.* Chicken feather waste hydrolysate as a potential biofertilizer for environmental sustainability in organic agriculture management. **Waste and Biomass Valorization**, v. 14, n. 9, p. 2783-2799, 2023.

HAFEZ, Mohamed; POPOV, Alexander I.; RASHAD, Mohamed. The biological correction using humic substances, vermicompost, and azospirillum as an optimum way of optimizing plant production and enhancing soil micronutrients in arid regions. **The Open Agriculture Journal**, v. 16, n. 1, 2022.

HASSANEIN, A. *et al.* Evaluation and life cycle assessment of a poultry litter anaerobic digester with nutrient capture. **Bioresource Technology Reports**, v. 19, p. 101186, 2022. DOI: 10.1016/j.biteb.2022.101186.

HEMATI, Arash *et al.* Lignocellulosics in plant cell wall and their potential biological degradation. **Folia Microbiologica**, v. 67, n. 5, p. 671-681, 2022.

INDUCHOODAN, T. G.; HAQ, Izharul; KALAMDHAD, Ajay S. Factors affecting anaerobic digestion for biogas production: A review. *In: Advanced Organic Waste Management*. p. 223-233, 2022.

JING, Jianyuan *et al.* Humic acid modified by being incorporated into phosphate fertilizer increases its potency in stimulating maize growth and nutrient absorption. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 885156, 2022.

JUST, Berta Singla *et al.* Biofertilization increases soil organic carbon concentrations: Results of a meta-analysis. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 22, n. 1, p. 2361578, 2024.

KACPRZAK, Małgorzata *et al.* Cycles of carbon, nitrogen and phosphorus in poultry manure management technologies–environmental aspects. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 53, n. 8, p. 914-938, 2023.

KADAM, Rahul *et al.* A review on the anaerobic co-digestion of livestock manures in the context of sustainable waste management. **Energies**, v. 17, n. 3, p. 546, 2024.

KANDAGATLA, Nagarjuna *et al.* Anaerobic Digestion (AD) and Resource Recovery. *In: Biological and Hybrid Wastewater Treatment Technology: Recent Developments in India*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 197-222.

KHAN, Muhammad Tahir *et al.* Climate, soil, and microbes: Interactions shaping organic matter decomposition in croplands. **Agronomy**, v. 15, n. 8, p. 1928, 2025.

KHOSHROU, Bahman *et al.* Soil moisture–mediated changes in microorganism biomass and bioavailability of nutrients in paddy soil. *In: Plant Stress Mitigators*. Academic Press, 2023. p. 479-494.

KOCETKOV, Vjaceslavs; ZVIRBULE, Andra. Chicken manure as closed-loop circular economy product of poultry industry. *In: Engineering for Rural Development*. 2025. Disponível em: <https://www.iitf.lbtu.lv/conference/proceedings2025/Papers/TF177.pdf>.

KUMAR, Sunil *et al.* Assessment of bacterial diversity in the chicken litter: A potent risk to environmental health. 2022.

KUMARI, Swetambari; DAS, Surajit. Bacterial enzymatic degradation of recalcitrant organic pollutants: catabolic pathways and genetic regulations. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 33, p. 79676-79705, 2023.

LI, Xiaoyong *et al.* A comprehensive review of the strategies to improve anaerobic digestion: their mechanism and digestion performance. **Methane**, v. 3, n. 2, p. 227-256, 2024.

LI, Yeqing *et al.* From feedstock to digestion: Unraveling the impact of humic acid composition on anaerobic digestion. **Science of the Total Environment**, v. 902, p. 166495, 2023.

LIU, Yiren *et al.* Multifaceted ability of organic fertilizers to improve crop productivity and abiotic stress tolerance: review and perspectives. **Agronomy**, v. 14, n. 6, p. 1141, 2024.

MAJ, Izabella. Significance and challenges of poultry litter and cattle manure as sustainable fuels: A review. **Energies**, v. 15, n. 23, p. 8981, 2022.

MARTÍN-SANZ-GARRIDO, Carmen *et al.* A review on anaerobic digestate as a biofertilizer: Characteristics, production, and environmental impacts from a life cycle assessment perspective. **Applied Sciences**, v. 15, n. 15, p. 8635, 2025.

MATJUDA, Dikonketso Shirleymay; TEKERE, Memory; THAELA-CHIMUKA, Mary-Jane. Characterization of the physicochemical composition of anaerobically digested (digestate) high throughput red meat abattoir waste in South Africa and the determination of its quality as a potential biofertilizer. **Heliyon**, v. 9, n. 11, 2023.

MENEZES, June Faria Scherrer *et al.* Use of Poultry Waste in Brazilian Agriculture. 2026.

