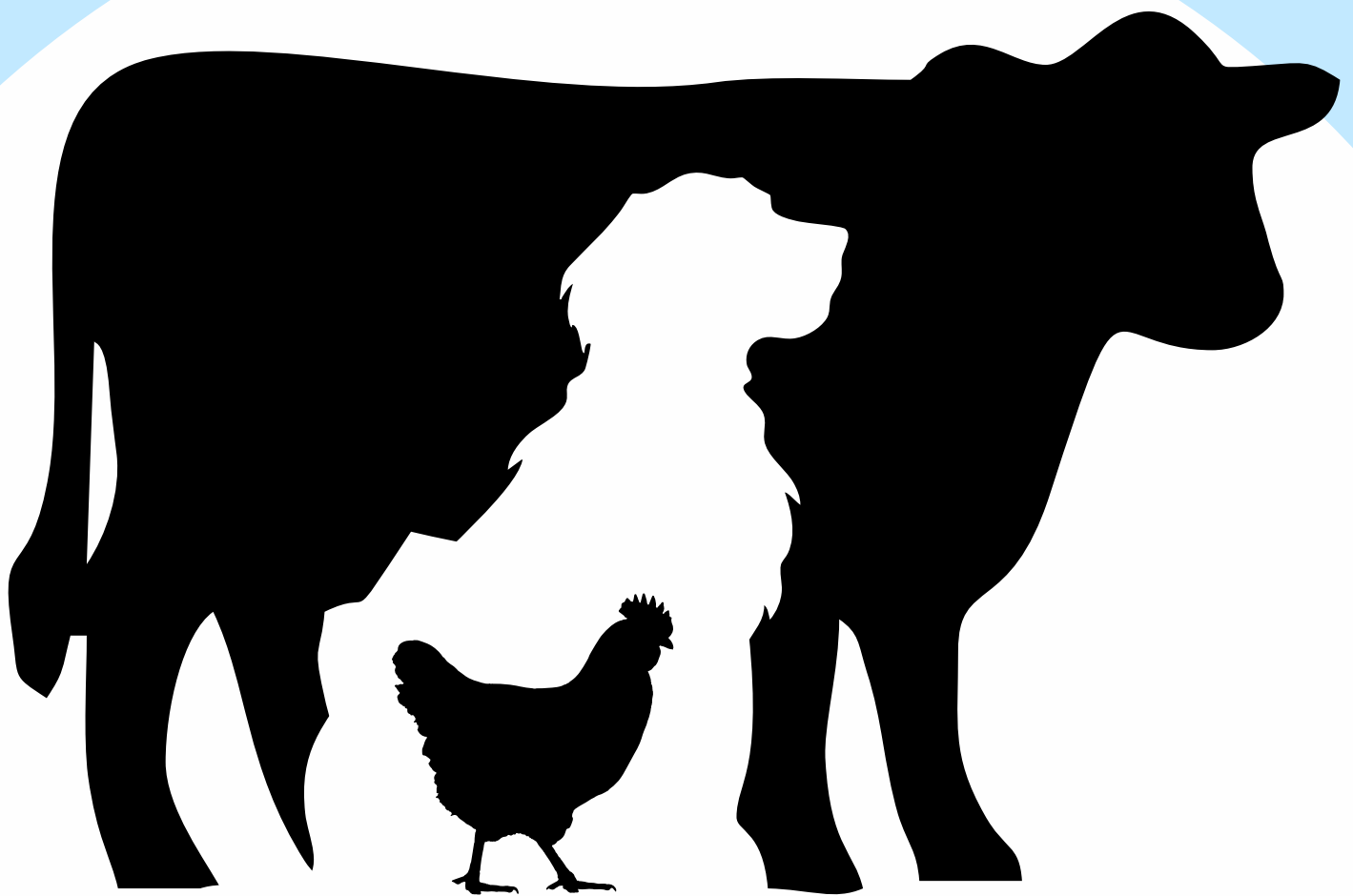


Aurum
EDITORA

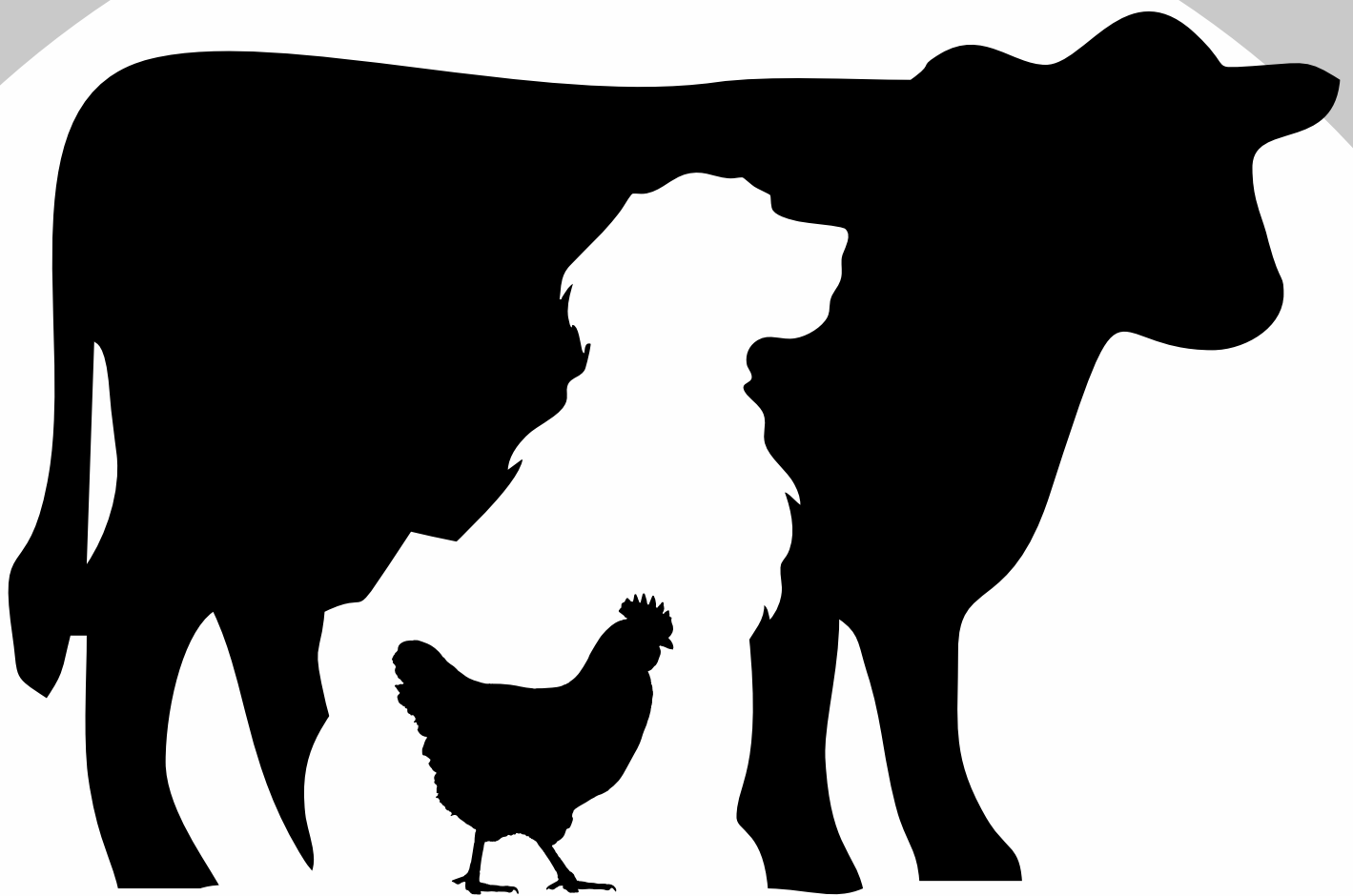
CIÊNCIAS ANIMAIS: SAÚDE E PRODUÇÃO



ORGANIZAÇÃO
AURUM EDITORA

Aurum
EDITORA

CIÊNCIAS ANIMAIS: SAÚDE E PRODUÇÃO



ORGANIZAÇÃO
AURUM EDITORA

AURUM EDITORA LTDA - 2025
Curitiba – Paraná - Brasil

EDITOR CHEFE

Lucas Gabriel Vieira Ewers

ORGANIZADOR DO LIVRO

Aurum Editora Ltda

EDIÇÃO DE TEXTO

Stefanie Vitoria Garcia de Bastos

EDIÇÃO DE ARTE

Aurum Editora Ltda

IMAGENS DA CAPA

Freepik, Canva

BIBLIOTECÁRIA

Bruna Heller

ÁREA DE CONHECIMENTO

Ciências Animais

Copyright © Aurum Editora Ltda

Texto Copyright © 2025 Os Autores

Edição Copyright © 2025 Aurum Editora
Ltda



Este trabalho está licenciado sob uma
licença Creative Commons Attribution-
NonCommercial-NoDerivatives
4.0 International License.

A responsabilidade pelo conteúdo, precisão e veracidade dos dados apresentados neste texto é inteiramente do autor, não refletindo necessariamente a posição oficial da Editora. O trabalho pode ser baixado e compartilhado, desde que o crédito seja dado ao autor, mas não é permitida a modificação do conteúdo de qualquer forma ou seu uso para fins comerciais.

Todos os manuscritos passaram por uma avaliação duplo-cega, realizada pelos membros do Conselho Editorial, e foram aprovados para publicação com base em critérios de imparcialidade e objetividade acadêmica.

A Aurum Editora se compromete a manter a integridade editorial em todas as fases do processo de publicação, prevenindo plágio, dados ou resultados fraudulentos, e assegurando que interesses financeiros não afetem os padrões éticos da publicação. Qualquer suspeita de má conduta científica será verificada com atenção aos princípios éticos e acadêmicos.

CORPO EDITORIAL

Adicélia Rodrigues Souza - Graduada em Letras pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Adriano Rosa da Silva - Mestre em História Social pela Universidade Federal Fluminense.

Alessandro Sathler Leal da Silva - Doutor em Educação pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Alex Lourenço dos Santos - Doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Catalão.

Aline Borba Alves - Mestra em Educação pela Universidade Estadual do Maranhão.

Amanda Pereira Moreira - Mestra em Letras pela Universidade Federal de Lavras.

Antonio Ismael Lopes de Sousa - Doutorando em Linguística e Literatura pela Universidade Federal do Norte do Tocantins.

Ayla de Jesus Moura - Mestra em Educação Física pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Bárbara Silvestre da Silva Pereira - Doutoranda em Enfermagem e Biociências pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro.

Bianca Martins Knap - Mestranda em Direito Econômico e Desenvolvimento pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

Camila Aparecida da Silva Albach - Doutoranda em Ciências Sociais Aplicadas pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Carina Mandler Schmidmeier - Mestranda em Direito pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

Carlos Adriano Martins - Doutor em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Cruzeiro do Sul.

Carolline Nunes Lopes - Mestra em Psicologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Cláudio Alberto de Sá Quirino - Mestre profissional em Administração Pública (PROFIAP) pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Damião Evangelista Rocha - Doutorando em Saúde e Desenvolvimento Humano pela Universidade La Salle - Canoas.

Daniel da Rocha Silva - Mestre em Letras pela Universidade Federal de Sergipe.

Daniel Rodrigues de Lima - Mestre em História pela Universidade Federal do Amazonas.

Diego Emanuel Veis Bentancourt - Mestre em Educação pela Universidade Federal de Santa Maria.

Diego Pinto de Oliveira - Mestre em Ciências Farmacêuticas pela Universidade Federal de Alfenas.

Elberto Teles Ribeiro - Mestrando em Geografia pela Universidade Federal da Grande Dourados.

Equiton Lorengian Grégio - Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal da Fronteira Sul.

Evaldo Batista Mariano Júnior - Doutorando em Educação pela Universidade de Uberaba.

Fábio Henrique de Souza Lacerda - Mestre em Educação pela Universidade do Estado de Mato Grosso.

Fabio José Antonio da Silva - Doutor em Educação Física pela Universidade Estadual de Londrina.

Fabricio do Nascimento Moreira - Doutorando em Administração pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Felipe Antônio da Silva - Graduado em Direito pelo Centro Universitário Unihorizontes.

Flávia Maria Silva Brito - Doutora em Recursos Florestais pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

Flávio Roberto Chaddad - Mestre em Educação Escolar pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Francisco Samuel Laurindo de Lima - Graduado em Licenciatura em Pedagogia pela Universidade Estadual do Ceará.

Francisco Welton Machado - Editor Independente - Graduado em Geografia pela Universidade Estadual do Piauí.

Gabriella de Moraes - Doutora em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Gleyson Martins Magalhães Reymão - Mestre Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação pelo Instituto Federal do Pará.

Glicerinaldo de Sousa Gomes - Doutorando em Educação pela Universidade Federal da Paraíba.

Gustavo Boni Minetto - Mestrando em Educação, Linguagens e Tecnologia pela Universidade Estadual de Goiás.

Gutemberg Rapôso da Silva Ferreira - Mestre em Linguística pela Universidade Federal do Tocantins de Porto Nacional.

João Vitor Silva Almeida - Graduado em Gestão de Cooperativas pela Universidade Federal do Tocantins.

Joelson Lopes da Paixão - Doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria.

Joice Marisa Görden Junqueira - Mestranda em Educação pela Universidade La Salle - Canoas.

José Bruno Martins Leão - Doutor em Sistema Constitucional de Garantia de Direitos pela Instituição Toledo de Ensino.

José Carlos dos Santos Silva - Mestrando em Educação Física pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

José Cláudio da Silva Júnior - Mestrando em Ciências da Saúde pela Universidade de Pernambuco.

José Henrique Rodrigues Machado - Doutor em Ciências Sociais - Programa de Performances Culturais, pela Universidade Federal de Goiás.

José Leonardo Diniz de Melo Santos - Mestre em Educação, Culturas e Identidades pela Universidade Federal Rural de Pernambuco.

José Marciel Araújo Porcino - Graduado em Pedagogia pela Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Brasil.

José Neto de Oliveira Felipe - Doutorando em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade de Passo Fundo.

José Ronaldo de Freitas Machado - Mestre em Educação pela Universidade de Uberaba.

Jungley de Oliveira Torres Neto - Doutor em Ciência da Religião pela Universidade Federal de Juiz de Fora.

Karyne Oliveira Coelho - Doutora em Ciência Animal pela Universidade Federal de Goiás.

Layse da Silva Vieira - Mestranda em Vigilância em Saúde pela Universidade Iguaçu.

Lidiana da Cruz Pereira - Doutora em Educação pela Universidade do Vale do Itajaí.

Lidiane Álvares Mendes - Doutoranda em Estudos de Cultura Contemporânea pela Universidade Federal de Mato Grosso.

Luan Brenner da Costa - Editor Independente - Graduado em Enfermagem pela Fundação Herminio Ometto.

Lucas Matheus Araujo Bicalho - Mestrando em Historia pela Universidade Estadual de Montes Claros, UNIMONTES, Brasil.

Lucia Helena Santana Ferreira - Doutoranda em Direito pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Luciano Victor da Silva Santos - Mestrando em Hotelaria e Turismo pela Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil.

Luzia Eleonora Rohr Balaj - Doutoranda em Música pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro.

Magno Fernando Almeida Nazaré - Mestre em Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão.

Maiara Martins Doná - Mestra em Educação pela Universidade de Sorocaba.

Maickon Willian de Freitas - Mestre em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Maikon Luiz Mirkoski - Mestre Profissional em Matemática em Rede Nacional pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Mailson Moreira dos Santos Gama - Doutorando em História pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Marcelo Bustamante Chilingue - Doutorando em Informática na Educação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Marcelo Carvalho da Conceição - Doutor em Biologia Estrutural e Funcional pela Universidade Federal de São Paulo.

Marcos Scarpioni - Doutorando em Ciência da Religião pela Universidade Federal de Juiz de Fora.

Maria da Luz Olegário - Doutora em Educação pela Universidade Federal da Paraíba.

Maria Nazaré Lopes Baracho - Doutoranda em Odontologia pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK.

Marilha da Silva Bastos - Mestranda em Educação Brasileira pela Universidade Federal do Ceará.

Marinely Aparecida Clemente - Mestra em Direito pela Universidade do Oeste de Santa Catarina.

Mario Marcos Lopes - Doutorando em Educação pela Universidade Federal de São Carlos.

Marlon Messias Santana Cruz - Doutor em Memória: Linguagem e Sociedade pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Michael Douglas Alves dos Santos - Mestrando em Educação, Cultura e Territórios Semiáridos pela Universidade do Estado da Bahia.

Mirna Liz da Cruz - Editora Independente - Graduada em Odontologia pela Universidade Federal de Goiás.

Natan Gomes dos Santos - Graduado em Biomedicina pela Faculdade Madre Thais.

Newton Ataíde Meira - Mestrando em Desenvolvimento Social pela Universidade Estadual de Montes Claros.

Plinio da Silva Andrade - Mestrando em Ciências da Educação pela Universidade Leonardo Da Vinci.

Rafael José Kraisch - Doutorando em Neurociências pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Romário Silva Ribeiro - Doutorando em Educação pela Christian Business School.

Ryan Dutra Rodrigues - Editor Independente - Graduado em Psicologia pelo Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas.

Samuel Francisco Rabelo - Doutorando em Direitos Humanos pela Universidade Tiradentes.

Sebastião Lacerda de Lima Filho - Doutorando em Medicina Translacional pela Universidade Federal do Ceará.

Silvana Maria Aparecida Viana Santos - Mestra em Tecnologias Emergentes em Educação pela MUST University.

Silvio de Almeida Junior - Doutor em Promoção de Saúde pela Universidade de Franca.

Stefany Reis Marquioli - Mestra em História Social pela Universidade Estadual de Montes Claros.

Suely Maria da Silva - Mestra em Gestão Pública Para o Desenvolvimento do Nordeste pela Universidade Federal de Pernambuco.

Swelen Freitas Gabarron Peralta - Doutoranda em Educação pela Universidade Tuiuti do Paraná.

Talita Benedcta Santos Künast - Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade Federal de Mato Grosso.

Tályta Carine da Silva Saraiva - Mestra em Agronomia pela Universidade Federal do Piauí.

Thiago Silva Prado - Doutor em Educação pela Universidade Estadual de Maringá.

Vinicius Valim Pereira - Doutor em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá, UEM, Brasil.

Wilson Moura - Doutor em Psicologia pela Christian Business School.

Yohans de Oliveira Esteves - Doutor em Psicologia pela Universidade Salgado de Oliveira.

Zaqueu Henrique de Souza - Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Jataí.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569

Ciências Animais [recurso eletrônico] : Saúde e
Produção / organização: Aurum Editora. –
Curitiba, PR: Aurum Editora, 2026.
Dados eletrônicos (1 PDF).

ISBN 978-65-83849-94-6

1. Medicina veterinária. I. Aurum Editora.
II. Título.

CDU 619

Catalogação na fonte: Bruna Heller (CRB10/2348)

Índices para catálogo sistemático:

1 Medicina veterinária 619

Aurum Editora Ltda
CNPJ: 589029480001-12
contato@aurumeditora.com
(41) 98792-9544
Curitiba - Paraná

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Aurum Editora DECLARA, para fins de direitos, obrigações e aspectos legais ou metodológicos, que:

Esta publicação representa apenas uma transferência temporária dos direitos autorais, conferindo o direito de publicação e reprodução dos materiais. A Editora não assume responsabilidade pela autoria dos manuscritos publicados, conforme as disposições da Lei de Direitos Autorais (Lei 9610/98), do art. 184 do Código Penal e do art. 927 do Código Civil. O(s) autor(es) são exclusivamente responsáveis por garantir a conformidade com as questões de direitos autorais e outros aspectos legais, isentando a Editora de quaisquer responsabilidades civis, administrativas ou criminais que possam ocorrer.

Autoriza-se a **DIVULGAÇÃO DO TRABALHO** pelo(s) autor(es) em palestras, cursos, eventos, programas de mídia e televisão, desde que o devido reconhecimento da autoria e edição seja dado, sem fins comerciais, e que os **CRÉDITOS** à Aurum Editora sejam devidamente apresentados. A omissão ou exclusão dessas informações será de responsabilidade do(s) autor(es) e da editora.

Todos os e-books são de acesso aberto, portanto, não devem ser vendidos em sites, plataformas de comércio eletrônico ou qualquer outro meio, seja virtual ou físico. Assim, não há transferência de direitos autorais para os autores, uma vez que o formato não gera outros direitos além dos usos didáticos e publicitários da obra, a qual pode ser acessada a qualquer momento.

Todos os membros do Conselho Editorial atuam de forma voluntária, sendo graduados ou pós-graduados em suas respectivas áreas.

A Aurum Editora não autoriza a venda ou compartilhamento dos nomes, e-mails e quaisquer outros dados pessoais dos autores, exceto para a divulgação desta obra, em conformidade com o Marco Civil da Internet, a Lei Geral de Proteção de Dados e a Constituição da República Federativa.

DECLARAÇÃO DO AUTOR

O autor deste trabalho DECLARA, para os fins seguintes, que:

Não possui nenhum interesse comercial que possa gerar conflito em relação ao conteúdo publicado;

Declara ter se envolvido ativamente na elaboração do manuscrito, preferencialmente nas seguintes etapas: Desenvolvimento do estudo, e/ou coleta de dados, e/ou análise e interpretação dos dados, redação do artigo ou revisão para garantir a relevância intelectual do material e aprovação final do manuscrito para envio;

Certifica que o texto publicado está completamente livre de dados falsificados ou resultados fraudulentos, bem como de falhas relacionadas à autoria;

Confirma que fez a citação correta e a devida referência a todos os dados e interpretações oriundas de outras pesquisas;

Reconhece que todas as fontes de financiamento que possam ter sido recebidas para a realização da pesquisa foram devidamente declaradas;

Autoriza a edição do trabalho, incluindo registros de catálogo, ISBN, DOI e outros indexadores, design gráfico e criação de capa, layout interno, além do lançamento e divulgação de acordo com os critérios estabelecidos pela Aurum Editora.