MINKINA, Tatiana *et al.* Effect of chicken manure on soil microbial community diversity in poultry keeping areas. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 45, n. 12, p. 9303-9319, 2023.

MOUSAVI, Seyyed Ebrahim; GOYETTE, Bernard; ZHAO, Xin; COUTURE, Cassandra; TALBOT, Guylaine; RAJAGOPAL, Rajinikanth. Struvite-driven integration for enhanced nutrient recovery from chicken manure digestate. **Bioengineering**, v. 11, n. 2, p. 145, 2024.

MOZHIARASI, Velusamy; NATARAJAN, Thillai Sivakumar. Slaughterhouse and poultry wastes: management practices, feedstocks for renewable energy production, and recovery of value added products. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 15, n. 2, p. 1705-1728, 2025.

NABI, Farhan *et al.* Structure-based function of humic acid in abiotic stress alleviation in plants: a review. **Plants**, v. 14, n. 13, p. 1916, 2025.

NAEEM, Muhammad *et al.* Management and genetic approaches for enhancing meat quality in poultry production systems: a comprehensive review. **Poultry**, v. 5, n. 1, p. 4, 2026.

NASSAR, Farid S. Strategic role of poultry production sciences in shaping the future of global food security and strengthen sustainability. **Poultry Science**, p. 106617, 2026.

NEEMISHA; SHARMA, Sandeep. Soil enzymes and their role in nutrient cycling. *In*: **Structure and Functions of Pedosphere**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. p. 173-188.

OLUGBEMIDE, Akinola David; LIKOZAR, Blaž. Assessment of liquid and solid digestates from anaerobic digestion of rice husk as potential biofertilizer and nutrient source for microalgae cultivation. **Processes**, v. 10, n. 5, p. 1007, 2022.

OSEI-AKOTO, Abigail *et al.* Sustainable poultry production through novel nutrition and circular resource management. **Sustainability**, v. 18, n. 8, p. 3673, 2026.

PIRES, P. G. S. *et al.* Impact of housing system on intestinal microbiota of laying hens—A systematic review. **Research in Veterinary Science**, v. 170, p. 105184, 2024.

PRAKASH, Anand *et al.* Impact of broiler chicken production on welfare, environment, and potential mitigation strategies: a review. **World's Poultry Science Journal**, p. 1-36, 2026.

RAHMAN, Md Masudur *et al.* Current state of poultry waste management practices in Bangladesh, environmental concerns, and future recommendations. **Journal of Advanced Veterinary and Animal Research**, v. 9, n. 3, p. 490, 2022.

RAMA, Haripriya *et al.* Anaerobic digestion: Climate change mitigation through sustainable organic waste valorization. *In*: **Handbook of Nature-Based Solutions to Mitigation and Adaptation to Climate Change**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. p. 47-65.

RATHOR, Pramod; GORIM, Linda Yuya; THILAKARATHNA, Malinda S. Plant physiological and molecular responses triggered by humic based biostimulants-a way forward to sustainable agriculture. **Plant and Soil**, v. 492, n. 1, p. 31-60, 2023.

ROSALES-CASTILLO, Rocio *et al.* Bio-inputs: An alternative to achieve sustainable agriculture. **Terra Latinoamericana**, v. 43, 2025.

ROY, Dewali *et al.* Addition of biofertilizers with crop residue in conservation agriculture improves soil carbon sequestration: a long-term field study. **Tropical Ecology**, v. 66, n. 1, p. 119-131, 2025.

SALIU, Toyin Dunsin; OLADOJA, Nurudeen Abiola; SAUVÉ, Sébastien. Eco-friendly and sustainability assessment of technologies for nutrient recovery from human urine—a review. **Frontiers in Sustainability**, v. 4, p. 1338380, 2024.

SANDILANDS, Victoria *et al.* Do hens use enrichments provided in free-range systems? **Animals**, v. 12, n. 8, p. 995, 2022.

SENEVIRATHNE, Nimesha; FINNERAN, Joe; KAPARAJU, Prasad. Biostimulant-enriched anaerobic digestate as a sustainable nitrogen fertiliser for enhancing wheat growth, drought resilience and soil health. **Journal of Cleaner Production**, v. 572, p. 148916, 2026.

SENEVIRATHNE, Nimesha; KAPARAJU, Prasad. Enhancing the agronomic value of anaerobic digestate: A review of current vs. emerging technologies, challenges and future directions. **Agriculture**, 2025.

SHARMA, Barsha *et al.* Application of biofertilizers in crop production: A review. **Peruvian Journal of Agronomy**, v. 6, n. 1, p. 13-31, 2022.

SHARMA, U. C.; DATTA, M.; SHARMA, Vikas. Soil microbes and biofertilizers. *In*: **Soils in the Hindu Kush Himalayas: Management for Agricultural Land Use**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 117-144.