AUTORES

Alexandre Pires Rosa
Amanda de Moura Dani
Ana Cecília Blini
Ana Clara Gonçalves Vale
Ana Thereza Lachowski Bettega Ressetti
Anderson de Oliveira Freire
Arlington Rodrigues Ferreira da Costa
Bruna Fernandes Machado
Clarissa Ramos Rodrigues
Dayane Christinne de Souza Afonso
Edson Roberto Bueno
Eduarda Proença de Oliveira
Érica Dambros de Moura Bueno
Fabielly de Jesus Depra Santos
Fernanda Rafaela da Silva Cabezudo
Fernando Cruz
Joana da Cruz Carvalho
Laura Bittencourt Flores
Luara Gimenez Rodrigues
Manuela Castilho Matsdolf de Mello
Manuela Xavier Chaves
Marcela Arruda Ziegler
Maria Eduarda Tizziani Scheffer
Nadini Colognese
Natália Gageiro Pinto Russo
Nathalia Bezerra de Carvalho
Nycole Trindade Gomes
Paloma Betega Ahmad
Pedro Henrique Caetano Greff
Rafaela Fouchard Machado dos Santos
Ricardo Zambarda Vaz
Rodrigo Brito de Souza
Sérgio Carvalho
Thaylyze Andriele Alves Bastos
Vanessa de Fatima Scarcella Ramalho Marciano de Lima
Vitória Xavier Dutra dos Santos
Vladimir de Oliveira

SUMÁRIO

Capítulo 1

CIRURGIA ROBÓTICA VETERINÁRIA: PERSPECTIVAS FUTURAS E AVANÇOS TECNOLÓGICOS

Dayane Christinne de Souza Afonso e Luara Gimenez Rodrigues.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.055-001>

1-9

Capítulo 2

NEUROANATOMIA FUNCIONAL DA NOCICEPÇÃO EM CÃES E GATOS: MECANISMOS CENTRAIS E PERIFÉRICOS E AVANÇOS NA ANALGESIA MULTIMODAL

Nadini Colognese, Fernanda Rafaela da Silva Cabezudo, Laura Bittencourt Flores, Rafaela Fouchard Machado dos Santos, Thaylyze Andriele Alves Bastos, Nathalia Bezerra de Carvalho, Vanessa de Fatima Scarcella Ramalho Marciano de Lima, Ana Clara Gonçalves Vale e Natália Gageiro Pinto Russo.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.055-002>

10-22

Capítulo 3

FUNDAMENTOS DA BIOCLIMATOLOGIA E MECANISMOS DE TERMORREGULAÇÃO DE OVINOS: DA DINÂMICA AMBIENTAL À EFICIÊNCIA PRODUTIVA

Fabielly de Jesus Depra Santos, Érica Dambros de Moura Bueno, Eduarda Proença de Oliveira, Bruna Fernandes Machado, Joana da Cruz Carvalho, Paloma Betega Ahmad, Edson Roberto Bueno, Manuela Xavier Chaves, Vitória Xavier Dutra dos Santos, Clarissa Ramos Rodrigues, Sérgio Carvalho e Ricardo Zambarda Vaz.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.055-003>

23-33

Capítulo 4

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ANESTESIOLOGIA VETERINÁRIA: APLICAÇÕES NA PREDIÇÃO DE RISCOS, MONITORIZAÇÃO INTRAOPERATÓRIA E SEGURANÇA ANESTÉSICA EM GRANDES E PEQUENOS ANIMAIS

Anderson de Oliveira Freire, Rodrigo Brito de Souza, Ana Thereza Lachowski Bettega Ressetti e Arllington Rodrigues Ferreira da Costa.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.055-004>

34-42

Capítulo 5

SUPLEMENTAÇÃO DE COMPOSTOS ANTIOXIDANTES EM DIETAS DE MATRIZES DE REPRODUÇÃO AVÍCOLA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nadini Colognese, Fernanda Rafaela da Silva Cabezudo, Laura Bittencourt Flores, Rafaela Fouchard Machado dos Santos, Thaylyze Andriele Alves Bastos, Nathalia Bezerra de Carvalho, Vanessa de Fatima Scarcella Ramalho Marciano de Lima, Ana Clara Gonçalves Vale e Natália Gageiro Pinto Russo.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.055-005>

43-69

CIRURGIA ROBÓTICA VETERINÁRIA: PERSPECTIVAS FUTURAS E AVANÇOS TECNOLÓGICOS**VETERINARY ROBOTIC SURGERY: FUTURE PERSPECTIVES AND TECHNOLOGICAL ADVANCES** <https://doi.org/10.63330/aurumpub.055-001>

Dayane Christinne de Souza Afonso
Graduanda em Medicina Veterinária
Faculdade Vale dos Carajás
Parauapebas - PA
E-mail: dayanechristinne@gmail.com

Luara Gimenez Rodrigues
Graduação em Medicina Veterinária – UNISALESIANO
Birigui – São Paulo

RESUMO

A cirurgia robótica veterinária representa uma das mais promissoras inovações da medicina veterinária contemporânea, integrando recursos de automação, inteligência artificial e técnicas minimamente invasivas para aprimorar procedimentos cirúrgicos em animais. Este capítulo tem como objetivo analisar as perspectivas futuras e os avanços tecnológicos relacionados à cirurgia robótica veterinária, destacando suas aplicações, benefícios e desafios para a prática clínica. A metodologia adotada consistiu em uma revisão narrativa da literatura, baseada em estudos científicos publicados por autores relevantes na área, incluindo contribuições de pesquisadores como Philip C. Hedlund, Karen Tobias e outros especialistas em cirurgia veterinária e inovação tecnológica aplicada à saúde animal. Os resultados demonstram que a utilização de plataformas robóticas proporciona maior precisão dos movimentos, redução do trauma cirúrgico, menor tempo de recuperação e ampliação da capacidade de execução de procedimentos complexos. Entretanto, fatores como elevado custo operacional, necessidade de treinamento especializado e limitações estruturais ainda dificultam sua ampla implementação. Conclui-se que os avanços tecnológicos tendem a consolidar a cirurgia robótica como uma importante ferramenta na medicina veterinária, contribuindo para maior segurança, eficiência e qualidade no cuidado aos pacientes animais.

Palavras-chave: Cirurgia minimamente invasiva; Inovação tecnológica; Medicina veterinária; Robótica veterinária; Tecnologias cirúrgicas.

ABSTRACT

Veterinary robotic surgery represents one of the most promising innovations in contemporary veterinary medicine, integrating automation resources, artificial intelligence, and minimally invasive techniques to improve surgical procedures in animals. This chapter aims to analyze future perspectives and technological advances related to veterinary robotic surgery, highlighting its applications, benefits, and challenges in clinical practice. The methodology consisted of a narrative literature review based on scientific studies published by relevant authors in the field, including contributions from researchers such as Philip C. Hedlund, Karen Tobias, and other specialists in veterinary surgery and technological innovation applied to animal healthcare. The results indicate that robotic platforms provide greater movement precision, reduced surgical trauma, shorter recovery time, and increased capacity for performing complex procedures. However, factors such as high operational costs, the need for specialized training, and structural limitations still hinder widespread implementation. It is concluded that technological advances are likely to establish robotic surgery as an important tool in veterinary medicine, contributing to greater safety, efficiency, and quality in animal patient care.

Keywords: Minimally invasive surgery; Surgical technologies; Technological innovation; Veterinary medicine; Veterinary robotics.

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos têm promovido transformações significativas nas ciências médicas e veterinárias, especialmente no desenvolvimento de procedimentos cirúrgicos menos invasivos e mais precisos. Nesse contexto, a cirurgia robótica veterinária emerge como uma inovação promissora, caracterizada pela integração entre sistemas computadorizados, instrumentos de alta precisão e recursos tecnológicos capazes de auxiliar procedimentos complexos. O uso da robótica na área da saúde ganhou notoriedade inicialmente na medicina humana e, posteriormente, passou a despertar interesse na medicina veterinária devido ao potencial de aprimorar resultados cirúrgicos, reduzir complicações e proporcionar melhor recuperação aos pacientes (Tobias; Johnston, 2018).

A incorporação de tecnologias robóticas na medicina veterinária acompanha a crescente demanda por procedimentos minimamente invasivos e pela modernização das práticas clínicas e hospitalares. De acordo com Fossum (2019), a evolução das técnicas cirúrgicas veterinárias demonstra uma tendência progressiva de substituição de procedimentos convencionais por métodos que proporcionam menor trauma tecidual, redução da dor pós-operatória e recuperação mais rápida dos animais. Nesse cenário, a cirurgia robótica surge como alternativa capaz de ampliar a precisão dos movimentos e minimizar limitações inerentes à atuação manual do cirurgião.

Entretanto, apesar do crescimento das pesquisas e do desenvolvimento tecnológico, a utilização da cirurgia robótica veterinária ainda enfrenta limitações relacionadas ao elevado custo dos equipamentos, à necessidade de infraestrutura especializada e à escassez de profissionais treinados para operar tais sistemas. Conforme Hedlund e Fossum (2019), a adaptação dessas tecnologias à prática veterinária ainda se encontra em fase de expansão, demandando investimentos em capacitação e validação científica dos métodos empregados.

Diante desse contexto, delimita-se como problema de pesquisa a seguinte questão: quais são as perspectivas futuras e os avanços tecnológicos da cirurgia robótica veterinária, bem como seus impactos para a prática clínica e cirúrgica em medicina veterinária?

O objetivo geral deste estudo consiste em analisar as perspectivas futuras e os avanços tecnológicos relacionados à cirurgia robótica veterinária. Como objetivos específicos, busca-se: identificar as principais tecnologias empregadas na cirurgia robótica veterinária; descrever seus benefícios e limitações; e discutir os desafios e possibilidades para sua implementação e expansão na prática clínica veterinária.

A realização deste estudo justifica-se pela crescente expansão tecnológica no campo da medicina veterinária e pela necessidade de compreender como novas ferramentas podem contribuir para melhorias nos procedimentos cirúrgicos. Além disso, a discussão acerca da cirurgia robótica apresenta relevância científica e acadêmica por abordar uma área emergente que tende a influenciar a formação profissional e a prática clínica futura.

Sob a perspectiva teórica, estudos demonstram que a cirurgia assistida por tecnologias avançadas oferece vantagens relacionadas à precisão, estabilidade dos movimentos e capacidade de realizar intervenções minimamente invasivas (Fossum, 2019). Para Tobias e Johnston (2018), os avanços em técnicas cirúrgicas veterinárias refletem uma tendência global de integração entre tecnologia e saúde, promovendo maior segurança e eficiência nos procedimentos. Assim, a literatura evidencia que a cirurgia robótica possui potencial para representar um importante marco evolutivo na medicina veterinária contemporânea.

2 METODOLOGIA

2.1 TIPO DE PESQUISA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, de caráter descritivo e exploratório, desenvolvida por meio de revisão narrativa da literatura. Segundo Gil (2019), pesquisas exploratórias têm como finalidade proporcionar maior familiaridade com determinado tema, tornando-o mais compreensível e favorecendo a construção de interpretações e análises mais aprofundadas. A escolha desse método justifica-se pela necessidade de reunir conhecimentos científicos recentes acerca da cirurgia

robótica veterinária, considerando tratar-se de uma temática emergente e em constante evolução tecnológica.

A abordagem qualitativa permite compreender fenômenos a partir da análise de informações, interpretações e discussões presentes na literatura científica, favorecendo uma visão ampla sobre os avanços tecnológicos e as perspectivas futuras da área (Minayo, 2014).

2.2 ESTRATÉGIA DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de levantamento bibliográfico em bases científicas nacionais e internacionais amplamente utilizadas na área das ciências da saúde e medicina veterinária. Foram consultadas bases como PubMed, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Scholar e periódicos especializados em cirurgia veterinária e inovação tecnológica.

Para Marconi e Lakatos (2021), a pesquisa bibliográfica possibilita ao pesquisador o contato direto com produções científicas previamente elaboradas, permitindo análise crítica e ampliação do conhecimento sobre o objeto estudado. Nesse sentido, a seleção das fontes ocorreu considerando a relevância científica e a relação direta com a temática investigada.

Utilizaram-se os descritores: “cirurgia robótica veterinária”, “robótica aplicada à medicina veterinária”, “tecnologias cirúrgicas veterinárias”, “cirurgia minimamente invasiva” e seus correspondentes em inglês: *veterinary robotic surgery*, *robotics in veterinary medicine* e *minimally invasive veterinary surgery*.

2.2.1 Critérios de inclusão e exclusão

Foram incluídos artigos científicos, livros, capítulos de livros e publicações acadêmicas disponíveis integralmente, publicados prioritariamente entre os anos de 2014 e 2025, em português e inglês, que abordassem cirurgia veterinária, robótica aplicada à saúde animal, inovação tecnológica e técnicas cirúrgicas minimamente invasivas.

Foram excluídos estudos duplicados, publicações sem acesso ao texto completo, trabalhos com informações insuficientes para análise e materiais que não apresentavam relação direta com os objetivos propostos.

2.3 INSTRUMENTOS E AMOSTRA DA PESQUISA

Por tratar-se de uma revisão narrativa, a amostra foi composta por produções científicas previamente selecionadas conforme os critérios estabelecidos. Os instrumentos utilizados consistiram em fichamentos, leitura analítica e organização temática dos estudos encontrados. Segundo Severino (2017), a

sistematização e análise crítica do material bibliográfico permitem identificar convergências, divergências e lacunas no conhecimento científico disponível.

Após a seleção dos estudos, as informações foram organizadas em categorias temáticas relacionadas aos avanços tecnológicos, aplicações clínicas, benefícios, limitações e perspectivas futuras da cirurgia robótica veterinária.

2.4 DISCUSSÃO FUNDAMENTADA DA METODOLOGIA

A escolha pela revisão narrativa mostrou-se adequada para investigar um tema ainda em expansão científica, uma vez que possibilita integrar diferentes perspectivas teóricas e resultados de pesquisas sobre cirurgia robótica veterinária. Conforme Minayo (2014), estudos qualitativos favorecem a compreensão de fenômenos complexos e multidimensionais, especialmente quando se busca interpretar tendências e processos em desenvolvimento.

Além disso, a literatura aponta que áreas relacionadas à inovação tecnológica exigem análises amplas e interdisciplinares, pois os avanços ocorrem de maneira contínua e dinâmica (Fossum, 2019). Assim, a metodologia adotada possibilitou identificar o panorama atual da cirurgia robótica veterinária, suas aplicações e desafios, contribuindo para uma discussão crítica e fundamentada sobre seu potencial futuro na prática clínica veterinária.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura permitiu identificar que a cirurgia robótica veterinária representa uma área em crescente desenvolvimento científico e tecnológico, apresentando elevado potencial para transformar procedimentos cirúrgicos tradicionais. Os estudos analisados demonstram que a incorporação de tecnologias avançadas, como sistemas robóticos assistidos, inteligência artificial, instrumentos articulados e plataformas de visualização tridimensional, tem promovido mudanças importantes na prática veterinária contemporânea. Embora grande parte desses recursos tenha sido inicialmente desenvolvida para a medicina humana, observa-se progressiva adaptação e interesse em sua aplicação na medicina veterinária (FOSSUM, 2019).

Segundo Tobias e Johnston (2018), a evolução das técnicas cirúrgicas veterinárias acompanha a necessidade de procedimentos mais seguros, menos invasivos e com melhores resultados clínicos. O avanço da cirurgia minimamente invasiva modificou significativamente a abordagem terapêutica em diferentes especialidades, permitindo intervenções mais precisas e reduzindo complicações pós-operatórias. Nesse contexto, a cirurgia robótica surge como uma ferramenta inovadora capaz de ampliar a capacidade técnica do cirurgião e reduzir limitações inerentes aos procedimentos convencionais.

Além disso, Hedlund e Fossum (2019) afirmam que tecnologias assistidas por sistemas computadorizados oferecem benefícios relacionados ao controle dos movimentos cirúrgicos, maior estabilidade durante procedimentos delicados e redução de falhas associadas à fadiga humana. Dessa forma, a robótica apresenta potencial para aumentar a qualidade técnica dos procedimentos e melhorar os desfechos clínicos dos pacientes veterinários.

Para melhor compreensão dos avanços identificados na literatura, apresenta-se a Tabela 1.

Tabela 1 – Principais avanços tecnológicos identificados na cirurgia robótica veterinária

Tecnologia	Aplicação clínica	Benefícios observados
Sistemas robóticos assistidos	Cirurgias minimamente invasivas	Maior precisão e controle dos movimentos
Visualização tridimensional	Ampliação do campo operatório	Melhor percepção anatômica
Inteligência artificial	Planejamento cirúrgico	Apoio à tomada de decisões
Instrumentos articulados	Procedimentos complexos	Maior mobilidade cirúrgica
Sistemas digitais integrados	Monitoramento e planejamento	Otimização dos procedimentos

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Conforme observado, a associação entre diferentes recursos tecnológicos amplia as possibilidades terapêuticas da medicina veterinária. Os sistemas tridimensionais, por exemplo, oferecem maior detalhamento anatômico e melhor percepção espacial quando comparados às técnicas laparoscópicas convencionais. Fossum (2019) destaca que recursos avançados de imagem proporcionam maior segurança operatória e contribuem para redução de erros técnicos durante o procedimento.

Outro aspecto frequentemente identificado nos estudos refere-se aos benefícios clínicos relacionados à recuperação dos pacientes. A literatura demonstra que procedimentos minimamente invasivos, frequentemente associados à cirurgia robótica, promovem menor resposta inflamatória, redução da dor pós-operatória e recuperação mais rápida (Tobias; Johnston, 2018). Essas características favorecem menor tempo de internação, melhor prognóstico e redução do estresse fisiológico dos animais submetidos às intervenções cirúrgicas.

Com base nos dados encontrados, elaborou-se a Tabela 2 para comparar características entre a cirurgia convencional e a cirurgia robótica veterinária.

Tabela 2 – Comparação entre cirurgia convencional e cirurgia robótica veterinária

Aspectos avaliados	Cirurgia convencional	Cirurgia robótica
Precisão dos movimentos	Moderada	Elevada
Trauma tecidual	Maior	Reduzido
Recuperação pós-operatória	Mais prolongada	Mais rápida
Campo visual cirúrgico	Limitado	Tridimensional ampliado
Fadiga do cirurgião	Maior	Menor
Complexidade dos movimentos	Dependente exclusivamente da habilidade manual	Assistida tecnologicamente

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Os dados apresentados demonstram vantagens relevantes associadas ao uso da robótica. Entretanto, apesar dos avanços observados, a literatura também evidencia importantes desafios para a consolidação dessas tecnologias na rotina veterinária. Entre os obstáculos mais citados estão os altos custos de aquisição e manutenção dos equipamentos, a necessidade de treinamento especializado e a disponibilidade limitada de centros veterinários com infraestrutura adequada (Hedlund; Fossum, 2019).

Essas limitações tornam-se particularmente relevantes em países em desenvolvimento, onde investimentos em tecnologias veterinárias de alta complexidade ainda apresentam restrições econômicas. Segundo Gil (2019), a implementação de novas tecnologias em saúde depende não apenas de sua eficácia clínica, mas também de fatores estruturais, institucionais e financeiros que viabilizem sua utilização.

Além das limitações econômicas, outro fator amplamente discutido refere-se à necessidade de qualificação profissional. O uso de sistemas robóticos exige capacitação específica e atualização constante, considerando que a interação entre cirurgião e tecnologia demanda novas habilidades técnicas. Tobias e Johnston (2018) ressaltam que a curva de aprendizagem para utilização dessas ferramentas pode representar um desafio inicial, exigindo treinamento especializado e experiência prática contínua.

Em relação às perspectivas futuras, os estudos analisados apontam crescente integração entre inteligência artificial, robótica e análise de dados aplicada à saúde animal. Pesquisas recentes indicam potencial para desenvolvimento de sistemas capazes de auxiliar na interpretação de exames, planejamento automatizado de procedimentos e suporte à tomada de decisão intraoperatória. Essas inovações poderão ampliar ainda mais a precisão cirúrgica e favorecer procedimentos individualizados conforme as necessidades clínicas de cada paciente.

Assim, os resultados encontrados sugerem que a cirurgia robótica veterinária apresenta potencial para redefinir práticas cirúrgicas tradicionais, proporcionando maior precisão, segurança e eficiência. Contudo, a consolidação dessa tecnologia dependerá da ampliação de pesquisas científicas, investimentos em infraestrutura e formação profissional, elementos fundamentais para tornar sua aplicação mais acessível e efetiva no contexto da medicina veterinária contemporânea.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar as perspectivas futuras e os avanços tecnológicos relacionados à cirurgia robótica veterinária, buscando identificar as principais tecnologias empregadas, descrever seus benefícios e limitações e discutir os desafios associados à sua implementação na prática clínica veterinária. A partir da revisão da literatura, foi possível compreender que a integração entre robótica, inteligência artificial e técnicas minimamente invasivas representa uma importante transformação no cenário da medicina veterinária contemporânea.

Os resultados encontrados evidenciaram que a cirurgia robótica apresenta vantagens significativas quando comparada aos métodos cirúrgicos convencionais, especialmente em aspectos relacionados à precisão dos movimentos, ampliação do campo visual, redução do trauma cirúrgico e menor tempo de recuperação dos pacientes. Observou-se ainda que sistemas tecnológicos avançados contribuem para maior estabilidade operatória e potencializam a execução de procedimentos complexos, ampliando as possibilidades terapêuticas e a qualidade do atendimento veterinário.

Entretanto, a pesquisa também identificou desafios importantes para a consolidação dessa tecnologia, entre eles os elevados custos de aquisição e manutenção dos equipamentos, a necessidade de infraestrutura específica e a exigência de formação profissional especializada. Esses fatores ainda representam barreiras para a ampla implementação da cirurgia robótica na rotina clínica veterinária, especialmente em contextos com limitações econômicas e estruturais.

Como contribuição científica, este estudo reúne e sistematiza conhecimentos sobre uma temática emergente e ainda pouco explorada, possibilitando uma compreensão ampliada acerca do panorama atual da cirurgia robótica veterinária e de suas tendências futuras. Além disso, fornece subsídios teóricos que podem auxiliar estudantes, pesquisadores e profissionais na discussão sobre inovação tecnológica aplicada à saúde animal.

Por fim, sugere-se que pesquisas futuras desenvolvam estudos experimentais e investigações clínicas voltadas à avaliação da eficácia, viabilidade econômica e impacto da cirurgia robótica em diferentes espécies animais. Recomenda-se também a ampliação de pesquisas relacionadas à integração entre inteligência artificial, automação e medicina veterinária, considerando o potencial dessas tecnologias para redefinir práticas cirúrgicas nas próximas décadas.

REFERÊNCIAS

- FOSSUM, Theresa Welch. Cirurgia de pequenos animais. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019. 1584 p.
- FREITAS, Sergio Henrique de Oliveira et al. Cirurgia minimamente invasiva em medicina veterinária: avanços e perspectivas. Pesquisa Veterinária Brasileira, Rio de Janeiro, v. 40, n. 8, p. 1–10, 2020.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019. 248 p.

HEDLUND, Cheryl S. Surgery of the digestive system. In: FOSSUM, Theresa Welch. Small animal surgery. 5. ed. St. Louis: Elsevier, 2019.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021. 346 p.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014. 416 p.

MONNET, Eric. Small animal soft tissue surgery. Ames: Wiley-Blackwell, 2013.

NELSON, Richard W.; COUTO, C. Guillermo. Medicina interna de pequenos animais. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SEVERINO, Antônio Joaquim. Metodologia do trabalho científico. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2017. 320 p.

SLATTER, Douglas. Manual de cirurgia de pequenos animais. 3. ed. Barueri: Manole, 2007. 2 v.

TOBIAS, Karen M.; JOHNSTON, Spencer A. Veterinary surgery: small animal. 2. ed. St. Louis: Elsevier Saunders, 2018. 2332 p.

VANNI, Andrea; GALVÃO, Antonio Luiz B.; BRUN, Maurício V. Aplicações e avanços da videocirurgia e cirurgia minimamente invasiva na medicina veterinária. Acta Scientiae Veterinariae, Porto Alegre, v. 45, supl. 1, p. 1–8, 2017.

**NEUROANATOMIA FUNCIONAL DA NOCICEPÇÃO EM CÃES E GATOS: MECANISMOS
CENTRAIS E PERIFÉRICOS E AVANÇOS NA ANALGESIA MULTIMODAL**

**FUNCTIONAL NEUROANATOMY OF NOCICEPTION IN DOGS AND CATS: CENTRAL AND
PERIPHERAL MECHANISMS AND ADVANCES IN MULTIMODAL ANALGESIA**

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.055-002>

Nadini Colognese

Graduanda em Medicina Veterinária

Atitus Educação

E-mail: colognesenadini@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/9651658430269842>

Fernanda Rafaela da Silva Cabezudo

Graduanda em Medicina Veterinária

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

Uruguaiana/RS

E-mail: fernandacabezudo.aluno@unipampa.edu.br

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/0480822645167137>

Laura Bittencourt Flores

Graduanda em Medicina Veterinária

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

E-mail: lauraflores.aluno@unipampa.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0277246139189647>

Rafaela Fouchard Machado dos Santos

Graduanda em Medicina Veterinária

UNIPAMPA Uruguaiana

E-mail: rafaelafouchard.aluno@unipampa.edu.br

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/9575501727734695>

Thaylyze Andriele Alves Bastos

Graduanda em Medicina Veterinária

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

E-mail: thaylyze.floresalves@hotmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6887446413842210>

Nathalia Bezerra de Carvalho

Graduanda em Medicina Veterinária

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

E-mail: nathaliabc Carvalho@outlook.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1248758863412908>

Vanessa de Fatima Scarcella Ramalho Marciano de Lima

Graduanda em Medicina Veterinária
Centro Universitário de Rio Preto - UNIRP
E-mail: vanessa.scarcella@coren-sp.gov.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2670-5666>

Ana Clara Gonçalves Vale

Bacharelado em Biologia e Medicina Veterinária
Centro Universitário de Barra Mansa - UBM
E-mail: anaclaragoncalves1991@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5939153117068819>

Natália Gageiro Pinto Russo

Médica Veterinária Especialista em Anestesiologia
Universidade de São Paulo - USP
E-mail: nataliagprusso@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0614009090153426>

RESUMO

A nocicepção corresponde a um processo neurofisiológico complexo responsável pela detecção, transmissão e modulação de estímulos potencialmente lesivos ao organismo, desempenhando papel fundamental na preservação da integridade física de cães e gatos. O presente estudo teve como objetivo analisar a neuroanatomia funcional da nocicepção em cães e gatos, enfatizando os mecanismos centrais e periféricos envolvidos na percepção dolorosa e os avanços relacionados à analgesia multimodal na medicina veterinária. Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, realizada entre fevereiro e março de 2026, nas bases ScienceDirect, Frontiers e Wiley Online Library. Foram incluídos artigos publicados entre 2016 e 2026, nos idiomas português e inglês, resultando em uma amostra final de 15 estudos. Os resultados evidenciaram que a transmissão nociceptiva envolve nociceptores periféricos, vias ascendentes medulares, estruturas talâmicas e regiões corticais associadas à percepção e modulação da dor. Além disso, observou-se participação significativa de mecanismos neuroinflamatórios, emocionais e neuroquímicos na sensibilização central e periférica. Os estudos também demonstraram avanços relevantes na analgesia multimodal, incluindo anestesia regional, gabapentinóides, canabinóides e moduladores neurais, promovendo maior eficácia analgésica e redução da cronificação da dor. Conclui-se que a compreensão da neuroanatomia funcional da nocicepção contribui significativamente para o aprimoramento das estratégias terapêuticas e para a promoção do bem-estar animal na clínica de pequenos animais.

Palavras-chave: Bem-estar animal; Dor neuropática; Neuroinflamação; Plasticidade neural; Sistema endocanabinoide.

ABSTRACT

Nociception is a complex neurophysiological process responsible for detecting, transmitting, and modulating potentially harmful stimuli, playing a fundamental role in preserving the physical integrity of dogs and cats. This study aimed to analyze the functional neuroanatomy of nociception in dogs and cats, emphasizing the central and peripheral mechanisms involved in pain perception and advances related to multimodal analgesia in veterinary medicine. This is an integrative literature review with a qualitative, exploratory, and descriptive approach, conducted between February and March 2026 using the ScienceDirect, Frontiers, and Wiley Online Library databases. Articles published between 2016 and 2026 in Portuguese and English were included, resulting in a final sample of 15 studies. The findings demonstrated that nociceptive transmission involves peripheral nociceptors, ascending spinal pathways, thalamic structures, and cortical regions associated with pain perception and modulation. Furthermore, significant participation of neuroinflammatory, emotional, and neurochemical mechanisms in central and peripheral sensitization was observed. The studies also demonstrated relevant advances in multimodal analgesia, including regional anesthesia, gabapentinoids, cannabinoids, and neural modulators, promoting greater analgesic efficacy and reducing pain chronicity. It is concluded that understanding the functional neuroanatomy of nociception significantly contributes to improving therapeutic strategies and promoting animal welfare in small animal clinical practice.

Keywords: Animal welfare; Endocannabinoid system; Neural plasticity; Neuroinflammation; Neuropathic pain.

1 INTRODUÇÃO

A nociceção corresponde ao processo neurofisiológico responsável pela detecção, transmissão e interpretação de estímulos potencialmente lesivos ao organismo, sendo fundamental para a preservação da integridade física dos animais. Em cães e gatos, os mecanismos relacionados à percepção da dor envolvem estruturas periféricas e centrais altamente especializadas, responsáveis pela condução dos impulsos nociceptivos e pela modulação das respostas dolorosas. O avanço das pesquisas em neurociência veterinária tem possibilitado maior compreensão dessas vias neurais, contribuindo para o desenvolvimento de métodos analgésicos mais eficazes e seguros na clínica de pequenos animais (Pedersen; Berendt; Rusbridge, 2025).

O estímulo nociceptivo inicia-se nos nociceptores periféricos localizados nos tecidos somáticos e viscerais, sendo transmitido por fibras nervosas até o corno dorsal da medula espinhal. Posteriormente, os impulsos seguem por vias ascendentes em direção ao tálamo, córtex somatossensorial, ínsula e sistema límbico, regiões relacionadas à percepção sensorial e emocional da dor. Estudos recentes demonstram que

existe uma organização hierárquica entre áreas corticais envolvidas no processamento nociceptivo, evidenciando a complexidade funcional dessas conexões neurais (Zhu et al., 2024). Além disso, mecanismos centrais de modulação podem intensificar ou reduzir os estímulos dolorosos, influenciando diretamente o desenvolvimento da dor crônica (Kuner; Kuner, 2021).

A dor crônica e neuropática representa um importante desafio na medicina veterinária, principalmente devido à dificuldade de avaliação clínica da dor em animais não verbais. Em felinos, por exemplo, alterações comportamentais discretas podem dificultar o reconhecimento precoce da dor neuropática, comprometendo o tratamento adequado (Rusbridge, 2024). Dessa forma, compreender os mecanismos neuroanatômicos da nocicepção torna-se essencial para melhorar os protocolos terapêuticos e promover maior qualidade de vida aos animais.

Nesse contexto, a analgesia multimodal destaca-se como uma das principais estratégias para o controle da dor em cães e gatos, por associar diferentes fármacos e técnicas anestésicas que atuam em múltiplos pontos das vias nociceptivas. Segundo Grubb e Lobprise (2020), o uso combinado de anestesia local e regional reduz a sensibilização central e promove melhor recuperação clínica no período pós-operatório. Além disso, novas abordagens terapêuticas, como o uso de canabinoides e moduladores neurais, têm demonstrado resultados promissores no manejo da dor aguda e crônica em animais de companhia (Miranda-Cortés *et al.*, 2022).

A relevância deste estudo justifica-se pela crescente necessidade de aprimoramento das estratégias de diagnóstico e controle da dor em cães e gatos, uma vez que a dor não tratada adequadamente compromete o bem-estar animal, a resposta clínica e a eficácia terapêutica. Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar a neuroanatomia funcional da nocicepção em cães e gatos, enfatizando os mecanismos centrais e periféricos envolvidos na percepção dolorosa e os avanços da analgesia multimodal na medicina veterinária.

2 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa, com caráter exploratório e descritivo, realizada entre fevereiro e março de 2026, com o objetivo de analisar a neuroanatomia funcional da nocicepção em cães e gatos, enfatizando os mecanismos centrais e periféricos envolvidos na percepção da dor e os avanços da analgesia multimodal na medicina veterinária. Estudos exploratórios e descritivos possibilitam maior aprofundamento e compreensão do fenômeno investigado, contribuindo para ampliação do conhecimento científico sobre a temática abordada (Gil, 2019).

A questão norteadora desta revisão foi formulada da seguinte maneira: quais são os principais mecanismos neuroanatômicos envolvidos na nocicepção em cães e gatos e quais os avanços relacionados à analgesia multimodal na medicina veterinária?

A busca dos estudos foi realizada nas bases de dados científicas ScienceDirect, Frontiers e Wiley Online Library, selecionadas devido à relevância e abrangência de publicações na área das ciências biomédicas e veterinárias.

Foram utilizados descritores controlados e não controlados, além de termos em inglês, combinados pelos operadores booleanos *AND*. A estratégia de busca foi estruturada da seguinte forma: (nociception) *AND* (neuropathic pain) *AND* (neuroanatomy) *AND* (multimodal analgesia) *AND* (dogs and cats).

Os critérios de inclusão abrangeram artigos científicos completos publicados entre 2016 e 2026, disponíveis integralmente nos idiomas português e inglês, que abordassem aspectos relacionados à fisiologia da dor, vias nociceptivas, sensibilização central e periférica, dor neuropática e estratégias terapêuticas analgésicas aplicadas à clínica de cães e gatos. Foram excluídos estudos duplicados, cartas ao editor, dissertações, teses, trabalhos incompletos e publicações que não apresentavam relação direta com a temática proposta.

A busca inicial identificou 186 estudos potencialmente relevantes. Após aplicação do recorte temporal e análise da disponibilidade do texto completo, 41 estudos foram excluídos. Em seguida, 27 publicações duplicadas foram removidas, permanecendo 118 artigos para leitura dos títulos e resumos. Nessa etapa, 73 estudos foram excluídos por não atenderem diretamente à temática proposta. Assim, 45 artigos seguiram para leitura na íntegra. Após análise crítica e aplicação dos critérios de elegibilidade, 30 estudos foram excluídos por não apresentarem relação direta com os mecanismos neuroanatômicos da nocicepção ou com estratégias de analgesia multimodal em cães e gatos. Dessa forma, 15 artigos compuseram a amostra final desta revisão integrativa.

A análise dos dados foi realizada por meio da técnica de análise de conteúdo temática, conforme Bardin (2011), contemplando as etapas de pré-análise, exploração do material, categorização temática e interpretação dos achados científicos.

Por se tratar de uma pesquisa desenvolvida a partir de dados secundários disponíveis na literatura científica, não houve necessidade de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa, conforme a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento dos estudos selecionados permitiu identificar avanços significativos na compreensão da neuroanatomia funcional da nocicepção em cães e gatos, especialmente no que se refere à integração entre mecanismos periféricos e centrais da dor, bem como às abordagens terapêuticas voltadas à analgesia multimodal. Observou-se que a transmissão nociceptiva envolve uma complexa rede neuroanatômica composta por nociceptores periféricos, vias ascendentes medulares, estruturas talâmicas e

regiões corticais responsáveis pela percepção e modulação da dor. Além disso, os estudos demonstraram que fatores neuroquímicos, inflamatórios e emocionais influenciam diretamente a sensibilização periférica e central, contribuindo para o desenvolvimento da dor aguda e crônica em pequenos animais. Também foram identificados avanços relevantes no uso de terapias multimodais, incluindo anestesia regional, canabinoides, moduladores neuronais e intervenções nutricionais, evidenciando maior eficácia analgésica e redução dos efeitos adversos associados à analgesia convencional.

O Quadro 1 apresenta a síntese dos estudos incluídos nesta revisão, destacando autores, objetivos e principais achados relacionados à neuroanatomia funcional da nocicepção e aos avanços na analgesia multimodal em cães e gatos.

Quadro 1 – Síntese dos estudos sobre neuroanatomia funcional da nocicepção em cães e gatos e analgesia multimodal

Autor/Ano	Objetivo do estudo	Principais resultados
Arcout et al. (2017)	Investigar o papel das informações táteis na modulação da dor aguda	Os autores demonstraram que estímulos táteis mediados por mecanorreceptores exercem importante influência sobre os circuitos nociceptivos espinhais, promovendo redução da sinalização dolorosa aguda e refinamento dos reflexos protetores associados à nocicepção.
Bohic et al. (2023)	Mapear assinaturas neuroetológicas da dor e analgesia	O estudo identificou padrões comportamentais e neurais específicos relacionados à dor, à recuperação funcional e à resposta analgésica, evidenciando integração entre atividade cerebral e manifestações neurocomportamentais da nocicepção.
Della Rocca; Gamba (2021)	Avaliar o uso da micro-palmitoiletanolamida na dor crônica	Verificou-se que a micro-palmitoiletanolamida apresenta propriedades anti-inflamatórias, neuroprotetoras e moduladoras da neuroinflamação, contribuindo para o controle da dor crônica em cães e gatos.
Falconi-Sobrinho et al. (2025)	Revisar mecanismos neuroanatômicos da antinocicepção induzida pelo medo	Os resultados evidenciaram participação de estruturas encefálicas, como substância cinzenta periaquedutal, amígdala e hipotálamo, na ativação de vias descendentes inibitórias responsáveis pela modulação da dor.
Grubb; Lobprise (2020)	Revisar conceitos de anestesia local e regional	As técnicas anestésicas locorregionais demonstraram elevada eficácia na interrupção da condução nociceptiva periférica, reduzindo a sensibilização central e promovendo analgesia mais segura e eficiente em pequenos animais.
Kuner; Kuner (2021)	Analisar circuitos celulares envolvidos na dor	Foram identificadas alterações plásticas em circuitos neuronais centrais associadas à

		cronificação da dor, destacando a participação de mecanismos sinápticos e neuroinflamatórios na manutenção do estado doloroso persistente.
Macdonald et al. (2021)	Investigar mecanismos centrais de analgesia ligados ao canal NaV1.7	A deficiência funcional do canal de sódio NaV1.7 resultou em expressiva redução da transmissão nociceptiva central, sugerindo potencial terapêutico para o desenvolvimento de analgésicos direcionados a canais iônicos específicos.
Miranda-Cortés et al. (2022)	Avaliar o papel dos canabinoides na modulação da dor	Os canabinoides demonstraram ação analgésica, anti-inflamatória e moduladora do sistema endocanabinoide, reduzindo hiperalgesia e sensibilização neural em animais de companhia.
Parker (2024)	Comparar dor neuropática em humanos e animais	O estudo evidenciou semelhanças neurofisiológicas e comportamentais entre a dor neuropática em humanos e animais de companhia, reforçando a relevância dos modelos veterinários para pesquisas translacionais.
Pedersen; Berendt; Rurbridge (2025)	Revisar a neuroanatomia da nociceção espinhal	Os autores descreveram detalhadamente as vias nociceptivas espinhais e os mecanismos de transmissão e modulação da dor em cães e gatos, enfatizando a importância clínica do corno dorsal medular.
Rusbridge (2024)	Discutir mecanismos e manejo da dor neuropática em gatos	Observou-se que protocolos multimodais envolvendo gabapentinoides, anti-inflamatórios e anestesia regional proporcionam maior eficácia no controle da dor neuropática felina.
Torres-Rodriguez et al. (2024)	Investigar a via parabrâquial-amígdala central	A ativação da via entre núcleo parabrâquial e amígdala central mostrou-se fundamental para a sensibilização dolorosa induzida por lesões, relacionando processamento emocional e amplificação da dor.
Viellard et al. (2024)	Revisar estratégias de modulação neural da dor	O estudo destacou avanços terapêuticos voltados à modulação seletiva de circuitos neurais nociceptivos, incluindo técnicas neurofarmacológicas e intervenções direcionadas à plasticidade neural.
Waltere (2025)	Discutir aspectos comparativos da nociceção	O autor reforçou que a nociceção representa um mecanismo evolutivamente conservado entre espécies, associado à sobrevivência e à adaptação biológica frente a estímulos potencialmente lesivos.
Zhu et al. (2024)	Investigar rotas hierárquicas nociceptivas corticais	Foram identificadas conexões funcionais hierárquicas entre córtex somatossensorial e ínsula, demonstrando integração entre

		percepção sensorial, interpretação cortical e experiência subjetiva da dor.
--	--	---

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A neuroanatomia funcional da nocicepção em cães e gatos tem sido amplamente investigada nos últimos anos, sobretudo em razão da crescente preocupação com o reconhecimento e o manejo adequado da dor em medicina veterinária. Os estudos analisados convergem ao demonstrar que a nocicepção resulta de uma complexa integração entre mecanismos periféricos, espinhais e supraespinhais, envolvendo componentes sensoriais, emocionais e neuroquímicos responsáveis pela percepção e modulação da dor. Nesse contexto, observa-se consenso entre os autores quanto à necessidade de abordagens terapêuticas multimodais capazes de atuar em diferentes níveis das vias nociceptivas, promovendo analgesia mais eficiente e reduzindo os impactos fisiológicos da dor aguda e crônica.

Pedersen, Berendt e Rusbridge (2025) afirmam que a transmissão nociceptiva em cães e gatos inicia-se na ativação de nociceptores periféricos especializados, distribuídos em tecidos cutâneos, musculares e viscerais. Em concordância, Grubb e Lobprise (2020) ressaltam que esses estímulos são conduzidos principalmente pelas fibras Aδ e C até o corno dorsal da medula espinhal, estrutura considerada fundamental para a integração inicial dos sinais dolorosos. Os autores concordam ainda que a substância gelatinosa desempenha papel decisivo na modulação sináptica da nocicepção, funcionando como importante centro regulador da sensibilização central.

Essa concordância também é observada nos estudos relacionados à interrupção da transmissão nociceptiva periférica. Enquanto Grubb e Lobprise (2020) destacam que técnicas anestésicas locais e regionais reduzem significativamente a condução dos estímulos dolorosos, Pedersen, Berendt e Rusbridge (2025) reforçam que a analgesia preventiva minimiza a ocorrência de hipersensibilização medular e reduz a amplificação dos sinais nociceptivos. Dessa forma, ambos os estudos defendem que o bloqueio precoce das vias periféricas constitui estratégia essencial para o controle efetivo da dor em pequenos animais.

No que se refere aos mecanismos centrais da dor, Kuner e Kuner (2021) demonstram que alterações plásticas em circuitos neuronais encefálicos estão diretamente relacionadas à cronificação da dor. Em concordância, Torres-Rodriguez *et al.* (2024) observaram que a via neural entre o núcleo parabrancual e a amígdala central exerce papel crítico na sensibilização dolorosa induzida por lesões. Ambos os estudos concordam que estruturas encefálicas associadas ao processamento emocional contribuem significativamente para a amplificação da experiência dolorosa, evidenciando que a dor ultrapassa o componente estritamente sensorial.

Da mesma maneira, Falconi-Sobrinho *et al.* (2025) corroboram os achados de Kuner e Kuner (2021) ao enfatizarem que estruturas como amígdala, hipotálamo e substância cinzenta periaquedutal participam

ativamente da modulação descendente da dor. Os autores concordam que fatores emocionais, como medo e estresse, influenciam diretamente a intensidade da nocicepção por meio da ativação de circuitos antinociceptivos centrais. Assim, verifica-se consenso entre os estudos ao reconhecerem a íntima relação entre sistemas emocionais e mecanismos neuroanatômicos da dor.

No âmbito neuroquímico, MacDonald *et al.* (2021) demonstram que o canal de sódio NaV1.7 exerce função essencial na transmissão nociceptiva central, sendo sua ausência associada à importante redução da dor. Em concordância, Viellard *et al.* (2024) afirmam que a modulação seletiva de circuitos neurais e canais iônicos representa uma das principais perspectivas terapêuticas para o tratamento da dor crônica. Ambos os estudos concordam que terapias direcionadas a mecanismos moleculares específicos podem proporcionar analgesia mais eficaz e com menor ocorrência de efeitos adversos sistêmicos.

Os estudos também apresentam convergência quanto à importância da neuroinflamação na perpetuação da dor crônica. Della Rocca e Gamba (2021) destacam que a micro-palmitoiletanolamida possui ação anti-inflamatória e neuroprotetora capaz de reduzir a ativação mastocitária e a sensibilização neural. Em consonância, Miranda-Cortés *et al.* (2022) demonstram que os canabinoides apresentam propriedades anti-inflamatórias e moduladoras do sistema endocanabinoide, contribuindo para redução da hiperalgesia e do processo neuroinflamatório. Os autores concordam que intervenções farmacológicas com ação neuroimunológica representam alternativas promissoras dentro da analgesia multimodal veterinária.

Essa concordância também é observada em relação ao manejo da dor neuropática. Parker (2024) afirma que cães e gatos apresentam alterações fisiopatológicas semelhantes às observadas em humanos, incluindo sensibilização central persistente e alterações neuroinflamatórias. Em concordância, Rusbridge (2024) destaca que a dor neuropática felina envolve mecanismos complexos relacionados à hiperexcitabilidade neural e à plasticidade maladaptativa do sistema nervoso. Ambos os autores defendem que o manejo da dor neuropática deve envolver estratégias multimodais, capazes de atuar simultaneamente sobre diferentes mecanismos fisiopatológicos da nocicepção.

Além disso, Rusbridge (2024) concorda com Grubb e Lobprise (2020) ao enfatizar que técnicas anestésicas regionais, associadas ao uso de gabapentinoides e anti-inflamatórios, promovem melhores resultados clínicos no controle da dor persistente. Os autores defendem que a combinação de diferentes abordagens terapêuticas reduz a sensibilização central e melhora significativamente a qualidade de vida dos animais acometidos por dor crônica.

Em relação aos aspectos corticais da nocicepção, Zhu *et al.* (2024) demonstram que a percepção dolorosa depende de conexões hierárquicas entre córtex somatossensorial e ínsula, regiões responsáveis pela integração sensorial e emocional da dor. Esses achados concordam com os resultados apresentados por Bohic *et al.* (2023), os quais identificaram assinaturas neuroetológicas específicas relacionadas à dor,

analgesia e recuperação funcional. Ambos os estudos reforçam que a experiência dolorosa envolve ampla integração entre circuitos neurais e respostas comportamentais, evidenciando o caráter multidimensional da nocicepção.

Adicionalmente, Walters (2025) concorda com Parker (2024) ao afirmar que os mecanismos nociceptivos apresentam elevada conservação evolutiva entre espécies animais. Segundo os autores, essa similaridade neurobiológica fortalece a relevância dos modelos translacionais em medicina veterinária, favorecendo o desenvolvimento de terapias analgésicas mais eficazes tanto para animais quanto para humanos. Essa perspectiva evidencia a importância das pesquisas comparativas no avanço da neurociência da dor.

De forma geral, os estudos analisados demonstram ampla concordância quanto à complexidade neuroanatômica da nocicepção e à necessidade de abordagens analgésicas integradas em cães e gatos. Os autores convergem ao reconhecer que a dor envolve mecanismos periféricos, medulares, encefálicos e emocionais interdependentes, os quais participam ativamente da sensibilização e cronificação do estímulo doloroso. Além disso, observa-se consenso sobre a eficácia da analgesia multimodal, especialmente quando associada à modulação neuroinflamatória, anestesia regional e terapias direcionadas aos circuitos neurais da dor.

Dessa maneira, a literatura evidencia que os avanços na compreensão dos mecanismos neuroanatômicos e neuroquímicos da nocicepção têm contribuído significativamente para o desenvolvimento de estratégias terapêuticas mais específicas, seguras e eficazes em medicina veterinária. A concordância entre os estudos reforça a necessidade de protocolos individualizados de analgesia multimodal, capazes de promover melhor controle da dor, redução do sofrimento animal e maior qualidade de vida em cães e gatos acometidos por condições dolorosas agudas ou crônicas.

4 CONCLUSÃO

Este estudo permitiu compreender que a neuroanatomia funcional da nocicepção em cães e gatos envolve uma complexa integração entre mecanismos periféricos, espinhais e supraespinhais responsáveis pela percepção, transmissão e modulação da dor. O estudo atingiu o objetivo proposto ao analisar os principais mecanismos centrais e periféricos relacionados à nocicepção, bem como os avanços terapêuticos associados à analgesia multimodal na medicina veterinária contemporânea. Os achados evidenciaram que a dor em pequenos animais não deve ser compreendida apenas como resposta fisiológica a estímulos lesivos, mas como experiência multifatorial influenciada por componentes neuroquímicos, inflamatórios, emocionais e comportamentais.

Ademais, os resultados demonstraram que os nociceptores periféricos e as vias aferentes medulares desempenham papel fundamental na condução inicial dos estímulos dolorosos, especialmente por meio das

fibras A δ e C e da integração sináptica realizada no corno dorsal da medula espinhal. Além disso, observou-se que estruturas encefálicas como amígdala, tálamo, córtex somatossensorial, ínsula e substância cinzenta periaquedutal participam ativamente da modulação e interpretação da dor, contribuindo tanto para mecanismos de sensibilização quanto para respostas antinociceptivas descendentes. Esses achados reforçam a natureza multidimensional da dor e demonstram a importância da neuroanatomia funcional para o entendimento dos estados dolorosos agudos e crônicos em cães e gatos.

Outrossim, outro aspecto relevante identificado ao longo da revisão refere-se aos avanços relacionados aos mecanismos neuroquímicos envolvidos na nocicepção. Os estudos analisados evidenciaram a participação de canais iônicos, neurotransmissores e mediadores inflamatórios na amplificação e manutenção da dor, especialmente em condições neuropáticas e inflamatórias crônicas. Nesse contexto, destacaram-se pesquisas relacionadas ao canal NaV1.7, ao sistema endocanabinoide e aos moduladores neuroinflamatórios, os quais demonstraram potencial terapêutico promissor para o desenvolvimento de estratégias analgésicas mais específicas e eficazes em medicina veterinária.

Paralelamente, a análise da literatura evidenciou que a analgesia multimodal representa atualmente uma das abordagens mais eficazes para o controle da dor em pequenos animais. A associação entre anestesia local e regional, anti-inflamatórios, gabapentinóides, canabinóides e terapias adjuvantes mostrou-se capaz de atuar simultaneamente em diferentes etapas da via nociceptiva, reduzindo a sensibilização central e proporcionando analgesia mais segura e eficiente.

Entretanto, apesar dos avanços identificados, a literatura ainda apresenta limitações relacionadas à avaliação objetiva da dor em medicina veterinária, especialmente em felinos e em pacientes acometidos por dor neuropática crônica. Muitos mecanismos neuroanatômicos e neuroquímicos ainda necessitam de investigação aprofundada, sobretudo no que se refere à interação entre neuroinflamação, plasticidade neural e alterações comportamentais associadas à cronificação da dor. Dessa forma, torna-se evidente a necessidade de ampliação das pesquisas translacionais voltadas ao desenvolvimento de métodos diagnósticos mais precisos e terapias analgésicas direcionadas aos circuitos específicos da nocicepção.

Por fim, recomenda-se a realização de estudos experimentais e clínicos voltados à aplicação de tecnologias avançadas de neuroimagem funcional e biomarcadores neuroquímicos na avaliação da dor em cães e gatos. Investigações relacionadas à modulação seletiva de circuitos neurais, ao uso terapêutico de canabinóides e à influência da neuroinflamação na sensibilização central poderão contribuir significativamente para o aprimoramento dos protocolos de analgesia multimodal. Assim, espera-se que os avanços científicos nessa área promovam maior precisão diagnóstica, melhor controle da dor e consequente melhoria da qualidade de vida e do bem-estar animal.

REFERÊNCIAS

- ARCOUT, A. *et al.* Touch receptor-derived sensory information alleviates acute pain signaling and fine-tunes nociceptive reflex coordination. **Neuron**, v. 93, n. 1, p. 179-193, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.11.027>. Disponível em: [https://www.cell.com/neuron/fulltext/S0896-6273\(16\)30865-0?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0896627316308650%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/neuron/fulltext/S0896-6273(16)30865-0?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0896627316308650%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em: 28 mar. 2026.
- BOHIC, Manon *et al.* Mapping the neuroethological signatures of pain, analgesia, and recovery in mice. **Neuron**, v. 111, n. 18, p. 2811-2830.e8, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2023.06.008>. Disponível em: [https://www.cell.com/neuron/fulltext/S0896-6273\(23\)00464-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0896627323004646%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/neuron/fulltext/S0896-6273(23)00464-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0896627323004646%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em: 28 mar. 2026.
- DELLA ROCCA, G.; GAMBA, D. Chronic pain in dogs and cats: is there place for dietary intervention with micro-palmitoylethanolamide? **Animals**, v. 11, n. 4, p. 952, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11040952>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/4/952>. Acesso em: 28 mar. 2026.
- FALCONI-SOBRINHO, L. L.; FONSECA-RODRIGUES, D.; SILVA, M. L. da; COIMBRA, N. C.; PINTO-RIBEIRO, F. Neuroanatomical and neurochemical substrates mediating fear-induced antinociception: a systematic review of rodent preclinical studies. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105959>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149763424004287?via%3Dihub>. Acesso em: 28 mar. 2026.
- GRUBB, T.; LOBPRISE, H. Local and regional anaesthesia in dogs and cats: overview of concepts and drugs (Part 1). **Veterinary Medicine and Science**, v. 6, n. 2, p. 209-217, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/vms3.219>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/vms3.219>. Acesso em: 28 mar. 2026.
- KUNER, R.; KUNER, T. Cellular circuits in the brain and their modulation in acute and chronic pain. **Physiological Reviews**, v. 101, n. 1, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1152/physrev.00040.2019>. Disponível em: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/physrev.00040.2019>. Acesso em: 28 mar. 2026.
- MACDONALD, D. I. *et al.* A central mechanism of analgesia in mice and humans lacking the sodium channel NaV1.7. **Neuron**, v. 109, n. 9, p. 1497-1512.e6, 2021. Disponível em: [https://www.cell.com/neuron/fulltext/S0896-6273\(21\)00160-4?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0896627321001604%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/neuron/fulltext/S0896-6273(21)00160-4?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0896627321001604%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em: 28 mar. 2026.
- MIRANDA-CORTÉS, A. *et al.* The role of cannabinoids in pain modulation in companion animals. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1050884>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2022.1050884/full>. Acesso em: 28 mar. 2026.
- PARKER, R. L. Comparative analysis of chronic neuropathic pain and pain assessment in companion animals and humans. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 11, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1520043>. Disponível em:

<https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2024.1520043/full>. Acesso em: 28 mar. 2026.

PEDERSEN, T. R.; BERENDT, M.; RUSBRIDGE, C. Neuroanatomy of spinal nociception and pain in dogs and cats: a practical review for the veterinary clinician. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 12, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1534685>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2025.1534685/full>. Acesso em: 28 mar. 2026.

RUSBRIDGE, C. Neuropathic pain in cats: mechanisms and multimodal management. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1177/1098612X241246518>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1098612X241246518>. Acesso em: 28 mar. 2026.

TORRES-RODRIGUEZ, J. M. *et al.* The parabrachial to central amygdala pathway is critical to injury-induced pain sensitization in mice. **Neuropsychopharmacology**, v. 49, p. 508-520, 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41386-023-01673-6>. Acesso em: 28 mar. 2026.

VIELLARD, J. *et al.* Modulating neural circuits of pain in preclinical models: recent insights for future therapeutics. **Cells**, v. 13, n. 12, p. 997, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells13120997>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4409/13/12/997>. Acesso em: 28 mar. 2026.

WALTERS, E. T. From nociception in aneural animals to human suffering: toward a comparative biology of pain. **Journal of Experimental Biology**, v. 228, n. 19, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1242/jeb.251210>. Disponível em: <https://journals.biologists.com/jeb/article-abstract/228/19/jeb251210/369505/From-nociception-in-aneural-animals-to-human?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 28 mar. 2026.

ZHU, H. *et al.* fMRI, LFP, and anatomical evidence for hierarchical nociceptive routing pathway between somatosensory and insular cortices., 1 abr. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811924000442?via%3Dihub>. Acesso em: 28 mar. 2026.

FUNDAMENTOS DA BIOCLIMATOLOGIA E MECANISMOS DE TERMORREGULAÇÃO DE OVINOS: DA DINÂMICA AMBIENTAL À EFICIÊNCIA PRODUTIVA

FUNDAMENTALS OF BIOCLIMATOLOGY AND THERMOREGULATION MECHANISMS IN SHEEP: FROM ENVIRONMENTAL DYNAMICS TO PRODUCTIVE EFFICIENCY

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.055-003>

Fabielly de Jesus Depra Santos

Doutoranda em Zootecnia
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: fa.elly@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9273-9811>

Érica Dambros de Moura Bueno

Doutoranda em Zootecnia
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: ericadambros@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1685-5890>

Eduarda Proença de Oliveira

Doutoranda em Zootecnia
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: dudapoliveira@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8647-1599>

Bruna Fernandes Machado

Doutoranda em Zootecnia
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: brunafmachado17@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2628-3240>

Joana da Cruz Carvalho

Mestranda em Zootecnia
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: joana.carvalho@acad.ufsm.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4805-6277>

Paloma Betega Ahmad

Zotecnista
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: palomabetegaa@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1218-4035>

Edson Roberto Bueno

Técnico em Agropecuária
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: edson.roberto@ufsm.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4032-0643>

Manuela Xavier Chaves

Graduanda em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: manuelaxavierchaves@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2454-2576>

Vitória Xavier Dutra dos Santos

Graduanda em Zootecnia
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: vitoriadutra047@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9273-9811>

Clarissa Ramos Rodrigues

Zootecnista
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: clarissa.rod@outlook.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7498-9446>

Sérgio Carvalho

Professor Doutor em Zootecnia
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: scarvalhoufsm@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1861-0205>

Ricardo Zambarda Vaz

Professor Doutor em Zootecnia
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: ricardo.vaz@ufsm.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4505-1277>

RESUMO

A bioclimatologia é o estudo da influência e interações do clima nos seres vivos. Os ovinos são animais bem adaptados as condições climáticas, mas, as grandes variações podem alterar o limite de tolerância do conforto térmico, interferindo diretamente na produção animal. O objetivo dessa revisão bibliográfica foi compreender os efeitos do clima sobre a produção ovina e como as respostas fisiológicas se comportam. A resposta fisiológica ao estresse térmico, embora seja um mecanismo adaptativo necessário para a sobrevivência, compromete a eficiência da produção. Por esse motivo a adoção de técnicas de manejo são fundamentais para garantir a eficiência do sistema.

Palavras-chave: Conforto térmico; Estresse climático; Termorregulação animal.

ABSTRACT

Bioclimatology is the study of the influence and interactions of climate on living beings. Sheep are animals well adapted to climatic conditions, but large variations can alter the tolerance limit of thermal comfort, directly interfering with animal production. The objective of this literature review was to understand the effects of climate on sheep production and how physiological responses behave. The physiological response to thermal stress, although a necessary adaptive mechanism for survival, compromises production efficiency. For this reason, the adoption of management techniques is fundamental to ensuring the efficiency of the system.

Keywords: Thermal comfort; Climatic stress; Animal thermoregulation.

1 INTRODUÇÃO

A bioclimatologia animal é a ciência que investiga a interface entre o ambiente físico e a homeostase dos organismos. Compreender os efeitos do clima sobre a vida animal é fundamental para otimizar a produção, visto que, de uma perspectiva fisiológica, os animais comportam-se como sistemas termodinâmicos que realizam trocas contínuas de energia com o ambiente (Polli et al., 2020). A bioclimatologia busca entender as interações entre os elementos climáticos e a fisiologia animal, visando superar as barreiras ambientais que restringem a expressão do potencial genético dos rebanhos.

O clima, caracterizado pelo conjunto de fenômenos meteorológicos que definem o estado médio da atmosfera em um dado local e tempo, atua como um fator determinante na produção animal (Macedo, 2012). Diferente do "tempo", que representa o estado momentâneo da atmosfera, o clima impõe limites persistentes à adaptação (Macedo, 2012). Entre as variáveis climáticas, a temperatura do ar destaca-se como o fator de maior influência sobre o ambiente físico do animal (Macedo, 2012). Em regiões tropicais e semiáridas, onde a radiação solar e as temperaturas elevadas são frequentes, o estresse térmico torna-se um dos principais fatores limitantes, não apenas para o desempenho produtivo, mas também para a diversidade genética das populações (Wanjala et al., 2022).

Os ovinos, dada a sua plasticidade fenotípica e variabilidade genética, são animais de elevada adaptação fisiológica. No entanto, quando submetidos a ambientes que excedem a sua zona de termoneutralidade, faixa onde o gasto energético para manutenção da homeostase é mínimo, o metabolismo é alterado negativamente, priorizando mecanismos de adaptação em detrimento da produção (Polli et al., 2020). A compreensão desses processos é vital, pois o clima exerce influências diretas sobre a termorregulação e indiretas sobre a disponibilidade de recursos forrageiros e a incidência de enfermidades, impactando todas as fases da vida produtiva e reprodutiva dos ovinos (Joy et al., 2020).

2 BIOCLIMATOLOGIA: DINÂMICA DO AMBIENTE

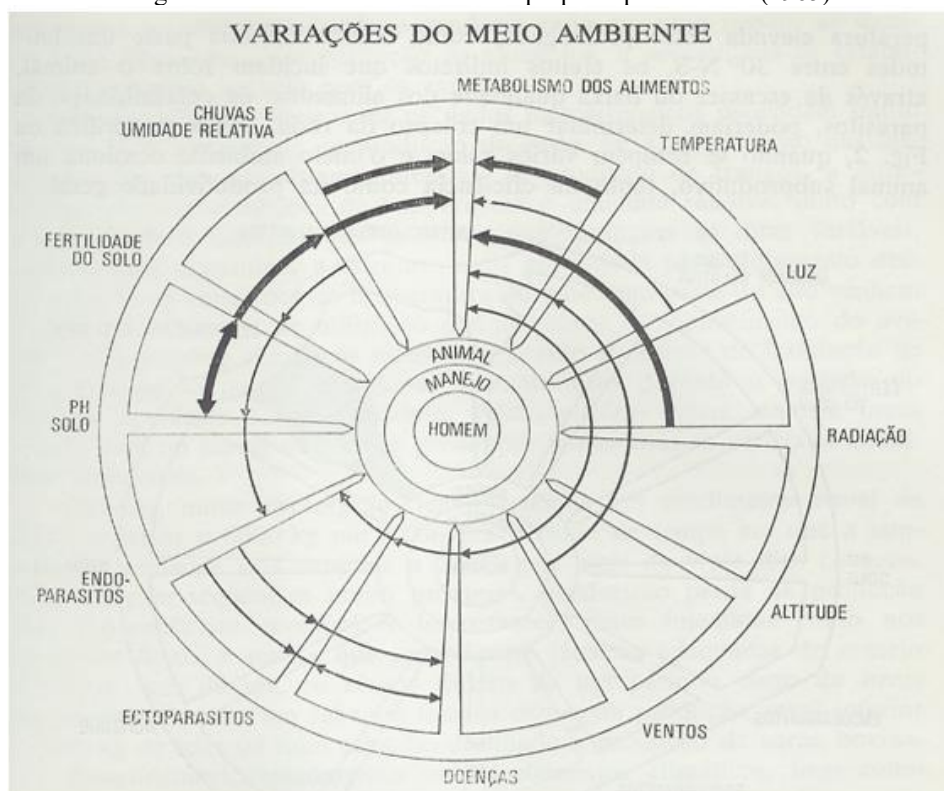
A bioclimatologia animal estuda a influência direta e indireta do meio ambiente sobre a produção. A importância dessa área reside na constatação de que o ambiente condiciona a eficiência reprodutiva, o ganho de peso, a produção de leite e a qualidade da lã (Joy et al., 2020). Conforme descrito por (Medeiros & Vieira, 1997), o clima atua de forma direta sobre as funções orgânicas, interferindo na regulação térmica corporal, e de forma indireta, através do solo e da vegetação, que por sua vez medeiam a disponibilidade de alimento e a pressão parasitária.

Segundo Hann (1882) o clima é o conjunto dos fenômenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera em dado local, de acordo com Medeiros e Vieira (1997) o clima atua de duas formas sobre os animais, forma direta, que é através da radiação solar e umidade do ar associada a temperatura, que está ligada as funções orgânicas da manutenção da temperatura corporal normal. Já a forma indireta, se dá por meio do solo e vegetação, tendo as chuvas como elemento climático principal.

2.1 A RODA ECOLÓGICA DE BONSMAS: UM MODELO DE INTEGRAÇÃO

A influência ambiental sobre o rebanho é classicamente ilustrada pelo conceito da "roda de carreta" ou "roda ecológica" (Figura 1), proposta por (Bonsma, 1965). Este modelo é uma analogia mecânica que demonstra a interdependência dos fatores em um sistema de produção.

Figura 1- Sistema da roda de carreta proposta por Bonsma (1965).



Fonte: Bonsma (1965)

- O homem como eixo: O criador representa o centro de direção e decisão. Se a gestão é ineficiente, a transmissão de energia para o sistema é prejudicada.
- O animal como cubo: Representa a unidade biológica central que sustenta a produção. O cubo deve ter robustez genética para resistir às forças externas.
- O manejo como lubrificante: Atua reduzindo o atrito (estresse) entre os componentes. Práticas de sombreamento e nutrição adequada permitem uma "rotação" produtiva fluida.
- O ambiente como raios e aro: Os elementos climáticos formam a estrutura que liga o cubo ao aro externo.

Para que o sistema funcione com eficiência, os 16 "raios" do ambiente devem estar em equilíbrio. Se as condições ambientais são desfavoráveis e excedem os limites adaptativos, os raios tornam-se desuniformes ou "quebrados", resultando em perda de produtividade e comprometimento do bem-estar animal (Bonsma, 1965). A bioclimatologia moderna utiliza o zoneamento e a modelagem geoestatística para identificar regiões onde essa integridade é ameaçada (Marinho et al., 2023; Silva et al., 2022).

2.2 INTERAÇÃO HOMEM-AMBIENTE-ANIMAL

O avanço nos estudos bioclimáticos permitiu compreender que o ambiente exerce pressão constante sobre o comportamento e o metabolismo animal (Ricci, 2025). Um dos maiores desafios da pecuária moderna é explorar o potencial genético máximo sem negligenciar as limitações térmicas (Polli et al., 2020). A interação entre homem, ambiente e animal é um exercício de gestão de energia, quando a pressão ambiental aumenta, o animal desvia energia vital da produção para a homeostase (Joy et al., 2020; Khan, 2020).

3 MECANISMOS DE TERMORREGULAÇÃO EM OVINOS

Os ovinos são animais homeotérmicos, mantendo a temperatura corporal interna entre 38,5°C e 39,5°C (Sawyer & Narayan, 2019). A manutenção da homeotermia é um processo coordenado pelo sistema termorregulador, comandado pelo hipotálamo (Koluman & Paksoy, 2024; Sawyer & Narayan, 2019). De acordo com o “Manual de Estudos de Campo em Tolerância ao Calor” publicado por Lee (1993), o ovino exibiu-se como um dos mais eficientes termorreguladores para as altas temperaturas externas.

3.1 TERMOGÊNESE E TERMÓLISE

A termorregulação é o processo fisiológico coordenado pelo hipotálamo, que integra informações sensoriais térmicas para ajustar a produção e perda de calor (Al-Ramamneh, 2011). O mantimento da

temperatura corporal interna na faixa entre 38,5°C e 39,5°C é crítico para a eficiência produtiva (Sawyer & Narayan, 2019).

- Termogênese: Compreende os mecanismos de produção de calor. O calor é um subproduto do metabolismo basal, da fermentação ruminal e da atividade muscular (McCafferty et al., 2017). Em ambientes frios, o organismo aciona a termogênese facultativa (tremores ou oxidação de reservas energéticas) para manter a temperatura central (Al-Ramamneh, 2011).
- Termólise: É a dissipação de calor via mecanismos sensíveis e latentes. O calor sensível inclui condução (contato direto), convecção (movimento de ar/fluidos) e radiação (energia eletromagnética) (McCafferty et al., 2017). A pelagem atua como isolante, mas sua eficácia depende da profundidade da lã e cor (McArthur, 1980). Animais claros refletem melhor a radiação, reduzindo a necessidade de mecanismos mais dispendiosos como a sudorese ou taquipneia (De et al., 2024).
- O calor latente, principalmente através da evaporação respiratória, torna-se a via mais importante de dissipação quando o ambiente está próximo ou acima da temperatura corporal (McCafferty et al., 2017).

3.2 ESTRESSE CLIMÁTICO

O estresse climático ocorre quando as exigências ambientais superam a capacidade homeostática do ovino (Khan, 2020). A exposição ao calor elevado induz estresse oxidativo, alterações endócrinas e redução severa no desempenho produtivo (Khan, 2020). O estresse térmico impacta diretamente a taxa de respiração, aumenta a temperatura retal e altera o perfil metabólico, reduzindo a ingestão de nutrientes e o ganho de peso (Khan, 2020).

4 IMPACTO DO AMBIENTE NA REPRODUÇÃO OVINA

A eficiência reprodutiva é o pilar fundamental da rentabilidade, mas é altamente sensível a distúrbios ambientais. Sob estresse, os animais priorizam a manutenção vital, relegando a função reprodutiva ao último nível de prioridade (Wanjala et al., 2022). O estresse térmico pode levar à supressão do desempenho reprodutivo através da desregulação de eixos endócrinos e comprometimento da gametogênese (Arero & Özmen, 2025; Wanjala et al., 2022).

4.1 EFEITO NOS MACHOS REPRODUTORES

Conforme Medeiros e Vieira (1997) os ruminantes possuem a capacidade de evitar o sobreaquecimento dos testículos, pois, podem relaxar os músculos e abaixar a bolsa escrotal, porém, a espermatogênese é sensível às variações térmicas. A exposição ao calor compromete a viabilidade dos

espermatozoides, reduzindo a motilidade e aumentando anormalidades morfológicas (Mazlishah et al., 2024). Estas alterações podem persistir por até 11 semanas pós-exposição, exigindo planejamento rigoroso na estação de monta (Mazlishah et al., 2024). A janela crítica de sensibilidade do carneiro ocorre principalmente entre 14 a 50 dias pós-exposição ao calor (Wettere et al., 2021).

4.2 EFEITO NAS FÊMEAS

O estresse térmico prejudica a competência de desenvolvimento do oócito, afetando a integridade do DNA e a qualidade celular (Martín-Maestro et al., 2025). Esses danos refletem em reduções nas taxas de concepção, estimadas entre 20% a 27% sob estresse térmico (Arero & Özmen, 2025). A janela de maior mortalidade embrionária concentra-se nos 5 dias que antecedem e sucedem o estro (Wettere et al., 2021). Em condições de calor intenso (40°C), observou-se redução na duração do estro (31,7 h frente a 37,7 h no grupo controle) (Naqvi et al., 2004).

Segundo Mies Filho (1989), ovelhas mantidas a altas temperaturas durante as duas primeiras semanas de gestação, tiveram alto índice de mortalidade embrionária. Já McDowell (1974), diz que embriões de ovinos submetidos a uma temperatura que supera 1,1°C a normalidade do organismo durante o começo de seu desenvolvimento, não serão capazes de sobreviver. O mesmo autor ainda cita que, ovelhas mantidas durante os três últimos meses de gestação a uma temperatura de 40°C por 11 horas por dia pariram cordeiros menores, mas não houve aborto.

5 BIOTECNOLOGIAS

O estresse térmico prejudica a competência do oócito, afetando a integridade do DNA e a distribuição mitocondrial (Martín-Maestro et al., 2025). Temperaturas $\geq 38,5^{\circ}\text{C}$ reduzem drasticamente as taxas de clivagem e a qualidade de blastocistos (Martín-Maestro et al., 2025). Observou-se que ovelhas sob estresse térmico (40°C) apresentam redução na duração do estro (31,7 h vs 37,7 h no controle) (Naqvi et al., 2004).

Biотecnologias como inseminação artificial (IA) são prejudicadas por cios silenciosos (Rensis & Scaramuzzi, 2003). Existe uma correlação negativa entre a temperatura retal no momento da IA e a taxa de concepção (Narayan et al., 2018). Na transferência de embriões, o sucesso depende da homeostase da receptora, pois a hipertermia nos primeiros dias de gestação é letal para o embrião (Hansen & Aréchiga, 1999).

6 MORTALIDADE NEONATAL, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO ANIMAL

6.1 COMPLEXO INANIÇÃO-HIPOTERMIA EM CORDEIROS

A mortalidade neonatal é frequentemente associada ao estresse pelo frio (Swarnkar et al., 2019). Ao nascer, o cordeiro deve elevar sua taxa de termogênese em até 15 vezes para sobreviver à transição térmica, cerca de 50% dessa energia provém da oxidação da gordura marrom (Flinn et al., 2020). O "pico metabólico" ocorre entre 60 a 100 minutos pós-nascimento (Santos et al., 2023). A falha na ingestão de colostro leva ao esgotamento das reservas, resultando no complexo inanição-hipotermia (Dwyer et al., 2016; Santos et al., 2023). Estudos indicam que 72% dos casos de hipotermia decorrem da falha na produção de calor (inanição) e 24% do excesso de perda de calor para o ambiente (Eales et al., 1982).

6.2 CONSUMO DE ALIMENTOS E GANHO DE PESO

O estresse térmico força a redução voluntária do consumo de matéria seca para limitar o calor metabólico endógeno (Al-Dawood, 2017; Khan, 2020). Estudos com cordeiros Suffolk mostraram redução significativa no consumo a 30,5°C em comparação a 19,3°C (Habeeb et al., 2023). Essa inibição é mediada pelo hipotálamo e conduz a um balanço energético negativo, reduzindo os níveis de insulina e IGF-1 (Khan, 2020; Zurek et al., 1995).

Segundo Zurek et al. (1995), o declínio do escore de condição corporal é o principal fator de inibição da atividade ovariana. Para manter a capacidade reprodutiva saudável e eficiente, as fêmeas devem possuir reserva corporal, tecido adiposo e muscular. Ovelhas em restrição alimentar imediatamente antes do período ovulatório, ou por seis meses antes da ovulação, apresentaram menor taxa de ovulação e menor tamanho de folículos ovulatórios (Fletcher, 1974, citado por Nottle et al., 1997; Nottle et al., 1997). No entanto, ovelhas em restrição alimentar suplementadas com dietas energéticas e proteicas num curto período antes da ovulação, responderam com melhor taxa de ovulação que as não suplementadas (Nottle et al., 1997).

6.3 EFEITOS SOBRE A PRODUÇÃO DE LÃ

A lã possui propriedades higroscópicas, fazendo com que as mudanças no conteúdo de água da lã liberem ou absorvam calor, portanto, ela absorve vapor de água do corpo ou do ar, formando uma interfase de ar seco, que auxiliam no isolamento térmico (Osório et al., 2014). Contudo, o estresse severo desvia nutrientes da síntese de queratina para a termorregulação, o que pode reduzir o diâmetro da lã e o rendimento total do velo (Narayan, 2018; Sawyer & Narayan, 2019).

7 CONCLUSÃO

A bioclimatologia animal evidencia que o sucesso dos sistemas de produção de ovinos está estritamente ligado à capacidade do rebanho de operar dentro de sua zona de conforto térmico. A resposta fisiológica ao estresse, embora seja um mecanismo adaptativo necessário para a sobrevivência, compromete a eficiência produtiva, o ganho de peso e a qualidade do produto, por esse motivo a adoção de técnicas de manejo, como o fornecimento de sombreamento, o monitoramento rigoroso do período neonatal e a seleção de linhagens geneticamente mais adaptadas, são passos fundamentais para garantir a sustentabilidade da ovinocultura.

REFERÊNCIAS

- AL-DAWOOD, A. Towards heat stress management in small ruminants: a review. **Annals of Animal Science**, v. 17, n. 1, p. 59-88, 2017.
- AL-RAMAMNEH, D.; GERKEN, D. M.; RIEK, A. Effect of shearing on water turnover and thermobiological variables in German blackhead mutton sheep. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 12, p. 4294-4304, 2011.
- ARERO, G. B.; OZMEN, O. Effects of heat stress on reproduction and gene expression in sheep. **Animal Reproduction**, v. 22, n. 1, e20240067, 2025.
- BONSMA, J. **The Wortham Foundation Lectures in Animal Science**. [S.l.: s.n.], 1965.
- DE, K.; MUKHERJEE, J.; BHARATI, J.; ATTUPURAM, N. M.; MOHAPATRA, A.; SAHOO, A. Physical and behavioural adaptability of sheep to thermal stress. **Indian Journal of Animal Health**, v. 63, n. 2, p. 73-81, 2024.
- DE RENSIS, F.; SCARAMUZZI, R. J. Heat stress and seasonal effects on reproduction in dairy cows: a review. **Theriogenology**, v. 60, p. 1139-1151, 2003.
- DOS SANTOS, J. D. C. et al. Neonatal mortality of lambs in production systems in a semi-arid environment: main risk factors. **The Journal of Agricultural Science**, v. 161, n. 3, p. 438-449, 2023.
- DWYER, C. M. et al. Invited review: Improving neonatal survival in small ruminants: Science into practice. **Animal**, v. 10, n. 3, p. 449-459, 2016.
- EALLES, F. A., GILMOUR, J. S., BARLOW, R. M., & SMALL, J. Causes of hypothermia in 89 lambs. **The Veterinary Record**, 110(6), 118-120, 1982.
- FLINN, T., KLEEMANN, DO, SWINBOURNE, AM, KELLY, JM, WEAVER, AC, WALKER, SK, ... & VAN WETTERE, WH (2020). Mortalidade neonatal de cordeiros: principais fatores de risco e o potencial papel atenuante da melatonina. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 11 (1), 107, 2020.
- HABEEB, A. A. et al. The detrimental impact of high environmental temperature on physiological response, growth, milk production, and reproductive efficiency of ruminants. **Tropical Animal Health**

and Production, v. 55, n. 6, 388, 2023.

HANN, J. F. **Handbuch der Klimatologie**. [S.l.: s.n.], 1882.

HANSEN, P. J.; AREÉCHIGA, C. F. Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. **Journal of Animal Science**, v. 77, supl. 2, p. 36-50, 1999.

JOY, A. et al. Resilience of small ruminants to climate change and increased environmental temperature: a review. **Animals**, v. 10, n. 5, 867, 2020.

KHAN, A. et al. Evaluation of heat stress effects on cellular and transcriptional adaptation of bovine granulosa cells. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 11, n. 1, p. 25, 2020.

KOLUMAN, N.; PAKSOY, Y. Sustainability of sheep farming in Eastern Mediterranean Region. In: *Sheep Farming: Sustainability from Traditional to Precision Production*. **IntechOpen**, 2024.

LEE, D. H. K. **Manual of field studies on heat tolerance of domestic animals**. Rome: FAO, 1993. 161 p.

MACEDO JUNIOR, G. D. L. **Avaliação bioclimatológica em ovinos**. Pubvet, v. 6, n. 20, 2012.

MARINHO, G. T. B. et al. Bioclimatic zoning for sheep farming through geostatistical modeling in the state of Pernambuco, Brazil. **Animals**, v. 13, n. 6, 1124, 2023.

MARTÍN-MAESTRO, A. et al. Heat stress affects the functionality of the ovine cumulus-oocyte complex and subsequent in vitro embryo production. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, 17163, 2025.

MAZLISHAH, M. S. H. et al. Influence of management systems on severity of heat stress and reproductive performance of rams in the tropics: a review. **Annals of Animal Science**, v. 24, n. 4, p. 1081-1092, 2024.

McARTHUR, A. J. **Air movement and heat loss from sheep**. III. Components of insulation in a controlled environment. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, v. 209, n. 1175, p. 219-237, 1980.

McCAFFERTY, D. J. et al. Animal thermoregulation: a review of insulation, physiology and behaviour relevant to temperature control in buildings. **Bioinspiration & Biomimetics**, v. 13, n. 1, 011001, 2017.

McDOWELL, R. E. **Bases biológicas de la producción animal en zonas tropicales**. Zaragoza: Acribia, 1974. 692 p.

MEDEIROS, L. F. D.; VIEIRA, D. H. **Bioclimatologia animal**. Apostila, 1997.

MIES FILHO, A.; ENDLER, J. O.; MORAES, J. C. F. Indução do estro ovulatório em ovelhas com emprego de estímulos elétricos e/ou hormonais: nota prévia. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 13, p. 229-238, 1989.

NAQVI, S. M. K. et al. The effect of thermal stress on superovulatory response and embryo production in Bharat Merino ewes. **Small Ruminant Research**, v. 55, p. 57-63, 2004.

NARAYAN, E.; SAWYER, G.; PARISELLA, S. Faecal glucocorticoid metabolites and body temperature in Australian Merino ewes during summer artificial insemination program. **PLoS ONE**, v. 13, n. 1, e0191961, 2018.

NOTTLE, M. B.; KLEEMAN, D. O.; SEAMARK, R. F. Effect of previous undernutrition on the ovulation rate of Merino ewes supplemented with lupin grain. **Animal Reproduction Science**, v. 49, p. 29-36, 1997.

OSÓRIO, J. C. S. et al. **Produção e qualidade de lã**. In: SELAIVE, A. B.; OSÓRIO, J. C. S. (Org.). Produção de ovinos no Brasil. Vila Mariana: Roca, 2014. p. 449-467.

POLLI, V. A. et al. **Estresse térmico e o desempenho produtivo de ovinos: uma revisão**. Medicina Veterinária (UFRPE), v. 14, n. 1, p. 38-47, 2020.

RICCI, G. D. (2025). **Bioclimatologia Animal: Clima, Produção e Bem-estar**. Freitas Bastos.

SAWYER, G.; NARAYAN, E. J. A review on the influence of climate change on sheep reproduction. In: Comparative Endocrinology of Animals. **IntechOpen**, 2019.

SILVA, V. C. D. et al. Bioclimatic spatial zoning for small ruminants in the state of Paraíba, Brazil. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 44, e56099, 2022.

SWARNKAR, C. P. et al. Risk factor analysis for neonatal lamb mortality in Malpura sheep. **Indian Journal of Animal Sciences**, v. 89, n. 6, p. 640-644, 2019.

VAN WETTERE, W. H. et al. Review of the impact of heat stress on reproductive performance of sheep. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 12, n. 1, 26, 2021.

WANJALA, G. et al. A review on the potential effects of environmental and economic factors on sheep genetic diversity: consequences of climate change. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 30, n. 1, 103505, 2022.

ZUREK, E.; FOXCROFT, G. R.; KENNELLY, J. J. Metabolic status and interval in postpartum dairy cows to first ovulation. **Journal of Dairy Science**, v. 78, p. 1909-1920, 1995.

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ANESTESIOLOGIA VETERINÁRIA: APLICAÇÕES NA
PREDIÇÃO DE RISCOS, MONITORIZAÇÃO INTRAOPERATÓRIA E SEGURANÇA
ANESTÉSICA EM GRANDES E PEQUENOS ANIMAIS**

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN VETERINARY ANESTHESIOLOGY: APPLICATIONS IN
RISK PREDICTION, INTRAOPERATIVE MONITORING, AND ANESTHETIC SAFETY IN
LARGE AND SMALL ANIMALS**

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.055-004>

Anderson de Oliveira Freire

Graduando em Zootecnia
UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido
E-mail: andersonoliveira1a1o@gmail.com

Rodrigo Brito de Souza

Graduado em Medicina Veterinária - UFU
Guanambi - Bahia
E-mail: rodrigobs.2646@gmail.com

Ana Thereza Lachowski Bettega Ressetti

Graduanda em Medicina Veterinária - UNICENTRO
Guarapuava - PR
E-mail: ana.vetunicentro@gmail.com

Arllington Rodrigues Ferreira da Costa

Formado em Análise e Desenvolvimento de Sistemas (Tecnólogo) e estudante de Medicina Veterinária
ADS (UNIFATECIE), Medicina Veterinária (UNINTER)
João Pessoa, Paraíba
E-mail: arllingtoncosta@gmail.com

RESUMO

A Inteligência Artificial (IA) tem promovido importantes avanços na medicina veterinária, especialmente na anestesiologia, contribuindo para maior precisão na avaliação clínica, monitorização intraoperatória e prevenção de complicações anestésicas. Este capítulo tem como objetivo analisar as principais aplicações da IA na anestesiologia veterinária de grandes e pequenos animais, destacando seu potencial na predição de riscos, no monitoramento fisiológico em tempo real e no fortalecimento da segurança anestésica. A metodologia adotada consistiu em uma revisão narrativa da literatura científica, fundamentada em artigos publicados em bases de dados nacionais e internacionais, livros especializados e documentos técnicos relacionados à medicina veterinária, inteligência artificial e anestesiologia. Os resultados demonstram que algoritmos de aprendizado de máquina e sistemas inteligentes são capazes de processar grandes volumes de dados clínicos, identificar padrões associados a complicações anestésicas e auxiliar na tomada de decisões durante procedimentos cirúrgicos. Além disso, ferramentas baseadas em IA favorecem a detecção

precoce de alterações cardiovasculares, respiratórias e metabólicas, contribuindo para intervenções mais rápidas e eficazes. Conclui-se que a incorporação da Inteligência Artificial na anestesiologia veterinária representa uma estratégia promissora para aumentar a segurança dos pacientes, otimizar protocolos anestésicos e apoiar o trabalho dos profissionais, embora desafios relacionados à validação clínica e à implementação tecnológica ainda precisem ser superados.

Palavras-chave: Anestesiologia veterinária; Inteligência Artificial; Monitorização intraoperatória; Predição de riscos; Segurança anestésica.

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) has promoted significant advances in veterinary medicine, particularly in anesthesiology, contributing to greater accuracy in clinical assessment, intraoperative monitoring, and prevention of anesthetic complications. This chapter aims to analyze the main applications of AI in veterinary anesthesiology for both large and small animals, highlighting its potential in risk prediction, real-time physiological monitoring, and enhancement of anesthetic safety. The methodology consisted of a narrative literature review based on scientific articles published in national and international databases, specialized books, and technical documents related to veterinary medicine, artificial intelligence, and anesthesiology. The findings indicate that machine learning algorithms and intelligent systems can process large volumes of clinical data, identify patterns associated with anesthetic complications, and support decision-making during surgical procedures. Furthermore, AI-based tools enable the early detection of cardiovascular, respiratory, and metabolic changes, allowing faster and more effective interventions. It is concluded that the integration of Artificial Intelligence into veterinary anesthesiology represents a promising strategy to improve patient safety, optimize anesthetic protocols, and support veterinary professionals, although challenges related to clinical validation and technological implementation still need to be addressed.

Keywords: Anesthetic safety; Artificial Intelligence; Intraoperative monitoring; Risk prediction; Veterinary anesthesiology.

1 INTRODUÇÃO

A anestesiologia veterinária constitui uma área essencial da medicina veterinária, sendo responsável por garantir condições seguras para a realização de procedimentos cirúrgicos, diagnósticos e terapêuticos em diferentes espécies animais. O desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas décadas tem promovido mudanças significativas na prática anestésica, especialmente com a incorporação de ferramentas

digitais capazes de ampliar a precisão clínica e a segurança dos pacientes. Nesse cenário, a Inteligência Artificial (IA) destaca-se como uma das inovações mais promissoras, possibilitando a análise de grandes volumes de dados, a identificação de padrões complexos e o suporte à tomada de decisões clínicas (Russell; Norvig, 2021).

A crescente utilização da IA na área da saúde tem proporcionado avanços importantes em diagnósticos, prognósticos e monitorização de pacientes. Na medicina veterinária, essas tecnologias vêm sendo empregadas para auxiliar na avaliação pré-anestésica, no monitoramento intraoperatório e na prevenção de complicações associadas aos procedimentos anestésicos, tanto em pequenos quanto em grandes animais (Topol, 2019). Contudo, apesar dos avanços tecnológicos, os riscos anestésicos continuam representando um desafio para os profissionais, especialmente em pacientes que apresentam condições clínicas complexas ou que são submetidos a procedimentos de maior duração.

Diante desse contexto, o problema de pesquisa que orienta este estudo consiste em compreender como a Inteligência Artificial pode contribuir para a predição de riscos, a monitorização intraoperatória e o fortalecimento da segurança anestésica em grandes e pequenos animais.

O objetivo geral deste capítulo é analisar as aplicações da Inteligência Artificial na anestesiologia veterinária, com ênfase na predição de riscos, monitorização intraoperatória e segurança anestésica. Como objetivos específicos, busca-se compreender os fundamentos da IA aplicados à medicina veterinária; identificar as principais tecnologias empregadas no monitoramento anestésico; avaliar os benefícios dessas ferramentas na redução de complicações anestésicas; e discutir os desafios e perspectivas futuras relacionados à sua implementação na prática clínica.

A justificativa deste estudo fundamenta-se na necessidade crescente de aprimorar os protocolos anestésicos veterinários, visando reduzir a ocorrência de eventos adversos e aumentar a segurança dos pacientes. De acordo com Broom e Fraser (2015), o bem-estar animal depende diretamente da qualidade da assistência oferecida durante os procedimentos clínicos e cirúrgicos, tornando indispensável a adoção de estratégias que favoreçam diagnósticos mais precisos e intervenções mais eficazes. Nesse sentido, a Inteligência Artificial surge como uma ferramenta capaz de potencializar a atuação dos profissionais, fornecendo suporte baseado em dados e contribuindo para uma medicina veterinária mais segura e eficiente.

Sob a perspectiva teórica, a Inteligência Artificial pode ser definida como um conjunto de métodos computacionais voltados para a simulação de processos de aprendizagem, raciocínio e tomada de decisão semelhantes aos desempenhados por seres humanos (Russell; Norvig, 2021). Entre as tecnologias mais utilizadas destacam-se o aprendizado de máquina (machine learning), as redes neurais artificiais e os sistemas preditivos, capazes de processar grandes quantidades de informações clínicas e identificar fatores associados ao desenvolvimento de complicações (Topol, 2019). Na anestesiologia veterinária, essas ferramentas apresentam potencial para monitorar parâmetros fisiológicos em tempo real, detectar alterações

cardiovasculares e respiratórias precocemente e auxiliar na escolha de protocolos anestésicos mais adequados para cada paciente (Tranquilli; Thurmon; Grimm, 2015).

Dessa forma, a integração entre Inteligência Artificial e anestesiologia veterinária representa uma importante inovação tecnológica, com potencial para aprimorar a qualidade da assistência clínica, aumentar a precisão das decisões médicas e promover maior segurança anestésica em grandes e pequenos animais. A compreensão dessas aplicações torna-se fundamental para o avanço da medicina veterinária contemporânea e para o desenvolvimento de práticas cada vez mais eficientes e seguras.

2 METODOLOGIA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente capítulo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa de natureza qualitativa, com caráter descritivo e exploratório, fundamentada na revisão narrativa da literatura científica. Segundo Gil (2022), pesquisas exploratórias possibilitam maior familiaridade com o tema investigado, enquanto estudos descritivos permitem a análise sistemática de fenômenos e suas características. A escolha dessa abordagem justifica-se pela necessidade de compreender as aplicações da Inteligência Artificial na anestesiologia veterinária, bem como seus impactos na predição de riscos, monitorização intraoperatória e segurança anestésica em grandes e pequenos animais.

A pesquisa bibliográfica constitui uma estratégia amplamente utilizada para a construção do conhecimento científico, permitindo a análise crítica de estudos já publicados e a identificação de tendências e avanços em determinada área do conhecimento (Marconi; Lakatos, 2021).

2.1.1 Abordagem qualitativa

A abordagem qualitativa foi adotada por possibilitar uma compreensão aprofundada dos fenômenos estudados, considerando interpretações, aplicações e contribuições da Inteligência Artificial no contexto da anestesiologia veterinária. Conforme Minayo (2014), esse tipo de abordagem favorece a análise crítica de informações complexas e multidimensionais, especialmente em áreas marcadas por constantes transformações tecnológicas.

2.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados ocorreu por meio do levantamento bibliográfico em livros, artigos científicos, dissertações, teses e documentos técnicos relacionados à Inteligência Artificial, medicina veterinária e anestesiologia veterinária. Foram priorizadas publicações nacionais e internacionais disponíveis em bases de dados reconhecidas, como Scientific Electronic Library Online (SciELO), PubMed, Google Scholar, ScienceDirect e Periódicos CAPES.

Para a seleção do material foram utilizados descritores em português e inglês, incluindo “inteligência artificial”, “anestesiologia veterinária”, “machine learning”, “monitorização anestésica”, “segurança anestésica”, “veterinary anesthesia” e “artificial intelligence”. A busca contemplou principalmente publicações produzidas nos últimos dez anos, sem excluir obras clássicas consideradas fundamentais para a compreensão do tema.

2.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Foram incluídos estudos que abordassem a aplicação da Inteligência Artificial na área da saúde ou especificamente na medicina veterinária, com ênfase em processos anestésicos, monitorização fisiológica e sistemas preditivos. Também foram considerados livros de referência e documentos institucionais relevantes para a temática.

Foram excluídos trabalhos duplicados, publicações sem rigor científico comprovado, estudos com informações insuficientes para análise e materiais que não apresentassem relação direta com a anestesiologia veterinária ou com tecnologias de Inteligência Artificial aplicadas à saúde animal.

2.4 INSTRUMENTOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE

O principal instrumento utilizado foi a análise documental e bibliográfica das fontes selecionadas. As informações coletadas foram organizadas em categorias temáticas relacionadas à predição de riscos anestésicos, monitorização intraoperatória e segurança anestésica. Posteriormente, realizou-se a leitura crítica e interpretativa dos conteúdos, identificando convergências, divergências e contribuições dos estudos analisados.

De acordo com Bardin (2016), a análise de conteúdo possibilita a sistematização e interpretação de informações presentes nos documentos, favorecendo a construção de inferências e discussões fundamentadas cientificamente.

2.5 DISCUSSÃO FUNDAMENTADA DA METODOLOGIA

A utilização da revisão narrativa da literatura mostrou-se adequada para investigar um tema emergente e em constante evolução, como a aplicação da Inteligência Artificial na anestesiologia veterinária. Conforme Russell e Norvig (2021), os avanços em algoritmos inteligentes têm ampliado significativamente as possibilidades de análise e tomada de decisão em diversas áreas da saúde. Nesse contexto, a pesquisa bibliográfica permite reunir evidências científicas capazes de demonstrar o potencial dessas tecnologias para a identificação precoce de riscos anestésicos e para o aprimoramento da monitorização clínica.

Além disso, Topol (2019) destaca que sistemas baseados em Inteligência Artificial podem complementar o trabalho dos profissionais de saúde ao fornecer análises rápidas e precisas de grandes volumes de dados. Na medicina veterinária, essa integração tecnológica pode contribuir para a personalização dos protocolos anestésicos e para a redução de eventos adversos durante procedimentos cirúrgicos. Dessa forma, a metodologia adotada possibilita uma visão ampla e crítica sobre as aplicações atuais e futuras da Inteligência Artificial na anestesiologia veterinária, fornecendo subsídios teóricos para pesquisas posteriores e para a prática clínica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura científica evidenciou que a Inteligência Artificial (IA) tem se consolidado como uma ferramenta inovadora e promissora na anestesiologia veterinária, contribuindo para o aprimoramento da segurança anestésica, da monitorização intraoperatória e da predição de riscos em grandes e pequenos animais. Os estudos analisados demonstram que tecnologias baseadas em aprendizado de máquina, redes neurais artificiais e sistemas preditivos são capazes de processar grandes quantidades de dados clínicos, identificar padrões fisiológicos complexos e auxiliar os profissionais na tomada de decisões durante os procedimentos anestésicos (Russell; Norvig, 2021).

Entre os principais achados encontrados na literatura destaca-se a utilização da IA na avaliação pré-anestésica. Os sistemas inteligentes podem analisar simultaneamente informações relacionadas à espécie, idade, peso corporal, histórico clínico, exames laboratoriais e condições fisiológicas dos pacientes, permitindo uma estimativa mais precisa dos riscos envolvidos no procedimento. Essa capacidade favorece a individualização dos protocolos anestésicos e possibilita intervenções preventivas antes do início da cirurgia. Segundo Topol (2019), algoritmos de aprendizado de máquina apresentam elevado potencial para identificar fatores de risco que muitas vezes não são percebidos por métodos convencionais de avaliação clínica.

Tabela 1 – Principais aplicações da Inteligência Artificial na avaliação pré-anestésica veterinária

Aplicação	Finalidade	Benefício Clínico
Análise de histórico clínico	Identificação de fatores de risco	Planejamento anestésico mais seguro
Avaliação laboratorial automatizada	Detecção de alterações fisiológicas	Redução de complicações
Sistemas preditivos	Estimativa de eventos adversos	Tomada de decisão antecipada
Apoio à escolha de protocolos	Individualização da anestesia	Maior segurança do paciente

Fonte: Elaborada pela autora com base em Topol (2019) e Russell e Norvig (2021).

Outro resultado relevante refere-se à aplicação da Inteligência Artificial na monitorização intraoperatória. Durante os procedimentos anestésicos, diversos parâmetros fisiológicos precisam ser acompanhados continuamente para garantir a estabilidade do paciente. Nesse contexto, sistemas

inteligentes podem processar dados em tempo real provenientes de equipamentos de monitorização, identificando alterações cardiovasculares, respiratórias e metabólicas de forma rápida e precisa. Tranquilli, Thurmon e Grimm (2015) destacam que a monitorização adequada é um dos fatores mais importantes para a redução de complicações anestésicas, sendo potencializada pelo uso de ferramentas computacionais capazes de emitir alertas precoces diante de alterações fisiológicas significativas.

Tabela 2 – Parâmetros monitorados por sistemas de IA durante a anestesia

Parâmetro	Alterações Detectadas	Possíveis Intervenções
Frequência cardíaca	Bradycardia ou taquicardia	Ajuste medicamentoso
Pressão arterial	Hipotensão ou hipertensão	Correção hemodinâmica
Saturação de oxigênio	Hipoxemia	Suporte ventilatório
Frequência respiratória	Depressão respiratória	Ajuste anestésico
Temperatura corporal	Hipotermia	Aquecimento do paciente

Fonte: Adaptada de Tranquilli, Thurmon e Grimm (2015).

Os estudos também demonstraram que a utilização da Inteligência Artificial pode contribuir significativamente para o fortalecimento da segurança anestésica. A capacidade de analisar continuamente informações clínicas reduz a possibilidade de falhas decorrentes exclusivamente da observação humana, permitindo respostas mais rápidas diante de situações críticas. Além disso, os sistemas inteligentes possibilitam o armazenamento e a interpretação de dados provenientes de múltiplos procedimentos anestésicos, favorecendo a construção de modelos preditivos cada vez mais precisos e adaptados às diferentes espécies animais.

Tabela 3 – Benefícios da Inteligência Artificial para a segurança anestésica veterinária

Benefício	Impacto na Prática Clínica
Deteção precoce de complicações	Maior rapidez nas intervenções
Apoio à tomada de decisão	Redução de erros clínicos
Monitorização contínua automatizada	Maior precisão dos dados
Personalização dos protocolos	Melhor resposta anestésica
Análise de grandes volumes de dados	Aprimoramento constante dos sistemas

Fonte: Elaborada pela autora com base em Topol (2019), Russell e Norvig (2021) e Tranquilli, Thurmon e Grimm (2015).

Apesar dos avanços identificados, a literatura aponta alguns desafios para a ampla implementação da Inteligência Artificial na anestesiologia veterinária. Entre eles destacam-se os elevados custos de determinadas tecnologias, a necessidade de validação clínica dos algoritmos e a escassez de bancos de dados específicos para algumas espécies animais. Russell e Norvig (2021) ressaltam que a eficácia dos sistemas inteligentes depende diretamente da qualidade dos dados utilizados em seu treinamento, tornando

fundamental a ampliação de pesquisas voltadas para a construção de bases de dados veterinárias robustas e representativas.

Outro aspecto frequentemente mencionado refere-se à capacitação dos profissionais para o uso adequado dessas tecnologias. Embora a IA ofereça suporte valioso à prática clínica, ela não substitui o conhecimento técnico e a experiência do médico-veterinário. Pelo contrário, seu uso eficiente depende da interpretação crítica dos resultados gerados pelos sistemas computacionais e da integração dessas informações ao julgamento clínico profissional.

Diante dos resultados analisados, observa-se que a Inteligência Artificial apresenta elevado potencial para transformar a anestesiologia veterinária, promovendo avanços significativos na predição de riscos, monitorização intraoperatória e segurança anestésica. Os benefícios identificados sugerem que a incorporação dessas tecnologias poderá contribuir para procedimentos mais seguros, precisos e individualizados, beneficiando tanto os profissionais quanto os pacientes. Entretanto, a consolidação dessa inovação dependerá da realização de novos estudos, da validação contínua das ferramentas disponíveis e da ampliação do acesso às tecnologias no contexto da medicina veterinária contemporânea.

4 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo analisar as aplicações da Inteligência Artificial na anestesiologia veterinária, com enfoque na predição de riscos, monitorização intraoperatória e segurança anestésica em grandes e pequenos animais. Buscou-se compreender os fundamentos dessa tecnologia no contexto da medicina veterinária, identificar suas principais formas de aplicação e discutir seus benefícios e limitações para a prática clínica contemporânea.

Os resultados obtidos por meio da revisão da literatura demonstraram que a Inteligência Artificial representa uma importante ferramenta de apoio à anestesiologia veterinária. Os estudos analisados evidenciaram que sistemas baseados em aprendizado de máquina e algoritmos preditivos são capazes de processar grandes volumes de dados clínicos, identificar fatores de risco anestésico e auxiliar na tomada de decisões durante os procedimentos cirúrgicos. Além disso, verificou-se que a monitorização intraoperatória assistida por Inteligência Artificial favorece a detecção precoce de alterações fisiológicas, contribuindo para intervenções mais rápidas e eficazes e, consequentemente, para a redução de complicações anestésicas.

Outro aspecto relevante identificado foi o potencial dessas tecnologias para promover a personalização dos protocolos anestésicos, considerando as características individuais de cada paciente. Essa capacidade amplia a precisão das condutas clínicas e fortalece os princípios de segurança e bem-estar animal, aspectos fundamentais para a medicina veterinária moderna.

Como contribuição, este estudo reúne e sistematiza conhecimentos recentes sobre a utilização da Inteligência Artificial na anestesiologia veterinária, fornecendo subsídios teóricos para estudantes,

pesquisadores e profissionais da área. Além disso, evidencia a importância da integração entre inovação tecnológica e prática clínica, destacando o papel da IA como ferramenta complementar ao conhecimento e à experiência do médico-veterinário.

Entretanto, apesar dos avanços observados, ainda existem desafios relacionados à validação dos algoritmos, à disponibilidade de bancos de dados específicos para diferentes espécies e à capacitação profissional para utilização dessas ferramentas. Nesse sentido, sugere-se que pesquisas futuras investiguem a aplicação prática de sistemas inteligentes em ambientes clínicos veterinários, avaliem sua eficácia em diferentes espécies animais e desenvolvam modelos preditivos cada vez mais precisos e adaptados às necessidades da anestesiologia veterinária.

Conclui-se, portanto, que a Inteligência Artificial possui grande potencial para transformar a anestesiologia veterinária, contribuindo para procedimentos mais seguros, eficientes e individualizados. Sua incorporação progressiva à prática clínica representa uma tendência promissora para o futuro da medicina veterinária, com impactos positivos na qualidade da assistência prestada e na segurança dos pacientes animais.

REFERÊNCIAS

BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2016.

BROOM, Donald M.; FRASER, Andrew F. Comportamento e bem-estar de animais domésticos. 5. ed. Barueri: Manole, 2015.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de metodologia científica. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 34. ed. Petrópolis: Vozes, 2014.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4. ed. Hoboken: Pearson, 2021.

TOPOL, Eric. Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. New York: Basic Books, 2019.

TRANQUILLI, William J.; THURMON, John C.; GRIMM, Kurt A. Lumb & Jones' Veterinary Anesthesia and Analgesia. 5. ed. Ames: Wiley Blackwell, 2015.

WOLFENSOHN, Sarah; LLOYD, Maggie. Handbook of Laboratory Animal Management and Welfare. 4. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2013.

YOUNG, L. E.; TAYLOR, P. M. Veterinary Anaesthesia and Analgesia. Oxford: Blackwell Science, 2012.

SUPLEMENTAÇÃO DE COMPOSTOS ANTIOXIDANTES EM DIETAS DE MATRIZES DE REPRODUÇÃO AVÍCOLA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

SUPPLEMENTATION OF ANTIOXIDANT COMPOUNDS IN POULTRY BREEDER DIETS: A REVIEW

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.055-005>

Amanda de Moura Dani

Mestranda em Zootecnia

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

E-mail: amandadani0202@gmail.com

Marcela Arruda Ziegler

Graduanda em Zootecnia

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

E-mail: Marcela.arruda@acad.ufsm.br

Manuela Castilho Matsdolf de Mello

Graduanda em Zootecnia

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

E-mail: manuelamellocastilho@gmail.com

Nycole Trindade Gomes

Graduanda em Zootecnia

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

E-mail: nycolettrindade@hotmail.com

Pedro Henrique Caetano Greff

Graduando em Zootecnia

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

E-mail: pedro.greff@acad.ufsm.br

Fernando Cruz

Graduando em Medicina Veterinária

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

E-mail: fernando.maciell@acad.ufsm.br

Maria Eduarda Tizziani Scheffer

Graduanda em Medicina Veterinária

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

E-mail: maria.scheffer@acad.ufsm

Ana Cecília Blini

Graduanda em Medicina Veterinária

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

E-mail: cecilia.blini@acad.ufsm.br

Alexandre Pires Rosa

Professor Titular no Departamento de Zootecnia – UFSM

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

E-mail: alexandreprosa@gmail.com

Vladimir de Oliveira

Professor no Departamento de Zootecnia – UFSM

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

E-mail: vladimir.oliveira@ufsm.br

Resumo

A suplementação de compostos antioxidantes em dietas de matrizes de reprodução avícola tem recebido crescente atenção devido ao seu potencial para minimizar os efeitos do estresse oxidativo e melhorar a eficiência reprodutiva das aves. Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica que teve como objetivo analisar os principais antioxidantes utilizados na nutrição de matrizes avícolas, seus mecanismos de ação e seus efeitos sobre a fertilidade, a incubabilidade e a qualidade da progênie. A metodologia adotada baseou-se na consulta e análise de artigos científicos, livros e documentos técnicos relacionados ao estresse oxidativo, aos sistemas antioxidantes e à reprodução avícola. A literatura demonstra que fatores como envelhecimento, elevada taxa metabólica e estresse térmico favorecem a ocorrência de estresse oxidativo, comprometendo a qualidade dos gametas, dos ovos incubáveis e do desenvolvimento embrionário. Os resultados evidenciam que antioxidantes como vitamina E, selênio, vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos atuam na neutralização de espécies reativas de oxigênio, na proteção das membranas celulares e no fortalecimento dos sistemas antioxidantes endógenos. Conclui-se que a utilização desses compostos constitui uma importante estratégia nutricional para preservar a saúde reprodutiva das matrizes, melhorar os índices de fertilidade e incubabilidade e promover a obtenção de progênies mais saudáveis e com maior potencial produtivo.

Palavras-chave: Antioxidantes; Estresse oxidativo; Fertilidade; Incubabilidade; Matrizes avícolas.

Abstract

The supplementation of antioxidant compounds in poultry breeder diets has received increasing attention due to its potential to mitigate the effects of oxidative stress and improve the reproductive efficiency of birds. This study consists of a literature review aimed at analyzing the main antioxidants used in poultry breeder nutrition, their mechanisms of action, and their effects on fertility, hatchability, and progeny quality. The methodology was based on the consultation and analysis of scientific articles, books, and technical documents related to oxidative stress, antioxidant systems, and poultry reproduction. The literature indicates that factors such as aging, high metabolic rate and heat stress favor the occurrence of oxidative

stress, compromising gamete quality, hatching egg quality, and embryonic development. The findings demonstrate that antioxidants such as vitamin E, selenium, vitamin C, carotenoids and phenolic compounds, act by neutralizing reactive oxygen species, protecting cellular membranes, and enhancing endogenous antioxidant systems. It can be concluded that the use of these compounds represents an important nutritional strategy to preserve the reproductive health of breeder birds, improve fertility and hatchability rates, and promote the production of healthier offspring with greater productive potential.

Keywords: Antioxidants; Fertility; Hatchability; Oxidative stress; Poultry breeders.

1 INTRODUÇÃO

A avicultura figura entre os setores mais dinâmicos da produção animal mundial, desempenhando papel fundamental no fornecimento de proteína de alto valor biológico para a população. Os avanços obtidos nas áreas de genética, nutrição, sanidade e manejo permitiram expressivos ganhos de produtividade nas últimas décadas, resultando em aves com elevado potencial de desempenho produtivo e reprodutivo. Nesse contexto, as matrizes avícolas ocupam posição estratégica dentro da cadeia produtiva, uma vez que sua eficiência reprodutiva influencia diretamente a produção de ovos incubáveis, a fertilidade, a eclodibilidade e a qualidade da progênie (Surai, 2020).

A obtenção de pintos de alta qualidade constitui um dos principais objetivos dos sistemas modernos de produção avícola, pois características como viabilidade embrionária, desenvolvimento inicial e desempenho produtivo futuro estão intimamente relacionadas às condições fisiológicas e nutricionais das aves reprodutoras. Entretanto, a manutenção do desempenho reprodutivo ao longo do ciclo produtivo representa um desafio crescente para a indústria avícola. Com o avanço da idade, matrizes e reprodutores apresentam redução gradual da fertilidade, da qualidade dos gametas e da viabilidade embrionária, fenômeno frequentemente associado ao envelhecimento fisiológico dos tecidos reprodutivos (Liu et al., 2018; Ren et al., 2021).

Entre os fatores relacionados a esse declínio reprodutivo, destaca-se o estresse oxidativo, caracterizado pelo desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio e a capacidade dos sistemas antioxidantes do organismo em neutralizá-las. Esse processo pode resultar em danos oxidativos a lipídios, proteínas e ácidos nucleicos, comprometendo a integridade dos gametas, a qualidade dos ovos incubáveis e o desenvolvimento embrionário. Devido à elevada concentração de ácidos graxos poli-insaturados presentes nos espermatozoides e nos tecidos embrionários, o sistema reprodutivo das aves apresenta elevada susceptibilidade à peroxidação lipídica e aos seus efeitos deletérios (Surai, 2016; Fisinin et al., 2019).

Além dos impactos sobre os gametas, os processos oxidativos podem comprometer a qualidade dos ovos incubáveis e o desenvolvimento embrionário. Durante o armazenamento dos ovos e o período de incubação, a oxidação dos componentes lipídicos da gema pode reduzir a disponibilidade energética para o embrião e favorecer a formação de metabólitos tóxicos, contribuindo para perdas de incubabilidade e redução da qualidade dos pintos ao nascimento (Surai et al., 2018; Karadas et al., 2005).

Diante desse cenário, a suplementação dietética com compostos antioxidantes tem despertado crescente interesse como estratégia nutricional para minimizar os efeitos do estresse oxidativo em aves reprodutoras. Entre os compostos mais estudados destacam-se a vitamina E, o selênio, a vitamina C, os carotenoides e, mais recentemente, os compostos fenólicos e extratos vegetais ricos em flavonoides, taninos e ácidos fenólicos. Esses compostos atuam na neutralização de radicais livres, na proteção das membranas celulares e no fortalecimento dos sistemas antioxidantes endógenos, podendo contribuir para melhorias na fertilidade, qualidade seminal, incubabilidade e desempenho da progênie (Attia et al., 2019; Surai et al., 2024).

A relevância deste tema está relacionada à necessidade de estratégias nutricionais capazes de preservar a eficiência reprodutiva das matrizes avícolas e garantir a produção de pintos de alta qualidade. Considerando a importância econômica da reprodução para a cadeia avícola, torna-se fundamental compreender os mecanismos pelos quais os antioxidantes atuam na mitigação dos efeitos do estresse oxidativo e seus reflexos sobre os índices produtivos e reprodutivos das aves.

O objetivo geral deste trabalho é revisar a literatura científica acerca da suplementação de compostos antioxidantes em dietas de matrizes de reprodução avícola, abordando seus mecanismos de ação e seus efeitos sobre a fertilidade, a incubabilidade, a qualidade dos ovos incubáveis e o desempenho da progênie. Especificamente, busca-se descrever os principais mecanismos envolvidos no estresse oxidativo em aves reprodutoras, apresentar os sistemas antioxidantes endógenos e exógenos, bem como discutir os principais compostos antioxidantes utilizados na nutrição de matrizes avícolas e seus impactos sobre a reprodução.

2 ESTRESSE OXIDATIVO

O estresse oxidativo pode ser definido como uma condição fisiológica caracterizada pelo desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio (Reactive Oxygen Species – ROS) e a capacidade dos sistemas antioxidantes do organismo em neutralizá-las ou reparar os danos causados por sua ação. Quando a geração de compostos oxidantes excede os mecanismos de defesa antioxidante, ocorre o acúmulo de moléculas altamente reativas capazes de promover alterações estruturais e funcionais em diferentes componentes celulares, incluindo lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (Sies, 2015; Surai, 2016).

As espécies reativas de oxigênio são produzidas continuamente durante o metabolismo aeróbio normal, principalmente na cadeia transportadora de elétrons mitocondrial. Entre as principais ROS

destacam-se o ânion superóxido (O_2^-), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o radical hidroxila ($OH^\bullet$). Em condições fisiológicas, essas moléculas desempenham funções importantes na sinalização celular, na resposta imune e na regulação de processos metabólicos. No entanto, sua produção excessiva pode resultar em danos oxidativos e comprometimento da homeostase celular (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Nas aves, a ocorrência de estresse oxidativo é particularmente relevante devido à elevada taxa metabólica, ao intenso consumo de oxigênio e à alta concentração de ácidos graxos poli-insaturados presentes nas membranas celulares. Essas características tornam os tecidos das aves mais suscetíveis aos processos de oxidação, especialmente durante períodos de elevada demanda fisiológica, como crescimento acelerado, produção de ovos, reprodução e incubação (Surai, 2016; Fisinin et al., 2019).

Um dos principais mecanismos associados ao estresse oxidativo é a peroxidação lipídica, processo no qual os radicais livres atacam os ácidos graxos poli-insaturados das membranas celulares, desencadeando reações em cadeia que comprometem a integridade estrutural e funcional das células. Como consequência, podem ocorrer alterações na permeabilidade das membranas, disfunção mitocondrial, danos ao DNA e ativação de processos apoptóticos, culminando em prejuízos ao desempenho produtivo e reprodutivo das aves (Ayala; Muñoz; Argüelles, 2014).

Para minimizar os efeitos deletérios das ROS, os organismos dispõem de um complexo sistema antioxidante composto por mecanismos enzimáticos e não enzimáticos. Entre os principais antioxidantes enzimáticos destacam-se a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT) e a glutational peroxidase (GPx), enquanto vitaminas, minerais e compostos bioativos provenientes da dieta atuam como antioxidantes exógenos complementares. A interação entre esses sistemas é fundamental para a manutenção do equilíbrio redox e para a proteção dos tecidos contra danos oxidativos (Surai, 2020).

No contexto da reprodução avícola, o estresse oxidativo tem sido associado à redução da qualidade dos gametas, diminuição da fertilidade, aumento da mortalidade embrionária e comprometimento da qualidade da progênie. Dessa forma, a compreensão dos mecanismos envolvidos na geração e no controle das espécies reativas de oxigênio é essencial para o desenvolvimento de estratégias nutricionais que contribuam para a manutenção da eficiência reprodutiva das matrizes avícolas (Surai et al., 2018; Ren et al., 2021).

2.1 FATORES QUE FAVORECEM O ESTRESSE OXIDATIVO

2.1.1 Idade das aves como fator predisponente ao estresse oxidativo

A idade das aves é considerada um dos principais fatores associados ao desenvolvimento do estresse oxidativo em matrizes avícolas. À medida que o organismo envelhece, ocorre um desequilíbrio progressivo entre a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) e a capacidade dos sistemas antioxidantes de

neutralizá-las, resultando no acúmulo de danos oxidativos em diferentes tecidos e órgãos (Surai, 2016; Ren et al., 2021).

O envelhecimento é um processo biológico complexo caracterizado por alterações fisiológicas que afetam a eficiência metabólica e a capacidade de manutenção da homeostase celular. Durante esse processo, as mitocôndrias tornam-se menos eficientes na produção de energia, aumentando o escape de elétrons na cadeia respiratória e, conseqüentemente, a formação de radicais livres. Paralelamente, observa-se redução da atividade de importantes enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutathione peroxidase (GPx), tornando os tecidos mais vulneráveis aos danos oxidativos (Harman, 2001; Surai, 2020).

Em aves reprodutoras, os efeitos do envelhecimento sobre o estado oxidativo são particularmente relevantes devido à elevada demanda metabólica associada à reprodução. Em matrizes pesadas e poedeiras comerciais, a idade avançada está frequentemente associada à redução da qualidade dos ovos incubáveis, diminuição da fertilidade e aumento da mortalidade embrionária. Diversos estudos sugerem que parte desses efeitos está relacionada ao aumento da peroxidação lipídica e ao comprometimento dos mecanismos antioxidantes que protegem os tecidos reprodutivos e os gametas contra a ação dos radicais livres (Liu et al., 2018; Ren et al., 2021).

Nos machos, o envelhecimento também está relacionado à deterioração da qualidade seminal. Os espermatozoides possuem membranas ricas em ácidos graxos poli-insaturados, tornando-os altamente susceptíveis à peroxidação lipídica. O aumento do estresse oxidativo pode comprometer a motilidade, a viabilidade e a integridade do DNA espermático, resultando em menor capacidade fecundante. Além disso, estudos demonstram que a atividade antioxidante presente no plasma seminal tende a diminuir com a idade, contribuindo para o declínio da fertilidade observado em galos mais velhos (Rocha et al., 2013; Opuwari; Henkel, 2016).

Nas fêmeas, o envelhecimento também afeta a qualidade dos ovócitos e a composição dos ovos incubáveis. Com o avanço da idade, observa-se redução da eficiência dos mecanismos de proteção antioxidante presentes na gema, aumentando a susceptibilidade dos lipídios à oxidação. Como consequência, podem ocorrer alterações no desenvolvimento embrionário, redução da eclodibilidade e diminuição da qualidade dos pintos ao nascimento (Surai et al., 2018). Além disso, matrizes mais velhas apresentam menor capacidade de deposição de antioxidantes no ovo, reduzindo a proteção do embrião durante os períodos de incubação e pós-eclosão (Karadas et al., 2005).

Nesse contexto, a idade das aves deve ser considerada um importante fator de risco para o estabelecimento do estresse oxidativo em sistemas de reprodução avícola. O aumento da produção de espécies reativas de oxigênio associado à redução da eficiência dos mecanismos antioxidantes contribui

para o comprometimento da função reprodutiva de machos e fêmeas, justificando a adoção de estratégias nutricionais que auxiliem na manutenção do equilíbrio redox ao longo do ciclo produtivo.

2.1.2 Elevada taxa metabólica e produção de espécies reativas de oxigênio

As aves apresentam naturalmente uma elevada taxa metabólica quando comparadas a outras espécies de produção, característica associada à manutenção da temperatura corporal, ao rápido crescimento e à intensa atividade fisiológica. Em matrizes avícolas, essa condição é ainda mais evidente devido à elevada demanda energética necessária para sustentar processos reprodutivos como a produção de ovos, a formação dos gametas e a manutenção das funções metabólicas relacionadas à reprodução (Surai, 2016).

A produção de energia celular ocorre principalmente nas mitocôndrias por meio da fosforilação oxidativa. Durante esse processo, elétrons são transferidos ao longo da cadeia transportadora de elétrons para a geração de adenosina trifosfato (ATP). No entanto, uma pequena proporção desses elétrons pode escapar prematuramente e reagir com o oxigênio molecular, formando espécies reativas de oxigênio (ROS), especialmente o ânion superóxido (O_2^-). Embora essa produção seja considerada um fenômeno fisiológico normal, o aumento da atividade metabólica resulta em maior consumo de oxigênio e, consequentemente, em maior geração de radicais livres (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Nas matrizes de reprodução, a elevada taxa de postura e a intensa atividade dos órgãos reprodutivos aumentam significativamente as exigências energéticas do organismo. A síntese contínua de proteínas, lipídios e outros componentes necessários para a formação dos ovos exige intensa atividade metabólica, favorecendo a produção de ROS. Quando a capacidade antioxidante do organismo não acompanha esse aumento, ocorre um desequilíbrio redox que pode comprometer a integridade celular e o desempenho reprodutivo das aves (Surai; Fisinin, 2016).

Além disso, os avanços obtidos por meio do melhoramento genético contribuíram para o desenvolvimento de aves altamente produtivas, capazes de apresentar elevados índices de produção de ovos e eficiência alimentar. Embora esses avanços tenham proporcionado ganhos expressivos para a cadeia avícola, eles também aumentaram a pressão metabólica sobre os animais. Estudos sugerem que aves modernas apresentam maior susceptibilidade ao estresse oxidativo em comparação às linhagens utilizadas anteriormente, devido ao aumento da atividade metabólica e da demanda por nutrientes envolvidos nos sistemas de defesa antioxidante (Fisinin et al., 2019).

A elevada produção de espécies reativas de oxigênio decorrente do metabolismo intenso pode desencadear danos oxidativos em diferentes tecidos. Os lipídios das membranas celulares são particularmente susceptíveis à ação dos radicais livres, especialmente em células reprodutivas que

apresentam elevada concentração de ácidos graxos poli-insaturados. Dessa forma, a peroxidação lipídica pode comprometer a qualidade dos ovos incubáveis e o desenvolvimento embrionário.

Além dos danos aos lipídios, o excesso de ROS também pode promover alterações em proteínas e ácidos nucleicos, interferindo em processos celulares fundamentais, como divisão celular, expressão gênica e síntese proteica. Em situações prolongadas, esses danos podem reduzir a eficiência produtiva das aves e acelerar os efeitos do envelhecimento reprodutivo (Sies, 2015).

Dessa forma, a elevada taxa metabólica inerente às aves modernas representa um importante fator predisponente ao estresse oxidativo. Considerando a estreita relação entre metabolismo energético e produção de espécies reativas de oxigênio, estratégias nutricionais voltadas ao fortalecimento dos mecanismos antioxidantes tornam-se fundamentais para preservar a saúde reprodutiva e maximizar o potencial produtivo das matrizes avícolas.

2.2 CONSEQUÊNCIAS DO ESTRESSE OXIDATIVO

O estresse oxidativo pode comprometer diversos processos fisiológicos por meio da ação excessiva de espécies reativas de oxigênio (ROS) sobre estruturas celulares essenciais. Quando a produção dessas moléculas excede a capacidade dos mecanismos antioxidantes de neutralizá-las, ocorre uma série de alterações bioquímicas que afetam a integridade e a funcionalidade das células, podendo resultar em prejuízos ao desempenho produtivo, reprodutivo e à saúde das aves (Surai, 2016; Sies, 2015).

Os danos oxidativos são observados principalmente em lipídios, proteínas e ácidos nucleicos. As membranas celulares constituem um dos principais alvos dos radicais livres devido à elevada concentração de ácidos graxos poli-insaturados presentes em sua composição. A oxidação desses compostos desencadeia reações em cadeia que comprometem a estrutura e a permeabilidade das membranas, alterando o funcionamento celular e favorecendo processos degenerativos (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Além das alterações lipídicas, as espécies reativas de oxigênio podem promover modificações estruturais em proteínas, afetando a atividade enzimática, o transporte de nutrientes e diversos mecanismos de sinalização celular. Da mesma forma, danos oxidativos ao DNA podem resultar em mutações, alterações na expressão gênica e ativação de processos de morte celular programada, contribuindo para o comprometimento da funcionalidade dos tecidos (Sies, 2015).

No sistema reprodutivo das aves, esses efeitos assumem especial relevância devido à elevada sensibilidade dos gametas e dos tecidos embrionários aos processos oxidativos. O excesso de radicais livres pode comprometer a qualidade dos espermatozoides, dos ovócitos e dos ovos incubáveis, reduzindo a eficiência reprodutiva e a viabilidade da progênie (Surai et al., 2018).

Dessa forma, as principais consequências do estresse oxidativo em matrizes avícolas incluem a peroxidação lipídica das membranas celulares, alterações em proteínas e material genético, redução da

qualidade dos gametas, prejuízos ao desenvolvimento embrionário e comprometimento dos índices de fertilidade e incubabilidade. A magnitude desses efeitos depende da intensidade e da duração do desequilíbrio oxidativo, bem como da capacidade antioxidante do organismo em restabelecer a homeostase celular (REN et al., 2021).

2.2.1 Peroxidação lipídica

A peroxidação lipídica é considerada uma das principais consequências do estresse oxidativo em sistemas biológicos. Esse processo ocorre quando espécies reativas de oxigênio atacam os ácidos graxos poli-insaturados presentes nas membranas celulares, iniciando uma reação em cadeia capaz de gerar compostos altamente reativos e potencialmente tóxicos, como o malondialdeído (MDA) e o 4-hidroxinonenal (4-HNE) (Ayala et al., 2014).

Em aves reprodutoras, a peroxidação lipídica assume papel particularmente importante devido à elevada concentração de lipídios presentes nos tecidos reprodutivos, nos espermatozoides e na gema dos ovos. Os espermatozoides são especialmente susceptíveis à ação dos radicais livres, pois suas membranas apresentam altas concentrações de ácidos graxos poli-insaturados necessários para garantir a fluidez e funcionalidade celular. Como consequência, a oxidação desses lipídios pode reduzir a motilidade, a viabilidade e a capacidade fecundante das células espermáticas (Opuwari; Henkel, 2016).

Nas matrizes fêmeas, a peroxidação dos lipídios presentes na gema pode comprometer a disponibilidade de nutrientes e energia para o desenvolvimento embrionário. Além disso, os produtos gerados durante a oxidação lipídica podem exercer efeitos citotóxicos, contribuindo para o aumento da mortalidade embrionária e para a redução da eclodibilidade dos ovos incubáveis (Surai et al., 2003).

Outro aspecto relevante refere-se ao armazenamento dos ovos. Durante esse período, os processos oxidativos podem continuar ocorrendo, especialmente quando as condições de temperatura e tempo de armazenamento não são adequadas. A oxidação progressiva dos lipídios da gema pode reduzir a qualidade dos ovos incubáveis e comprometer o desempenho dos embriões durante a incubação (Cherian et al., 2007).

Portanto, a peroxidação lipídica representa um dos principais mecanismos pelos quais o estresse oxidativo afeta a reprodução avícola, justificando o crescente interesse pela utilização de estratégias nutricionais antioxidantes capazes de preservar a integridade dos tecidos reprodutivos, dos gametas e dos ovos incubáveis.

2.2.2 Impactos do estresse oxidativo sobre a qualidade seminal

A qualidade seminal é um dos principais determinantes da eficiência reprodutiva em aves, sendo diretamente influenciada pela integridade estrutural e funcional dos espermatozoides. Nesse contexto, o

estresse oxidativo tem sido apontado como um dos principais fatores responsáveis pela deterioração da qualidade do sêmen em machos reprodutores, especialmente em aves submetidas a condições de elevada demanda metabólica, envelhecimento ou desafios ambientais (Surai, 2016; Opuwari; Henkel, 2016).

Embora pequenas quantidades de espécies reativas de oxigênio (ROS) desempenhem funções fisiológicas importantes na capacitação espermática, na motilidade e nos processos de fertilização, a produção excessiva dessas moléculas pode resultar em danos severos às células espermáticas. Os espermatozoides são particularmente susceptíveis ao estresse oxidativo devido à elevada concentração de ácidos graxos poli-insaturados presentes em suas membranas plasmáticas e à limitada quantidade de citoplasma, o que reduz significativamente a disponibilidade de sistemas antioxidantes intracelulares (Aitken; Baker, 2006).

Além dos danos às membranas, o estresse oxidativo também pode afetar estruturas intracelulares importantes para o desempenho espermático. As mitocôndrias, localizadas na peça intermediária dos espermatozoides, são responsáveis pela produção de energia necessária para a movimentação celular. A ação excessiva das ROS pode comprometer a função mitocondrial e reduzir a produção de ATP, resultando em menor motilidade e vigor espermático (Surai; Fisinin, 2016).

Em galos reprodutores, diversos estudos demonstram associação entre o aumento do estresse oxidativo e a redução de parâmetros seminais como motilidade, vigor, concentração espermática e percentual de células morfolologicamente normais. Além disso, o envelhecimento das aves está frequentemente relacionado à diminuição da atividade antioxidante presente no plasma seminal, aumentando a susceptibilidade dos espermatozoides aos danos oxidativos e contribuindo para o declínio da fertilidade observado em lotes mais velhos (Rocha et al., 2013; Triques et al., 2016).

A proteção antioxidante dos espermatozoides depende da ação conjunta de enzimas antioxidantes presentes no plasma seminal, como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutathione peroxidase (GPx), além de antioxidantes não enzimáticos obtidos pela dieta, incluindo vitamina E, selênio, carotenoides e compostos fenólicos. Dessa forma, estratégias nutricionais voltadas ao fortalecimento desses mecanismos têm sido amplamente estudadas como alternativas para melhorar a qualidade seminal e preservar a fertilidade dos machos reprodutores (Surai, 2020).

3 SISTEMA ANTIOXIDANTE DAS AVES

Os organismos aeróbios desenvolveram ao longo da evolução um complexo sistema de defesa antioxidante capaz de controlar a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) e minimizar os danos causados por essas moléculas. Em aves, esse sistema é particularmente importante devido à elevada taxa metabólica característica da espécie e às intensas demandas fisiológicas associadas ao crescimento, produção de ovos, reprodução e desenvolvimento embrionário (Surai, 2016).

O sistema antioxidante atua de forma integrada para manter o equilíbrio redox celular, prevenindo que a produção de radicais livres ultrapasse a capacidade de neutralização do organismo. Esse sistema é composto por mecanismos enzimáticos e não enzimáticos que atuam em diferentes compartimentos celulares, removendo espécies reativas antes que elas possam causar danos a lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (Fisinin et al., 2019).

De maneira geral, os antioxidantes podem ser classificados em endógenos, quando produzidos pelo próprio organismo, e exógenos, quando obtidos por meio da alimentação. Os antioxidantes endógenos constituem a primeira linha de defesa contra o estresse oxidativo e incluem principalmente enzimas especializadas na detoxificação das espécies reativas de oxigênio, destacando-se a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT) e a glutathione peroxidase (GPx) (Surai; Fisinin, 2016).

A eficiência desses sistemas é fundamental para a manutenção da saúde e da função reprodutiva das aves. Alterações na atividade dessas enzimas têm sido associadas ao envelhecimento, ao estresse térmico, aos desafios sanitários e à redução da fertilidade e da eclodibilidade em matrizes avícolas. Dessa forma, compreender os mecanismos de atuação dos antioxidantes endógenos é essencial para entender como o organismo das aves responde aos desafios oxidativos e como estratégias nutricionais podem contribuir para fortalecer esses mecanismos de defesa (Ren et al., 2021).

3.1 SISTEMA ANTIOXIDANTE ENDÓGENO

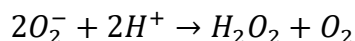
O sistema antioxidante endógeno constitui a principal barreira de proteção contra os efeitos deletérios das espécies reativas de oxigênio produzidas durante o metabolismo celular. Esse sistema é formado por um conjunto de enzimas que atuam de maneira coordenada para neutralizar diferentes radicais livres e impedir que estes promovam danos oxidativos às estruturas celulares (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Entre as principais enzimas antioxidantes presentes nos tecidos das aves destacam-se a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT) e a glutathione peroxidase (GPx), consideradas os componentes centrais da defesa antioxidante celular. Essas enzimas atuam sequencialmente na eliminação das espécies reativas de oxigênio, convertendo moléculas altamente reativas em compostos menos tóxicos e mais facilmente eliminados pelo organismo (Surai, 2016).

3.1.1 Superóxido Dismutase (SOD)

A superóxido dismutase (SOD) é considerada a primeira linha de defesa enzimática contra o estresse oxidativo. Sua principal função consiste em catalisar a conversão do radical superóxido (O_2^-), uma das primeiras espécies reativas produzidas durante o metabolismo aeróbico, em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio molecular (O_2) (Mccord; Fridovich, 1969).

A reação catalisada pela SOD pode ser representada da seguinte forma:

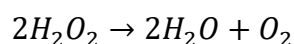


Embora o peróxido de hidrogênio seja menos reativo que o radical superóxido, ele ainda apresenta potencial tóxico e necessita ser posteriormente removido por outras enzimas antioxidantes, como a catalase e a glutathione peroxidase. Dessa forma, a atuação da SOD representa o primeiro passo de uma cascata de proteção antioxidante altamente integrada (Surai et al., 2018). Nas aves, diferentes isoformas da SOD estão presentes em compartimentos celulares específicos. A Cu/Zn-SOD encontra-se predominantemente no citoplasma, enquanto a Mn-SOD está localizada nas mitocôndrias, local onde ocorre grande parte da produção de espécies reativas de oxigênio. Existe ainda uma forma extracelular da enzima, responsável pela proteção antioxidante em fluidos biológicos e tecidos extracelulares (Surai, 2016). Diversos estudos demonstram que alterações na atividade da SOD estão associadas a condições de estresse térmico, envelhecimento e desafios sanitários em aves. A redução da atividade dessa enzima pode favorecer o acúmulo de radicais superóxido e aumentar a susceptibilidade dos tecidos aos danos oxidativos, comprometendo funções fisiológicas importantes, incluindo a reprodução (Fisinin et al., 2019).

3.1.2 Catalase (CAT)

A catalase (CAT) é uma enzima antioxidante responsável pela decomposição do peróxido de hidrogênio gerado durante o metabolismo celular e pela ação da superóxido dismutase. Sua função é impedir o acúmulo de H_2O_2 , evitando que essa molécula participe da reação de Fenton e origine o radical hidroxila ($OH^\bullet$), considerado uma das espécies reativas mais agressivas aos sistemas biológicos (Halliwell; Gutteridge, 2015).

A reação catalisada pela catalase pode ser descrita da seguinte forma:



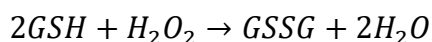
A catalase encontra-se principalmente nos peroxissomos, organelas especializadas em processos oxidativos e na detoxificação celular. Sua elevada eficiência catalítica permite a rápida conversão de grandes quantidades de peróxido de hidrogênio em água e oxigênio, protegendo as células contra danos oxidativos (Surai, 2016). Em aves reprodutoras, a atividade da catalase tem sido relacionada à manutenção da integridade dos tecidos reprodutivos e à proteção dos gametas contra os efeitos deletérios do estresse

oxidativo. Reduções na atividade dessa enzima podem resultar em maior susceptibilidade à peroxidação lipídica e comprometimento da qualidade seminal e embrionária (Ren et al., 2021).

3.1.3 Glutationa Peroxidase (GPx)

A glutathione peroxidase (GPx) é considerada uma das mais importantes enzimas antioxidantes do organismo, desempenhando papel fundamental na neutralização do peróxido de hidrogênio e dos hidroperóxidos lipídicos produzidos durante os processos oxidativos. Diferentemente da catalase, que atua principalmente sobre o peróxido de hidrogênio, a GPx também é capaz de reduzir produtos da peroxidação lipídica, protegendo diretamente as membranas celulares contra danos oxidativos (Surai, 2020).

A ação da GPx ocorre por meio da utilização da glutathione reduzida (GSH) como doadora de elétrons:



Um aspecto importante dessa enzima é sua dependência do selênio. O mineral integra o sítio ativo da GPx na forma do aminoácido selenocisteína, sendo essencial para sua atividade biológica. Dessa forma, a disponibilidade de selênio na dieta influencia diretamente a capacidade antioxidante do organismo e a eficiência da resposta ao estresse oxidativo (Surai, 2020). Em aves reprodutoras, a GPx exerce papel fundamental na proteção dos gametas, dos tecidos reprodutivos e dos embriões em desenvolvimento. Diversos estudos demonstram que aumentos na atividade dessa enzima estão associados à melhora da fertilidade, redução da mortalidade embrionária e maior resistência dos tecidos aos danos oxidativos (Attia et al., 2019). Assim, a atuação conjunta da superóxido dismutase, da catalase e da glutathione peroxidase constitui o principal mecanismo de defesa antioxidante enzimática das aves, garantindo a manutenção da homeostase celular e a proteção contra os efeitos deletérios do estresse oxidativo.

3.2 SISTEMA ANTIOXIDANTE EXÓGENO

Além dos mecanismos antioxidantes produzidos pelo próprio organismo, as aves dependem da obtenção de compostos antioxidantes por meio da alimentação para complementar suas defesas contra os danos causados pelas espécies reativas de oxigênio (ROS). Esses antioxidantes exógenos atuam em conjunto com os sistemas antioxidantes endógenos, contribuindo para a manutenção da homeostase celular e para a proteção dos tecidos frente aos desafios oxidativos impostos pelo metabolismo, pela reprodução e pelas condições ambientais (Surai, 2016).

A importância dos antioxidantes dietéticos torna-se ainda mais evidente em aves de elevado potencial produtivo e reprodutivo, nas quais a produção de radicais livres frequentemente excede a capacidade dos mecanismos antioxidantes endógenos. Nesses casos, a suplementação adequada de nutrientes com atividade antioxidante é fundamental para preservar a integridade celular, melhorar a resposta imunológica e manter o desempenho produtivo e reprodutivo das aves (Attia et al., 2019).

3.2.1 Nutrientes obtidos pela dieta

Os antioxidantes exógenos compreendem uma ampla variedade de vitaminas, minerais e compostos bioativos presentes naturalmente nos ingredientes da dieta ou adicionados por meio da suplementação nutricional. Esses compostos desempenham diferentes funções na proteção contra o estresse oxidativo, atuando na neutralização direta de radicais livres, na interrupção das reações de peroxidação lipídica ou no fortalecimento dos sistemas antioxidantes enzimáticos (Surai; Fisinin, 2016).

Entre os antioxidantes dietéticos mais estudados na nutrição avícola destacam-se a vitamina E, a vitamina C, o selênio e os carotenoides. A vitamina E é considerada um dos principais antioxidantes lipossolúveis presentes nos tecidos animais, atuando principalmente na proteção das membranas celulares contra a peroxidação lipídica. Sua capacidade de interromper reações em cadeia iniciadas por radicais livres torna esse nutriente essencial para a preservação da integridade dos tecidos reprodutivos, dos gametas e dos ovos incubáveis (Surai, 2020).

O selênio, por sua vez, desempenha papel fundamental como componente estrutural da glutathione peroxidase (GPx), uma das principais enzimas antioxidantes do organismo. A adequada suplementação desse mineral está associada à melhora da capacidade antioxidante, ao fortalecimento do sistema imune e à proteção dos tecidos contra danos oxidativos (Surai, 2020).

A vitamina C também exerce importante função antioxidante, especialmente em situações de estresse. Embora as aves possuam capacidade de sintetizar essa vitamina, sua suplementação pode ser benéfica em condições de elevada demanda fisiológica, como estresse térmico, desafios sanitários e reprodução intensiva. Além de atuar diretamente na neutralização de radicais livres, a vitamina C participa da regeneração da vitamina E oxidada, contribuindo para a manutenção da eficiência antioxidante do organismo (Attia et al., 2017).

Outro grupo de compostos de grande relevância são os carotenoides, incluindo luteína, zeaxantina, licopeno e cantaxantina. Esses pigmentos naturais apresentam elevada capacidade de neutralização de radicais livres e podem ser depositados nos ovos, fornecendo proteção antioxidante adicional ao embrião durante a incubação e ao pintinho após a eclosão (Karadas et al., 2005).

Nos últimos anos, compostos fenólicos de origem vegetal também têm recebido crescente atenção na nutrição avícola. Flavonoides, taninos, ácidos fenólicos e outros metabólitos secundários presentes em

extratos vegetais apresentam propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias que podem auxiliar na manutenção do equilíbrio redox e na melhora da eficiência reprodutiva das aves (Surai et al., 2024).

3.2.2 Interação entre antioxidantes nutricionais e enzimas antioxidantes

O sistema antioxidante das aves funciona de forma integrada, sendo a ação dos antioxidantes dietéticos complementada pelos mecanismos antioxidantes endógenos. Em vez de atuarem isoladamente, os diferentes antioxidantes estabelecem uma rede de proteção na qual cada componente exerce funções específicas e interdependentes para garantir a manutenção do equilíbrio redox celular (Surai, 2016).

Um exemplo clássico dessa interação ocorre entre a vitamina E e a glutathione peroxidase. Enquanto a vitamina E atua prevenindo a peroxidação dos lipídios presentes nas membranas celulares, a GPx é responsável pela remoção dos hidroperóxidos formados durante os processos oxidativos. Dessa forma, ambos os mecanismos atuam de maneira complementar para impedir a propagação dos danos oxidativos (Surai, 2020).

A relação entre selênio e glutathione peroxidase constitui outro exemplo importante de interação entre nutrientes e enzimas antioxidantes. Como o selênio integra a estrutura funcional da GPx na forma de selenocisteína, a deficiência desse mineral compromete diretamente a atividade da enzima e reduz a capacidade antioxidante do organismo. Por outro lado, níveis adequados de selênio favorecem o funcionamento eficiente da GPx e aumentam a resistência dos tecidos ao estresse oxidativo (Surai, 2020).

A vitamina C também participa ativamente dessa rede antioxidante ao regenerar a vitamina E oxidada, permitindo que esta continue exercendo sua função protetora nas membranas celulares. Esse mecanismo de reciclagem aumenta a eficiência do sistema antioxidante e reduz a necessidade de reposição constante dos antioxidantes celulares (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Além disso, diversos compostos fenólicos presentes em extratos vegetais têm demonstrado capacidade de estimular a expressão de genes relacionados à produção de enzimas antioxidantes, incluindo superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutathione peroxidase (GPx). Esse efeito sugere que determinados antioxidantes dietéticos podem atuar não apenas como sequestradores de radicais livres, mas também como moduladores da resposta antioxidante endógena (Surai et al., 2024).

Em matrizes avícolas, essa interação entre antioxidantes nutricionais e enzimas antioxidantes é particularmente importante para a manutenção da fertilidade, da qualidade dos ovos incubáveis e da viabilidade embrionária. A eficiência da resposta antioxidante depende não apenas da presença dos antioxidantes na dieta, mas também da capacidade do organismo de utilizar esses nutrientes para fortalecer seus mecanismos fisiológicos de defesa (Fisinin et al., 2019).

Portanto, a suplementação adequada de antioxidantes exógenos desempenha papel fundamental na manutenção do equilíbrio redox das aves, atuando de forma sinérgica com os sistemas antioxidantes endógenos para reduzir os efeitos do estresse oxidativo e preservar a saúde e o desempenho reprodutivo dos plantéis.

4 PRINCIPAIS COMPOSTOS ANTIOXIDANTES UTILIZADOS NA NUTRIÇÃO DE MATRIZES

A suplementação de compostos antioxidantes tem se consolidado como uma importante estratégia nutricional para reduzir os efeitos do estresse oxidativo em aves reprodutoras. Considerando a elevada demanda metabólica associada à produção de ovos, à manutenção da fertilidade e ao desenvolvimento embrionário, a utilização de antioxidantes na dieta pode contribuir para a preservação da integridade celular, melhora da eficiência reprodutiva e aumento da qualidade da progênie (Surai, 2016).

Os antioxidantes utilizados na nutrição avícola podem ser classificados em diferentes grupos, incluindo vitaminas, minerais, carotenoides e compostos bioativos de origem vegetal. Esses compostos atuam por mecanismos distintos, como neutralização direta de radicais livres, interrupção de reações de peroxidação lipídica, regeneração de outros antioxidantes e estímulo aos sistemas antioxidantes endógenos. Dessa forma, desempenham papel fundamental na manutenção do equilíbrio redox e na proteção dos tecidos contra danos oxidativos (Attia et al., 2019).

Entre os antioxidantes mais estudados na alimentação de matrizes destacam-se a vitamina E, o selênio, a vitamina C, os carotenoides e, mais recentemente, compostos fenólicos e óleos essenciais extraídos de plantas. Além de protegerem os tecidos reprodutivos de machos e fêmeas, muitos desses compostos podem ser transferidos para os ovos, contribuindo para a proteção antioxidante do embrião e favorecendo o desenvolvimento inicial da progênie (Surai et al., 2018).

Nas últimas décadas, o interesse por antioxidantes naturais tem aumentado significativamente em função da busca por alternativas sustentáveis e pela crescente valorização de aditivos com propriedades multifuncionais. Compostos como flavonoides, taninos, carotenoides e óleos essenciais têm demonstrado potencial não apenas para reduzir os danos causados pelas espécies reativas de oxigênio, mas também para modular respostas inflamatórias, melhorar a imunidade e otimizar parâmetros reprodutivos em aves (Surai et al., 2024).

4.1 VITAMINA E

4.1.1 Mecanismo de ação

A vitamina E atua principalmente como antioxidante lipossolúvel, localizando-se nas membranas celulares e em outras estruturas ricas em lipídios. Sua principal função consiste em interromper as reações

em cadeia da peroxidação lipídica iniciadas pelos radicais livres, impedindo que o dano oxidativo se propague ao longo das membranas celulares (Surai, 2016).

Quando uma espécie reativa de oxigênio ataca um ácido graxo poli-insaturado presente na membrana celular, ocorre a formação de radicais lipídicos que desencadeiam reações sucessivas de oxidação. A vitamina E atua doando um átomo de hidrogênio para neutralizar esses radicais, transformando-os em moléculas mais estáveis e interrompendo a progressão da reação oxidativa. Dessa forma, reduz significativamente os danos causados às estruturas celulares (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Após neutralizar os radicais livres, a vitamina E oxidada pode ser regenerada por outros antioxidantes presentes no organismo, especialmente a vitamina C, demonstrando a integração existente entre os diferentes componentes do sistema antioxidante. Essa interação permite que a vitamina E mantenha sua atividade protetora por períodos mais prolongados, aumentando a eficiência da defesa antioxidante celular (Surai; Fisinin, 2016).

Além de sua ação antioxidante direta, a vitamina E também participa da modulação da resposta imunológica, da regulação da expressão gênica e da manutenção da integridade funcional de diversos tecidos, incluindo os órgãos reprodutivos de machos e fêmeas (Attia et al., 2019).

4.1.2 Proteção das membranas celulares

A proteção das membranas celulares representa uma das funções mais importantes da vitamina E na fisiologia avícola. As membranas biológicas são compostas por elevadas concentrações de fosfolipídios contendo ácidos graxos poli-insaturados, moléculas altamente susceptíveis à ação das espécies reativas de oxigênio. Quando ocorre peroxidação lipídica, a estrutura e a funcionalidade dessas membranas podem ser severamente comprometidas, afetando processos como transporte de nutrientes, comunicação celular e produção de energia (Surai, 2020).

Em aves reprodutoras, essa proteção assume importância ainda maior devido à elevada concentração de lipídios presentes nos tecidos reprodutivos, nos espermatozoides e na gema dos ovos. Os espermatozoides, por exemplo, possuem membranas extremamente ricas em ácidos graxos poli-insaturados, condição que favorece a fluidez necessária para a fertilização, mas que também aumenta sua vulnerabilidade à oxidação. A presença adequada de vitamina E auxilia na preservação da integridade dessas membranas, contribuindo para a manutenção da motilidade e da viabilidade espermática (Aitken; Baker, 2006).

Nas matrizes fêmeas, a vitamina E é transferida para a gema dos ovos, onde desempenha papel fundamental na proteção dos lipídios utilizados pelo embrião como fonte energética durante a incubação. Essa transferência materna constitui um importante mecanismo de proteção antioxidante para o embrião

em desenvolvimento, especialmente durante os estágios finais da incubação, quando o consumo de oxigênio e a produção de espécies reativas aumentam significativamente (Surai et al., 2003).

4.2 SELÊNIO ORGÂNICO E INORGÂNICO

O selênio utilizado na alimentação animal pode ser encontrado em formas inorgânicas e orgânicas, que diferem quanto à biodisponibilidade, absorção, retenção tecidual e eficiência biológica. As fontes inorgânicas mais utilizadas incluem o selenito de sódio e o selenato de sódio. Embora apresentem eficácia na prevenção da deficiência de selênio, essas fontes possuem menor retenção nos tecidos e maior susceptibilidade a interações químicas durante os processos digestivos (Surai, 2020).

Por outro lado, as fontes orgânicas são constituídas principalmente por selenometionina e leveduras enriquecidas com selênio. Essas formas apresentam maior biodisponibilidade e podem ser incorporadas às proteínas corporais de maneira semelhante aos aminoácidos sulfurados, permitindo a formação de reservas orgânicas do mineral nos tecidos e nos ovos (Payne; Southern, 2005).

Diversos estudos demonstram que o selênio orgânico promove maior deposição do mineral na gema, melhora a transferência materna para o embrião e aumenta a capacidade antioxidante da progênie quando comparado às fontes inorgânicas (Surai; Fisinin, 2014).

4.2.1 Participação na glutational peroxidase

A principal função antioxidante do selênio está relacionada à sua participação na estrutura da glutational peroxidase (GPx), enzima responsável pela redução do peróxido de hidrogênio e dos hidroperóxidos lipídicos gerados durante os processos oxidativos.

A GPx catalisa a conversão dessas moléculas potencialmente tóxicas em compostos menos reativos, utilizando a glutational reduzida (GSH) como substrato. Dessa forma, evita o acúmulo de espécies oxidantes capazes de causar danos às membranas celulares, proteínas e ácidos nucleicos (Surai, 2020).

Em situações de deficiência de selênio, ocorre redução da atividade da glutational peroxidase, aumentando a susceptibilidade dos tecidos aos danos oxidativos. Por essa razão, a adequada suplementação desse mineral é considerada essencial para a manutenção da homeostase redox e da saúde reprodutiva das aves (Attia et al., 2019). Além da GPx, o selênio participa da composição de outras selenoproteínas envolvidas na regulação da resposta antioxidante, da imunidade e do metabolismo energético, reforçando sua importância para o funcionamento fisiológico do organismo (Rayman, 2012).

4.3 VITAMINA C

A vitamina C (ácido ascórbico) é um importante antioxidante hidrossolúvel envolvido em diversos processos fisiológicos relacionados à manutenção da homeostase celular, à resposta imunológica e à

proteção contra os danos causados pelo estresse oxidativo. Diferentemente dos mamíferos, as aves possuem a capacidade de sintetizar vitamina C a partir da glicose nos rins, o que levou, por muitos anos, à suposição de que sua suplementação dietética seria desnecessária. No entanto, estudos demonstram que, em situações de elevada demanda metabólica ou sob condições de estresse, a síntese endógena pode não ser suficiente para atender às necessidades do organismo, tornando a suplementação uma ferramenta nutricional de interesse para a produção avícola (Attia et al., 2017; Surai, 2016).

Nas matrizes avícolas, a vitamina C tem sido associada à melhora da capacidade antioxidante, à manutenção da saúde reprodutiva e ao aumento da resistência a fatores estressantes. Além disso, sua atuação complementar a outros antioxidantes, especialmente à vitamina E, reforça sua importância na proteção dos tecidos reprodutivos e no desenvolvimento embrionário (Sahin et al., 2003).

4.3.1 Papel antioxidante

A principal função antioxidante da vitamina C está relacionada à sua capacidade de doar elétrons para neutralizar espécies reativas de oxigênio (ROS), convertendo-as em moléculas menos reativas e impedindo que provoquem danos celulares. Por ser hidrossolúvel, sua ação ocorre predominantemente nos fluidos intracelulares e extracelulares, onde atua como uma importante linha de defesa contra a oxidação de proteínas, lipídios e ácidos nucleicos (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Além da neutralização direta dos radicais livres, a vitamina C participa da regeneração de outros antioxidantes oxidativamente modificados, contribuindo para a manutenção da eficiência do sistema antioxidante global. Essa característica permite que a vitamina exerça papel central na rede antioxidante celular, ampliando a proteção contra os efeitos deletérios do estresse oxidativo (Surai, 2016).

Outro aspecto importante refere-se à sua participação em processos fisiológicos essenciais, incluindo síntese de colágeno, metabolismo de aminoácidos, produção de hormônios e funcionamento adequado do sistema imunológico. Dessa forma, os benefícios da vitamina C vão além de sua ação antioxidante direta, contribuindo para a manutenção da saúde geral das aves (Attia et al., 2017).

4.3.2 Sinergismo com a vitamina E

A interação entre vitamina C e vitamina E constitui um dos exemplos mais conhecidos de cooperação entre antioxidantes no organismo animal. Enquanto a vitamina E atua principalmente na proteção dos lipídios das membranas celulares, a vitamina C atua nos meios aquosos, formando um sistema integrado de defesa antioxidante (Surai; Fisinin, 2016).

Durante o processo de neutralização de radicais livres, a vitamina E sofre oxidação e perde temporariamente sua capacidade antioxidante. A vitamina C é capaz de regenerar a vitamina E oxidada,

restaurando sua atividade biológica e permitindo que ela continue protegendo as membranas celulares contra a peroxidação lipídica. Esse mecanismo aumenta significativamente a eficiência antioxidante do organismo e reduz a necessidade de reposição constante da vitamina E (Halliwell; Gutteridge, 2015).

4.4 CAROTENOIDES

Os carotenoides constituem um grupo de pigmentos naturais lipossolúveis amplamente distribuídos em plantas, algas, fungos e alguns microrganismos. Além de sua função como pigmentantes naturais, esses compostos desempenham importante papel biológico devido às suas propriedades antioxidantes, imunomoduladoras e pró-vitamínicas. Na nutrição de matrizes avícolas, os carotenoides têm recebido crescente atenção por sua capacidade de proteger tecidos reprodutivos contra o estresse oxidativo, melhorar a qualidade dos ovos incubáveis e favorecer o desenvolvimento embrionário e a qualidade da progênie (Surai et al., 2003; Fisinin et al., 2019).

A ação antioxidante dos carotenoides está relacionada principalmente à sua capacidade de neutralizar oxigênio singlete (1O_2) e sequestrar radicais livres produzidos durante os processos metabólicos. Além disso, esses compostos atuam de forma complementar a outros antioxidantes, como a vitamina E, contribuindo para a manutenção da integridade das membranas celulares e para a redução dos danos oxidativos em diferentes tecidos (Krinsky; Johnson, 2005).

Uma característica particularmente importante dos carotenoides em aves reprodutoras é sua capacidade de serem transferidos da dieta materna para a gema dos ovos. Essa transferência permite que os embriões recebam proteção antioxidante ainda durante o desenvolvimento embrionário, favorecendo a sobrevivência celular, a formação adequada dos tecidos e a adaptação ao ambiente pós-eclosão (Karadas et al., 2005). Entre os carotenoides mais estudados na nutrição de matrizes destacam-se a luteína, a zeaxantina e a astaxantina, compostos que apresentam elevada atividade antioxidante e diferentes funções fisiológicas relacionadas à reprodução e ao desenvolvimento da progênie.

4.4.1 Luteína

A luteína é uma xantofila amplamente encontrada em vegetais verdes, especialmente em folhas e gramíneas. Esse carotenoide possui elevada capacidade antioxidante e desempenha papel importante na proteção celular contra danos causados pelas espécies reativas de oxigênio (ROS). Em aves, a luteína é absorvida pelo trato gastrointestinal e posteriormente depositada em tecidos corporais e nos ovos, contribuindo para a proteção antioxidante do embrião (Surai et al., 2003).

Diversos estudos demonstram que a suplementação de luteína aumenta sua concentração na gema e melhora a capacidade antioxidante dos ovos incubáveis. Como consequência, observa-se redução da peroxidação lipídica, maior viabilidade embrionária e melhora da qualidade dos pintos ao nascimento. Além

disso, a luteína apresenta propriedades imunomoduladoras que podem contribuir para o fortalecimento do sistema imune da progênie nas fases iniciais de vida (Karadas et al., 2005).

4.4.2 Zeaxantina

A zeaxantina é outro carotenoide pertencente ao grupo das xantofilas e frequentemente está associada à luteína nos ingredientes vegetais utilizados na alimentação das aves. Sua estrutura química permite elevada eficiência na neutralização de espécies reativas de oxigênio, atuando como importante agente protetor contra a oxidação de lipídios e proteínas (Krinsky; Johnson, 2005).

Em matrizes avícolas, a zeaxantina também pode ser transferida para os ovos, aumentando a proteção antioxidante do embrião durante a incubação. Estudos indicam que a presença desse carotenoide na gema contribui para a redução dos danos oxidativos e para a manutenção da integridade celular durante os períodos de maior atividade metabólica embrionária (Surai, 2016).

Além de seus efeitos antioxidantes, a zeaxantina participa da pigmentação da gema, característica frequentemente associada à percepção de qualidade dos ovos pelos consumidores. Entretanto, sua importância biológica para a reprodução vai muito além da pigmentação, estando diretamente relacionada à proteção celular e ao desenvolvimento embrionário (Fisinin et al., 2019).

4.4.3 Astaxantina

A astaxantina é considerada um dos carotenoides de maior potencial antioxidante encontrados na natureza. Esse composto é produzido principalmente por microalgas e alguns organismos marinhos, apresentando capacidade antioxidante superior à de diversos outros carotenoides e até mesmo à de algumas vitaminas antioxidantes (Ambati et al., 2014).

Seu elevado poder antioxidante está relacionado à capacidade de neutralizar diferentes espécies reativas de oxigênio e de se posicionar estrategicamente nas membranas celulares, protegendo tanto a região interna quanto externa da bicamada lipídica. Dessa forma, a astaxantina atua de maneira eficiente na prevenção da peroxidação lipídica e na manutenção da integridade celular (Surai, 2020).

Na reprodução avícola, estudos indicam que a suplementação com astaxantina pode melhorar a capacidade antioxidante dos tecidos reprodutivos, aumentar a proteção dos ovos incubáveis e favorecer o desenvolvimento embrionário. Além disso, sua deposição na gema contribui para o fortalecimento das defesas antioxidantes da progênie durante as primeiras fases de vida (Fisinin et al., 2019).

4.4.4 Transferência para a gema e para o embrião

Uma das principais características dos carotenoides na nutrição de matrizes avícolas é sua eficiente transferência da dieta para os ovos. Após a absorção intestinal, esses compostos são transportados pelo sangue até o fígado e posteriormente incorporados às lipoproteínas responsáveis pelo transporte dos nutrientes destinados à formação da gema (Surai et al., 2003).

Durante a embriogênese, os carotenoides acumulam-se na gema e tornam-se disponíveis para o embrião ao longo da incubação. Essa transferência materna representa um importante mecanismo de proteção antioxidante, uma vez que os embriões apresentam intensa atividade metabólica e elevada susceptibilidade aos danos causados pelas espécies reativas de oxigênio (Karadas et al., 2005).

Diversos trabalhos demonstram que níveis mais elevados de carotenoides nos ovos estão associados à redução da mortalidade embrionária, aumento da eclodibilidade, melhora da qualidade dos pintos e fortalecimento da resposta imunológica da progênie (Rosa et al., 2017; Bonilla et al 2017) . Além disso, esses compostos podem atuar em conjunto com outros antioxidantes transferidos pela matriz, como vitamina E e selênio, potencializando a proteção contra o estresse oxidativo durante o desenvolvimento embrionário (Surai, 2020). Dessa forma, os carotenoides representam uma importante ferramenta nutricional para a reprodução avícola, contribuindo não apenas para a proteção dos tecidos reprodutivos das matrizes, mas também para a promoção da saúde embrionária e da qualidade da progênie.

4.4.5 Compostos fenólicos e extratos vegetais

Nos últimos anos, os compostos fenólicos e os extratos vegetais têm despertado crescente interesse na nutrição animal devido ao seu potencial antioxidante, anti-inflamatório e imunomodulador. A busca por alternativas naturais capazes de melhorar a saúde e o desempenho dos animais, associada às restrições ao uso de determinados aditivos sintéticos, impulsionou o desenvolvimento de pesquisas envolvendo metabólitos secundários de plantas como ferramentas nutricionais para mitigar os efeitos do estresse oxidativo em aves reprodutoras (Surai et al., 2024).

Os compostos fenólicos constituem uma ampla classe de moléculas caracterizadas pela presença de um ou mais grupos hidroxila ligados a anéis aromáticos. Esses compostos são produzidos naturalmente pelas plantas como mecanismos de defesa contra estresses ambientais, patógenos e herbívoros. Quando incorporados à dieta animal, podem exercer importantes funções biológicas relacionadas à neutralização de radicais livres, modulação de vias inflamatórias e fortalecimento dos sistemas antioxidantes endógenos (Perez-Vizcaino; Fraga, 2018).

Diferentemente dos antioxidantes clássicos, que atuam principalmente pela neutralização direta das espécies reativas de oxigênio (ROS), muitos compostos fenólicos também são capazes de estimular a expressão de genes relacionados à síntese de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase (SOD),

catalase (CAT) e glutathione peroxidase (GPx). Dessa forma, seus efeitos podem ser observados tanto na redução imediata dos danos oxidativos quanto no fortalecimento da capacidade antioxidante do organismo a longo prazo (Surai et al., 2024). Entre os principais compostos fenólicos estudados na nutrição de matrizes avícolas destacam-se os flavonoides, os taninos e os ácidos fenólicos, além de diversos extratos obtidos de plantas medicinais com reconhecida atividade antioxidante.

4.5 FLAVONOIDES

Os flavonoides representam o maior grupo de compostos fenólicos encontrados na natureza. Estão amplamente distribuídos em frutas, sementes, folhas, flores e cascas de plantas, sendo responsáveis por diversas propriedades biológicas relacionadas à proteção antioxidante e à regulação de processos inflamatórios (Panchal; Brown, 2022).

A atividade antioxidante dos flavonoides está relacionada principalmente à capacidade de doar elétrons ou hidrogênios para neutralizar radicais livres, interrompendo reações oxidativas em cadeia. Além disso, esses compostos podem atuar como quelantes de metais de transição, reduzindo a formação de espécies reativas derivadas de reações de oxidação catalisadas por ferro e cobre (Perez-Vizcaino; Fraga, 2018).

Na reprodução avícola, os flavonoides têm sido associados à melhora da capacidade antioxidante dos tecidos reprodutivos, proteção dos gametas contra danos oxidativos e aumento da viabilidade embrionária. Estudos recentes sugerem que a suplementação com compostos ricos em flavonoides pode contribuir para a manutenção da fertilidade e da qualidade dos ovos incubáveis, especialmente em matrizes submetidas a condições de estresse oxidativo (Surai et al., 2024).

4.5.1 Taninos

Os taninos constituem um grupo de compostos fenólicos de elevado peso molecular encontrados em diversas espécies vegetais. Tradicionalmente, esses compostos foram associados à redução da digestibilidade dos nutrientes devido à sua capacidade de formar complexos com proteínas. Entretanto, pesquisas mais recentes demonstram que, quando utilizados em níveis adequados, os taninos podem apresentar importantes efeitos benéficos sobre a saúde intestinal, a imunidade e a capacidade antioxidante dos animais (Huang et al., 2018).

A ação antioxidante dos taninos está relacionada à sua elevada capacidade de sequestrar radicais livres e de inibir reações de peroxidação lipídica. Além disso, esses compostos podem modular processos inflamatórios e auxiliar na preservação da integridade das membranas celulares sob condições de estresse oxidativo (Surai et al., 2024).

Na avicultura reprodutiva, estudos envolvendo taninos condensados, especialmente aqueles derivados da acácia (*Acacia mearnsii*), têm demonstrado potencial para melhorar parâmetros relacionados à qualidade seminal, fertilidade e incubabilidade. Esses efeitos são frequentemente atribuídos à redução dos danos oxidativos nos tecidos reprodutivos e à melhora da eficiência dos mecanismos antioxidantes endógenos (Starcevic et al., 2015).

4.5.2 Ácidos fenólicos

Os ácidos fenólicos constituem outra importante classe de compostos bioativos presentes em plantas. Entre os mais estudados destacam-se os ácidos gálico, cafeico, ferúlico e clorogênico, moléculas reconhecidas por sua elevada capacidade antioxidante e anti-inflamatória (Rice-Evans et al., 1997). Esses compostos atuam neutralizando espécies reativas de oxigênio e protegendo biomoléculas contra danos oxidativos. Além disso, podem influenciar a atividade de enzimas antioxidantes e modular vias celulares relacionadas à inflamação e à resposta imune (Perez-Vizcaino; Fraga, 2018).

Em aves reprodutoras, os ácidos fenólicos têm sido associados à melhora do status antioxidante e à proteção contra os efeitos deletérios do envelhecimento reprodutivo e do estresse térmico. Sua presença em extratos vegetais comerciais tem despertado interesse crescente devido ao potencial de melhorar a eficiência reprodutiva sem comprometer o desempenho produtivo das aves (Surai et al., 2024).

5 CONCLUSÃO

A presente revisão bibliográfica teve como objetivo analisar os principais compostos antioxidantes utilizados na nutrição de matrizes avícolas e seus efeitos sobre a reprodução. A literatura consultada demonstra que o estresse oxidativo pode comprometer a qualidade dos gametas, a fertilidade, a incubabilidade e o desenvolvimento embrionário, impactando negativamente a eficiência reprodutiva das aves.

Os resultados evidenciam que antioxidantes como vitamina E, selênio, vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos auxiliam na manutenção do equilíbrio oxidativo, contribuindo para a proteção dos tecidos reprodutivos e para a melhoria dos índices reprodutivos. Além disso, a transferência desses compostos para os ovos pode favorecer o desenvolvimento embrionário e a qualidade da progênie.

Dessa forma, conclui-se que a suplementação de compostos antioxidantes representa uma importante estratégia nutricional para preservar a saúde reprodutiva das matrizes e otimizar os resultados produtivos da avicultura. Contudo, estudos adicionais são necessários para definir níveis ideais de suplementação e ampliar o conhecimento sobre os efeitos de diferentes fontes antioxidantes na reprodução avícola.

REFERÊNCIAS

- AITKEN, R. J.; BAKER, M. A. Oxidative stress, sperm survival and fertility control. **Molecular and Cellular Endocrinology**, v. 250, p. 66–69, 2006.
- AITKEN, R. J.; DE IULIIS, G. N. On the possible origins of DNA damage in human spermatozoa. **Molecular Human Reproduction**, v. 16, p. 3–13, 2010.
- AMBATI, R. R.; PHANG, S. M.; RAVI, S.; ASWATHANARAYANA, R. G. Astaxanthin: sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications. **Marine Drugs**, v. 12, p. 128–152, 2014.
- ATTIA, Y. A.; AL-HARTHI, M. A.; ELNAGGAR, A. S. Productive, physiological and immunological responses of poultry to heat stress: a review. **International Journal of Biometeorology**, v. 61, p. 1–15, 2017.
- ATTIA, Y. A.; ALAGAWANY, M.; FARAG, M. R. et al. Beneficial impacts of dietary antioxidants on poultry production and health. **Poultry Science**, v. 98, p. 5181–5197, 2019.
- AYALA, A.; MUÑOZ, M. F.; ARGÜELLES, S. Lipid peroxidation: production, metabolism and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2014, Article ID 360438, 2014.
- BAIN, M. M.; NYS, Y.; DUNN, I. C. Increasing persistency in lay and stabilising egg quality in longer laying cycles: what are the challenges? **British Poultry Science**, v. 57, p. 330–338, 2016.
- BAKST, M. R.; WISHART, G.; BRILLARD, J. P. Oviductal sperm selection, transport and storage in poultry. **World's Poultry Science Journal**, v. 71, p. 293–308, 2015.
- BONILLA, C. E. V. et al. Effect of broiler breeders fed with corn or sorghum diet and canthaxanthin supplementation on production and reproductive performance. **Poultry science**, v. 96, n. 6, p. 1725–1734, 2017.
- CHERIAN, G.; HOLSONBAKE, T. B.; GOEGER, M. P. Fatty acid composition and egg components during storage. **Poultry Science**, v. 86, p. 1913–1918, 2007.
- FISININ, V. I.; SURAI, P. F.; KARADAS, F. Antioxidant systems in poultry biology and reproduction. **Animal Feed Science and Technology**, v. 250, p. 1–16, 2019.
- HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free Radicals in Biology and Medicine**. 5. ed. Oxford: Oxford University Press, 2015.
- HARMAN, D. Aging: overview. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 928, p. 1–21, 2001.
- HUANG, Q.; LIU, X.; ZHAO, G.; HU, T.; WANG, Y. Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. **Animal Nutrition**, v. 4, p. 137–150, 2018.

- KARADAS, F.; SURAI, P. F.; GRAMMENIDIS, E.; SPARKS, N. H. C.; ACAMOVIC, T. Supplementation of maternal diet with carotenoids and selenium as a way of increasing the antioxidant system of the developing chick. **British Poultry Science**, v. 46, p. 73–77, 2005.
- KRINSKY, N. I.; JOHNSON, E. J. Carotenoid actions and their relation to health and disease. **Molecular Aspects of Medicine**, v. 26, p. 459–516, 2005.
- LIU, H. K.; NIU, Z. Y.; SUN, T. T.; WANG, J.; ZHANG, J. F. Effects of age on reproductive performance and antioxidant status of broiler breeders. **Poultry Science**, v. 97, p. 1605–1612, 2018.
- MCCORD, J. M.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: an enzymic function for erythrocuprein. **Journal of Biological Chemistry**, v. 244, p. 6049–6055, 1969.
- OPUWARI, C. S.; HENKEL, R. R. An update on oxidative damage to spermatozoa and oocytes. **BioMed Research International**, v. 2016, Article ID 9540142, 2016.
- PAYNE, R. L.; SOUTHERN, L. L. Comparison of inorganic and organic selenium sources for broilers. **Poultry Science**, v. 84, p. 898–902, 2005.
- PEREZ-VIZCAINO, F.; FRAGA, C. G. Research trends in flavonoids and health. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 646, p. 107–112, 2018.
- RAYMAN, M. P. Selenium and human health. **The Lancet**, v. 379, p. 1256–1268, 2012.
- REN, X.; YANG, X.; SHAO, Y. et al. Effects of aging on reproductive performance and oxidative status in breeder hens. **Animals**, v. 11, 3350, 2021.
- RICE-EVANS, C.; MILLER, N.; PAGANGA, G. Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in Plant Science**, v. 2, p. 152–159, 1997.
- ROCHA, J. S. R.; LARA, L. J. C.; BAIÃO, N. C. Canthaxanthin supplementation in poultry diets and its effects on reproduction. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 15, p. 1–8, 2013.
- ROSA, A. P. et al. Effect of broiler breeders fed with corn or sorghum and canthaxanthin on lipid peroxidation, fatty acid profile of hatching eggs, and offspring performance. **Poultry Science**, v. 96, n. 3, p. 647–658, 2017.
- SAHIN, K.; SAHIN, N.; ONDERCI, M.; YARALIOGLU, S.; KUCUK, O. Protective role of supplemental vitamin C and vitamin E on lipid peroxidation, antioxidant status, and some serum hormone concentrations of Japanese quails reared under heat stress. **International Journal for Vitamin and Nutrition Research**, v. 73, p. 91–100, 2003.
- SIES, H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. **Redox Biology**, v. 4, p. 180–183, 2015.
- STARCEVIC, K.; KRSTULOVIC, L.; BROZIC, D. et al. Production performance, meat composition and oxidative susceptibility in broiler chicken fed with different phenolic compounds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, p. 1172–1178, 2015.

SURAI, P. F. **Antioxidant Systems in Poultry Biology**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2016.

SURAI, P. F. **Selenium in Poultry Nutrition and Health**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2020.

SURAI, P. F.; FISININ, V. I. Selenium in poultry breeder nutrition: an update. **Animal Feed Science and Technology**, v. 191, p. 1–15, 2014.

SURAI, P. F.; FISININ, V. I. Antioxidant-prooxidant balance in poultry reproduction. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 24, p. 1–14, 2015.

SURAI, P. F.; FISININ, V. I. Antioxidant-prooxidant balance in poultry: from basic mechanisms to practical applications. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 25, p. 443–456, 2016.

SURAI, P. F.; KOCHISH, I. I.; FISININ, V. I.; KIDD, M. T. Antioxidant defence systems and oxidative stress in poultry biology: an update. **Antioxidants**, v. 8, n. 7, 235, 2019.

SURAI, P. F.; KOCHISH, I. I.; FISININ, V. I.; KIDD, M. T. Polyphenols in poultry nutrition: new developments and future perspectives. **Antioxidants**, v. 13, 2024.

SURAI, P. F.; SPARKS, N. H. C.; NOBLE, R. C. Antioxidant systems of the avian embryo. **Poultry and Avian Biology Reviews**, v. 14, p. 57–115, 2003.

TRIQUES, G. E.; RUTZ, F.; ANCIUTI, M. A.; SILVA, J. G. C.; MAIER, J. C. Canthaxanthin supplementation for broiler breeder roosters in post-peak production. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 18, p. 269–276, 2016.

REALIZAÇÃO:

Aurum
EDITORA

CNPJ: 589029480001-12
contato@aurumeditora.com
(41) 98792-9544
Curitiba - Paraná
www.aurumeditora.com