SHEHU, Abdulkadir; MUHAMMAD, Hassan Maishanu; MUHAMMAD, Sabi'u Yelwa. Production of biogas from poultry droppings using anaerobic digestion. **UMYU Journal of Microbiology Research**, v. 10, n. 3, p. 402-416, 2025.

SLEPETIENE, Alvyra *et al.* The effect of anaerobic digestate on the soil organic carbon and humified carbon fractions in different land-use systems in Lithuania. **Land**, v. 11, n. 1, p. 133, 2022.

SOARES, Pedro R. *et al.* Sustainable integration of laying hens with crops in organic farming: A review. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 46, n. 7, p. 969-1001, 2022.

SONG, Y.; QIAO, W.; ZHANG, J.; DONG, R. Process performance and functional microbial community in the anaerobic digestion of chicken manure: A review. **Energies**, v. 16, n. 12, p. 4675, 2023.

SPIEHS, Mindy; WOODBURY, Bryan L.; BROWN-BRANDL, Tami M. Chemical and physical properties of organic bedding materials. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 39, n. 6, p. 595-604, 2023.

TAHOON, Ayman M. M. Abou *et al.* Integrative soil application of humic acid and foliar plant growth stimulants improves soil properties and wheat yield and quality in nutrient-poor sandy soil of a semiarid region. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, n. 3, p. 2857-2871, 2022.

TANVEER, Muhammad *et al.* Waste management and green technology: Future trends in circular economy leading towards environmental sustainability. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 53, p. 80161-80178, 2022.

THOMAS, Jithin; SUNIL, Sruthi. Waste valorization technologies for egg and broiler industries. *In*: **Waste Valorization for Value-Added Products**. Bentham Science Publishers, 2023. p. 250-272.

THOMAS, Liji; NEELIMA, T.; ARCHANA, T. From animal wastes and organic garbage waste to wealth—a green. *In*: **Handbook of Advanced Biomass Materials for Environmental Remediation**. v. 43, 2024.

VIJAY, Virendra Kumar *et al.* Fundamentals of biogas technology. *In: Compressed Biogas (CBG) Process, Technology and Applications*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025. p. 1-21.

VIKRAM, Nitin *et al.* Properties of humic acid substances and their effect in soil quality and plant health. *In: Humus and Humic Substances: Recent Advances*. IntechOpen, 2022.

VISCONTI, Donato *et al.* Compost and microbial biostimulant applications improve plant growth and soil biological fertility of a grass-based phytostabilization system. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 45, n. 3, p. 787-807, 2023.

WANG, F. *et al.* Strategies optimization to improve environmental benefit of chicken manure anaerobic digestion in China: Insight from life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 508, p. 145589, 2025. DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.145589.

WEI, Xinpei *et al.* Enhancing soil health and plant growth through microbial fertilizers: Mechanisms, benefits, and sustainable agricultural practices. **Agronomy**, v. 14, n. 3, p. 609, 2024.

WU, Bin *et al.* Two types of agroforestry wastes as bedding materials: Microenvironmental dynamics, microbial community structure, and impacts on growth performance of heifers. **Environmental Technology & Innovation**, v. 40, p. 104364, 2025.

ZAYED, Omar *et al.* Nitrogen journey in plants: From uptake to metabolism, stress response, and microbe interaction. **Biomolecules**, v. 13, n. 10, p. 1443, 2023.

ZHOU, Chuifan *et al.* Continuous planting of Chinese fir monocultures significantly influences dissolved organic matter content and microbial assembly processes. **Science of the Total Environment**, v. 926, p. 171943, 2024.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Idael Matheus Góes Lopes

Graduado em Zootecnia e Mestre em Produção animal pela Universidade Federal de Minas Gerais no Instituto de Ciências Agrárias (UFMG-ICA). Foi membro atuante do Núcleo de Estudos em Produção de Suínos (NEPSUI) e do Grupo de Estudos em Reprodução Animal (GERA), atuando no manejo nutricional e reprodutivo de matrizes suínas, leitões e machos reprodutores. Além disto atuou no acompanhamento de experimentos na área de nutrição, produção e reprodução de suínos. Participou ativamente da organização, desenvolvimento e execução de eventos em diversas áreas da Zootecnia. Doutorado pelo Programa de Pós Graduação em Zootecnia da UFMG em Produção e Nutrição de Não Ruminantes, com ênfase em produção e nutrição de suínos.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6146878358443236>

Marcelo Dourado de Lima

Graduado em Zootecnia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Mestre em Nutrição de Não Ruminantes pela mesma instituição. Atualmente é doutorando em Nutrição de Não Ruminantes pela UFMG. Possui experiência na área de Zootecnia, atuando em pesquisas relacionadas a produção e nutrição na suinocultura e cunicultura. Também, possui experiência na área da Ciência de Alimentos por meio da condução de métodos analíticos para determinação da qualidade de carnes.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1475457233035472>

Karine Aparecida Rodrigues de Souza

Zootecnista formada pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG (2013), mestre em Zootecnia pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM (2013-2015) na área de Produção animal. Doutora em Zootecnia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS na área de Genética e Melhoramento Animal (2019-2023). Possui experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Genética e Melhoramento dos Animais Domésticos bem como em Conservação de Recursos Genéticos Animais.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3000982253416245>

Camilla Mariane Menezes Souza

Zootecnista (UFMG), Mestre e Doutora em nutrição animal com ênfase em nutrição de animais de companhia (UFPR). Possuo especialização em Gestão da qualidade em fábrica de ração (FAZU). Tenho experiência em ensaios experimentais em nutrição e alimentação de cães e gatos, avaliando a qualidade de ingredientes e aditivos, ingredientes alternativos, digestibilidade, palatabilidade, microbiota e funcionalidade intestinal. Possuo conhecimento e experiência em formulação e tecnologia para a fabricação de ração de cães e gatos. Atualmente, sou docente e pesquisadora na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0182384318522670>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aditivos Nutricionais: 81

Adubação Orgânica: 66, 72, 73, 77, 78, 79

Agenda 2030: 26, 28, 36, 37, 43

Agroecologia: 46, 66, 98

Alimentos Funcionais: 81

Análise Bibliométrica: 124, 129, 141

Ancestrais: 180, 181, 182, 183, 187, 188, 189, 190, 191, 195, 196, 197, 198

Atributos de Qualidade: 146

B

Biodigestão Anaeróbia: 202, 203, 204, 206, 209, 210, 212, 219

Biogás: 10, 14, 15, 16, 17, 18, 203, 208, 212, 213, 218, 219

C

Cama de Aviário: 11, 202, 203, 205, 206, 208, 209, 211

Certificação: 35, 40

Comportamento Animal: 94, 124, 161

Compostagem: 10, 13, 14, 16, 17, 18, 206

Consanguinidade: 180, 182, 183, 184, 185, 186, 192, 193, 194, 195, 196, 197

Couro: 146, 148, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 159

D

Dejetos: 10, 11, 15, 17, 203, 206

Digestão Anaeróbia: 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 207

Diversidade Genética: 180, 181, 182, 183, 185, 188, 189, 191, 193, 194, 195, 196, 198

E

Economia: 10, 19, 82, 121, 149, 158, 202, 203, 218, 220

Economia Circular: 10, 19, 202, 203, 218, 220

Eficiência Produtiva: 19, 26, 28, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 43, 50, 81, 82, 103, 124, 125, 126, 128, 129, 137, 141, 162, 174, 203

Equinos: 180, 192, 196

F

Fatty Acids: 21, 63

Fertilidade do Solo: 66, 68, 74, 77, 202, 210, 216

Forrageiras de Inverno: 65, 66, 67, 68, 70, 71, 74, 76, 77

I

Inteligência Artificial: 30, 94, 161, 163, 170, 172, 176

Internet das Coisas: 161, 162, 175

M

Meta-Analysis: 22, 222

O

ODS: 26, 28, 29, 30, 36, 37, 38, 43

P

Pecuária de Precisão: 160, 161, 162, 163, 164, 165, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177

Pequenos Ruminantes: 145, 146, 147, 149, 156

Pigs: 96, 97, 98, 99, 142, 143

Produção Animal: 9, 10, 11, 13, 18, 19, 26, 27, 28, 32, 33, 34, 37, 41, 42, 43, 63, 66, 68, 71, 77, 81, 82, 86, 94, 95, 97, 135, 162, 176, 203, 205, 220

Produção Intensiva: 82, 87, 124

Produção Sustentável: 34, 44, 81, 141, 159

Q

Qualidade de Ovos: 49, 63, 64

S

Sensores Vestíveis: 161

Silagem: 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 76, 77, 78, 79

Sorgo: 68

Suinocultura: 99, 101, 103, 115, 123, 124, 125, 126, 127, 130, 131, 132, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 143

Sustentabilidade: 19, 26, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 66, 73, 74, 77, 81, 82, 83, 85, 89, 90, 94, 113, 119, 139, 141, 193, 196, 205, 218, 220

T

Tamanho Efetivo da População: 180, 182, 184, 193

Tempo de Armazenamento: 48, 49, 52, 55, 57, 59, 61, 62, 208

U

Unidade Haugh: 49, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63

Z

Zootecnia: 27, 63, 64, 77, 79, 81, 95, 97, 98, 99, 120, 121, 158, 159, 179



científica digital



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS

