



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

Faculdade de Ciências Agrárias

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia



PROBIÓTICOS E ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE

Gabriel Nascimento de Souza Paulo

Zootecnista, Esp. Agronegócio

Dourados – MS

2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

Faculdade de Ciências Agrárias

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia



PROBIÓTICOS E ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE

Gabriel Nascimento de Souza Paulo

Prof. Dr. Rodrigo Garófallo Garcia

Profa. Dra. Claudia Marie Komiyama

**Dissertação apresentada à Faculdade
de Ciências Agrárias da Universidade
Federal da Grande Dourados, como
parte das exigências para a obtenção
do título de Mestre em Zootecnia**

Dourados - MS

2026

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

PROBIÓTICOS E ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE

Gabriel Nascimento de Souza Paulo

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 13 de Maio de 2026 pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO GAROFALLO GARCIA**
Data: 15/07/2026 10:13:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Garófallo Garcia
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **CAIO CESAR DOS OUROS**
Data: 15/07/2026 14:07:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Caio César dos Ouros
Universidade Estadual do Mato Grosso
do Sul

Documento assinado digitalmente
 **JEAN KAIQUE VALENTIM**
Data: 15/07/2026 11:37:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jean Kaique Valentim
Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

P331p Paulo, Gabriel Nascimento De Souza
Probióticos e enriquecimento ambiental na produção de frangos de corte [recurso eletrônico] / Gabriel Nascimento De Souza Paulo. -- 2026.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Rodrigo Garófallo Garcia.
Coorientadora: Claudia Marie Komiyama.
Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2026.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. bem-estar animal. 2. desempenho produtivo. 3. eixo intestino-cérebro. 4. estresse oxidativo. 5. integridade intestinal. I. Garcia, Rodrigo Garófallo. II. Komiyama, Claudia Marie. III. Título.

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

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

BIOGRAFIA DO AUTOR

Gabriel Nascimento de Souza Paulo, nascido em São Paulo, SP, em 04 de janeiro de 1999, filho de Claudio de Souza Paulo e Sandra do Nascimento. Ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Palmeira das Missões, concluindo a graduação em 2022. Durante a formação acadêmica, desenvolveu atividades de pesquisa com enfoque em sustentabilidade e entomologia aplicada às cadeias de produção animal no Grupo de Estudo em Pesquisa e Produção de Insetos Alimentícios, além de integrar o Núcleo Integrado de Pesquisa Avícola e o Grupo de Estudo em Nutrição de Animais Não Ruminantes, onde adquiriu experiência nas áreas de produção, nutrição e manejo de monogástricos. Em 2018, atuou como fundador e presidente da empresa júnior Zoo Techne Jr., vinculada ao curso de Zootecnia. Entre os anos de 2022 e 2024, trabalhou como Agente de Bem-Estar Animal no setor de suinocultura, desenvolvendo atividades relacionadas ao manejo, avaliação de indicadores comportamentais e acompanhamento de práticas de bem-estar animal. Desde 2024, atua como extensionista pecuário na produção de suínos, com foco na fase de terminação, no estado de Mato Grosso do Sul, com atuação no município de Campo Grande e região. Possui especialização em Agronegócio e Docência do Ensino Superior e Metodologias Ativas de Aprendizagem. Em 2024, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados como aluno regular do curso de Mestrado em Zootecnia, desenvolvendo pesquisas na área de avicultura de corte, com ênfase nos impactos da utilização de probióticos e do enriquecimento ambiental sobre o desempenho de frangos de corte, originando a presente dissertação.

EPÍGRAFE

Pertence-nos apenas o tempo que dedicamos àquilo que realmente importa

Sêneca

AGRADECIMENTOS

A Deus, sem o qual nada seria possível.

Aos meus pais, Claudio de Souza Paulo e Sandra do Nascimento, pelo apoio constante e incondicional, essencial para que eu chegasse até aqui.

Aos meus amigos em Dourados, Luiz Santana e Tiago Canhete, pela acolhida e pela companhia ao longo desta caminhada, nas conversas, debates, risadas e no tereré. Vocês foram muito importantes durante este processo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Garófallo Garcia, pelo apoio, confiança e orientação desde antes do início deste mestrado. Agradeço por nos ensinar que a ciência vai além de métodos, formatos e exigências formais, e sim, pelo pensamento crítico, pela curiosidade e pela abertura responsável às ferramentas que dispomos.

À Maria Eliza, minha amiga, com quem compartilhei os dilemas desta jornada, além da parceria na condução experimental deste estudo.

À Letícia Cuer e Lorraine Aline, pela colaboração e pelo empenho na execução do experimento.

À Caio dos Ouros, pela parceria desde os “tenébrios”, pela coordenação e suporte durante a condução do estudo.

À Maria Fernanda, pela paciência e prestatividade em todas as vezes em que precisei de suporte.

À Prof.^a Dra. Claudia Komiyama e Prof.^a Dra. Fabiana Caldara pela disponibilidade, atenção e apoio durante cada etapa deste trabalho.

À Adriana Sathie Ozaki Hirata, pelo suporte e pela paciência antes, durante e depois das análises laboratoriais.

À Gisele Felix, pelo aceite em compor a banca de qualificação e pela atenção e entusiasmo nos cursos que ministrou.

A Flávia Izabela Torres Da Costa, aos alunos de iniciação científica e a todos os colaboradores que contribuíram, com toda a dedicação, para tornar possível a realização deste estudo.

A Universidade Federal da Grande Dourados e ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia, pelo acolhimento e apoio institucional. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento no período em que atuei como bolsista.

Agradeço a todos que fizeram parte da minha trajetória, direta ou indiretamente!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ii
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	iv
<i>CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS</i>	<i>1</i>
Saúde Única.....	2
Uso de antibióticos na avicultura	3
Probióticos - Conceito	4
Probióticos - Mecanismos de ação.....	5
Bem-estar animal na avicultura	8
Enriquecimento Ambiental.....	9
Convergências fisiológicas do uso de probióticos e enriquecimento ambiental.....	10
<i>CAPÍTULO II.....</i>	<i>19</i>
INTRODUÇÃO.....	22
MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
Local, Instalações e Equipamentos	24
Animais e delineamento experimental.....	24
Dieta experimental e manejo alimentar	26
Avaliação de desempenho	27
Rendimento de carcaça e cortes	28
Qualidade de carne	28
Análise Estatística	32
RESULTADOS	32
DISCUSSÃO	41
CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação dos tratamentos experimentais, considerando os fatores nutricionais: CTL (controle); ATB (antimicrobiano); PBC (probiótico); e ambientais: ENR (ambiente enriquecido) e ANE (Ambiente não enriquecido), e suas combinações.	25
Figura 2. Box dotado de enriquecimentos ambientais, fixos (rampa) e rotativos (bolas).	26
Figura 3. Ilustração do processo de análise de perda por exsudação (Drip Loss) ...	30
Figura 4. Escore de classificação de White Striping de peito de frangos de corte onde 0 = normal; 1: moderado; 2: severo; 3: extremo. Fonte: Kuttappan et al. (2016).	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição das dietas experimentais (100kg) formuladas para frangos de corte de crescimento rápido com a inclusão de antibiótico e probiótico como aditivos melhoradores de desempenho.....	27
Tabela 2. Desempenho produtivo de frangos de corte nas fases de 1 a 7 e 1 a 21 dias de idade em função da inclusão de aditivos alimentares e do enriquecimento ambiental.....	33
Tabela 3. Desempenho produtivo de frangos de corte nas fases de 1 a 35 e 1 a 42 dias de idade em função da inclusão de aditivos alimentares e do enriquecimento ambiental.....	35
Tabela 4. Rendimento de carcaça e cortes de frangos de corte aos 42 dias de idade em função da inclusão de aditivos alimentares e do enriquecimento ambiental.	37
Tabela 5. Medidas físicas do filé de peito de frangos de corte aos 42 dias de idade em função da inclusão de aditivos alimentares e do enriquecimento ambiental.	38
Tabela 6. Variáveis de qualidade da carne de frangos de corte aos 42 dias de idade em função da inclusão de aditivos alimentares e do enriquecimento ambiental.	40
Tabela 7. Qualidade da carne e severidade de miopatias peitorais em frangos de corte aos 42 dias de idade em função da inclusão de aditivos alimentares e do enriquecimento ambiental.	41

LISTA DE ABREVIATURAS

- A*E** – Interação aditivo × enriquecimento ambiental
- ACTH** – Hormônio adrenocorticotrófico
- AGCC** – Ácidos graxos de cadeia curta
- AICc** – Critério de Informação de Akaike corrigido
- AMD** – Antimicrobianos melhoradores de desempenho
- ANE** – Ambiente não enriquecido
- ATB** – Antimicrobiano/antibiótico
- CEUA** – Comissão de Ética no Uso de Animais
- CIELab** – Sistema de cor CIELab
- CRA** – Capacidade de retenção de água
- CRH** – Hormônio liberador de corticotrofina
- CTL** – Controle
- EM** – Energia metabolizável
- ENR** – Ambiente enriquecido
- EPM** – Erro padrão da média
- FDC** – Força de cisalhamento
- GLIMMIX** – Generalized Linear Mixed Models
- HPA** – Eixo hipotálamo–hipófise–adrenal
- L*, a*, b*** – Parâmetros de cor objetiva no sistema CIELab
- PBC** – Probiótico
- PPC** – Perda por cocção
- PROC MIXED** – Procedimento Mixed Models do SAS
- SAS** – Statistical Analysis System
- TGI** – Trato gastrointestinal
- TLRs** – *Toll-like receptors*
- UFGD** – Universidade Federal da Grande Dourados
- WB** – *Wooden Breast*
- WS** – *White Striping*

PROBIÓTICOS E ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE

RESUMO: A crescente preocupação com o bem-estar animal e com a redução do uso de antibióticos na produção tem impulsionado a busca por estratégias capazes de conciliar desempenho produtivo, saúde intestinal e sustentabilidade dos sistemas de produção, em consonância com os princípios da Saúde Única. Nesse contexto, destacam-se estratégias nutricionais e ambientais, como o uso de probióticos e o enriquecimento ambiental. Esta dissertação foi estruturada em dois capítulos.

Capítulo I: Apresenta uma revisão bibliográfica sobre o uso de probióticos e de enriquecimento ambiental na produção de frangos de corte, abordando seus mecanismos fisiológicos e seus efeitos sobre saúde intestinal, microbiota, comportamento, bem-estar e desempenho produtivo, além de discutir a plausibilidade biológica da interação entre estratégias nutricionais e ambientais na modulação do estado fisiológico das aves. **Capítulo II:** Descreve um estudo experimental conduzido com o objetivo de avaliar os efeitos da associação entre aditivos dietéticos e enriquecimento ambiental sobre o desempenho produtivo, rendimento de carcaça e atributos da carne. Foram utilizados 1.440 frangos machos, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2, composto por três tipos de aditivos na dieta (controle negativo, antimicrobiano melhorador de desempenho ou probiótico) e dois ambientes de criação (com ou sem enriquecimento ambiental), com oito repetições por tratamento. O desempenho produtivo foi avaliado ao longo do ciclo experimental e, aos 42 dias, foram realizadas análises de rendimento de carcaça e qualidade de carne. De modo geral, não foi observada interação significativa entre os fatores para a maioria das variáveis avaliadas, com exceção da perda por cocção. Quando analisados isoladamente, os aditivos influenciaram parâmetros de desempenho no período de 1 a 21 dias, enquanto o enriquecimento ambiental apresentou efeito sobre o consumo de ração no período de 1 a 35 dias. O rendimento de carcaça não foi influenciado pelos tratamentos. Em relação à qualidade da carne, observaram-se efeitos pontuais sobre a luminosidade (L*) e interação entre os fatores para perda por cocção. Conclui-se que probióticos e enriquecimento ambiental não apresentaram efeito sinérgico consistente nas condições experimentais avaliadas, embora tenham exercido efeitos individualizados ao longo do ciclo produtivo. Esses achados indicam que estratégias nutricionais e de manejo podem contribuir em momentos específicos da criação, com potencial alinhamento aos princípios de bem-estar animal e Saúde Única.

Palavras-chave: bem-estar animal, desempenho produtivo, eixo intestino-cérebro, estresse oxidativo, integridade intestinal

PROBIOTICS AND ENVIRONMENTAL ENRICHMENT IN BROILER CHICKENS

ABSTRACT: The growing concern with animal welfare and the reduction of antibiotic use in production has driven the search for strategies capable of reconciling productive performance, intestinal health, and sustainability within production systems, in alignment with the principles of One Health. In this context, nutritional and environmental strategies such as the use of probiotics and environmental enrichment have gained prominence. This dissertation was structured into two chapters. **Chapter I:** Presents a literature review on the use of probiotics and environmental enrichment in broiler production, addressing their physiological mechanisms and effects on intestinal health, microbiota, behavior, welfare, and productive performance, as well as discussing the biological plausibility of interactions between nutritional and environmental strategies in modulating the physiological status of birds. **Chapter II:** Describes an experimental study conducted to evaluate the effects of the association between dietary additives and environmental enrichment on productive performance, carcass yield, and meat quality attributes. A total of 1,440 male broilers were used in a completely randomized design, arranged in a 3 x 2 factorial scheme, consisting of three dietary additive treatments (negative control, antibiotic growth promoter, or probiotic) and two rearing environments (with or without environmental enrichment), with eight replicates per treatment. Productive performance was evaluated throughout the experimental period, and at 42 days of age, carcass yield and meat quality analyses were also performed. Overall, no significant interaction between factors was observed for most of the evaluated variables, except for cooking loss. When analyzed separately, dietary additives influenced performance parameters from 1 to 21 days, while environmental enrichment affected feed intake from 1 to 35 days. Carcass yield was not influenced by the treatments. Regarding meat quality, isolated effects were observed for lightness (L^*), and an interaction between factors was detected for cooking loss. It is concluded that probiotics and environmental enrichment did not present a consistent synergistic effect under the experimental conditions evaluated, although both factors exerted individual effects throughout the production cycle. These findings indicate that nutritional and management strategies may contribute at specific stages of production, with potential alignment to animal welfare and One Health principles.

Keywords: animal welfare, growth performance, gut-brain axis, intestinal integrity, oxidative stress

CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

A avicultura de corte ocupa posição relevante na oferta global de proteína animal (ABPA, 2026). No entanto, dos seus sistemas intensivos têm sido demandadas práticas que conciliem produtividade, bem-estar animal, produção de alimentos seguros e o uso racional de antimicrobianos, especialmente sob a perspectiva de Saúde Única (One Health).

Sob esse olhar, os antibióticos, que já foram amplamente utilizados na produção animal, inclusive como promotores de crescimento, têm sido associados a riscos em função do estímulo à resistência antimicrobiana (Bava et al., 2024). Este cenário impulsionou mudanças regulatórias, como o banimento dos antibióticos como promotores de crescimento em algumas regiões, como na Europa, ou a restrição parcial de seu uso a exemplo de países como EUA, México e Brasil (Castanon, 2007; Dutra et al., 2021; Krysiak et al., 2021). A partir de então, se tornou imprescindível a busca por alternativas a esses compostos. Nesse contexto, os probióticos têm se destacado como estratégia nutricional capaz de contribuir para a manutenção da saúde do animal por meio da modulação da microbiota intestinal, com desdobramentos, inclusive, sobre o desempenho e bem-estar das aves (Rehman et al., 2020; Dinalli et al., 2025).

Probióticos podem ser definidos como microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefícios ao hospedeiro (Sanders, 2008; Hill et al., 2014). A modulação da microbiota intestinal por exclusão competitiva de patógenos e o estímulo ao sistema imune estão entre seus principais mecanismos de ação (Krysiak et al., 2021). No entanto, esses aditivos têm o potencial de alterar o perfil e a atividade metabólica da microbiota intestinal, influenciando a produção intestinal de moléculas neuroativas, como neurotransmissores e hormônios e, conseqüentemente, modulando o eixo intestino–cérebro, com possíveis repercussões sobre a saúde, comportamento e bem-estar animal (Cao et al., 2021).

Na busca por estratégias que contribuam para a promoção da abrangência conceitual de Saúde Única, paralelamente às abordagens nutricionais que a sustentam, destacam-se também abordagens de manejo voltadas às condições ambientais. No contexto da intensificação da produção, o tema bem-estar animal é pauta frequente na avicultura de corte. Sob altas densidades de alojamento, as aves

acabam dispondo de poucas oportunidades de expressão de seu comportamento natural, sobretudo, em função da baixa complexidade ambiental que as cerca. Esse panorama gera frustração nestas aves, elevando assim seus níveis de estresse (Post et al., 2003; Riber et al., 2018; Meyer et al., 2019).

Em meio a isto, a utilização de poleiros, lasers, bolas, dentre outros enriquecimentos, têm sido considerada como forma de proporcionar estímulos sensoriais e funcionais, permitindo que as aves expressem seu repertório comportamental, podendo contribuir para a redução do estresse crônico e melhoria de seu bem-estar (Jacobs et al., 2023; Riber e Wurtz, 2024).

Considerando que, isoladamente, fatores nutricionais e ambientais podem promover benefícios relevantes tanto à saúde quanto ao desempenho do animal, a sinergia entre probióticos e enriquecimento ambiental, sob uma perspectiva integrativa e alinhada ao conceito de Saúde Única, constitui uma hipótese plausível, especialmente diante das conexões entre o eixo intestino–cérebro e suas potenciais implicações sobre a saúde, bem-estar e produtividade animal. Essa hipótese norteou o presente estudo, no qual buscou-se entender os efeitos do uso de probióticos, do enriquecimento ambiental e seu potencial sinérgico em frangos de corte. Inicialmente, são apresentados os fundamentos teóricos que embasam essas estratégias e, posteriormente, avalia-se o impacto de sua implementação, tanto de forma integrada quanto isolada sobre o desempenho produtivo, rendimento de carcaça e atributos da carne.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Saúde Única

O conceito de Saúde Única (One Health) compreende uma abordagem interdisciplinar voltada à integração da saúde ambiental, animal e humana (Davis e Sharp, 2020; Zinsstag et al., 2023). Sob essa perspectiva, ações antropogênicas e transformações naturais deixam de ser analisadas de forma isolada e passam a ser compreendidas como componentes interdependentes de um mesmo sistema. Essa visão integrada permite compreender como alterações em determinados elos desse sistema podem repercutir diretamente sobre os demais, evidenciando a existência de processos biológicos compartilhados entre diferentes espécies e ambientes.

Ainda no século XIX, Rudolf Virchow, considerado o pai da patologia moderna, já apontava que não existem fronteiras claras entre a medicina humana e a medicina

veterinária (Sundberg e Schofield, 2009; Tawde et al., 2024). Essa concepção reforça que, sob o ponto de vista sanitário, intervenções realizadas em um determinado elo da cadeia produtiva podem gerar impactos relevantes sobre outros componentes do sistema, devendo, portanto, ser conduzidas com cautela compatível à magnitude de seus efeitos. Nesse contexto, a utilização de antimicrobianos na produção animal tem se consolidado como um dos principais pontos de debate. Isto, em função da necessidade de seu uso racional, em razão de possíveis impactos sobre o estímulo à resistência antimicrobiana na saúde animal, ambiental e humana.

Uso de antibióticos na avicultura

Em um cenário de intensificação dos sistemas de produção, o uso de antibióticos consolidou-se como uma prática amplamente disseminada por mais de cinco décadas, principalmente como ferramenta de controle sanitário (Dibner e Richards, 2005). Historicamente, sua utilização ocorreu sob duas abordagens: terapêutica e subterapêutica. Enquanto a primeira se destina ao tratamento de enfermidades no plantel, a segunda apresenta caráter profilático e esteve associada ao uso como melhoradores de desempenho (AMD) (Dibner e Richards, 2005; Guardabassi et al., 2008; Mulchandani et al., 2023).

Entretanto, ao longo do tempo, o uso indiscriminado de antibióticos demonstrou estar fortemente associado ao estímulo à resistência antimicrobiana (Aminov, 2010; Mulchandani et al., 2023; Bava et al., 2024). Além do uso inadequado dos AMD, Enshaie et al. (2025) relatam que baixos níveis residuais desses compostos também são frequentemente detectados no trato gastrointestinal de animais de produção, onde podem exercer pressão seletiva sobre populações bacterianas, criando condições favoráveis à proliferação de genes de resistência. Adicionalmente, a excreção de bactérias resistentes contribui para a contaminação do solo e dos recursos hídricos, ampliando o risco de disseminação desses microrganismos para a população humana (Bava et al., 2024; Zhang et al., 2024).

Diante desse panorama, em 2006, a União Europeia instituiu o banimento do uso de antibióticos como promotores de crescimento na produção animal. Posteriormente, outros países, como México, Nova Zelândia e Estados Unidos, passaram a adotar medidas semelhantes, de forma parcial ou integral (Krysiak et al., 2021). Paralelamente a esse movimento regulatório, intensificou-se a busca por alternativas capazes de reduzir os riscos associados à resistência antimicrobiana, sem

comprometer os níveis de produtividade anteriormente alcançados com o uso dos AMD (Loddi et al., 2000; Aminov, 2010; Enshaie et al., 2025). Nesse contexto, a utilização de probióticos passou a despontar como uma estratégia de interesse dentro dos sistemas de produção animal.

Probióticos - Conceito

Probióticos podem ser definidos como microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefícios à saúde do hospedeiro (Sanders, 2008; Hill et al., 2014). Na produção animal, sua utilização tem sido associada à melhora do desempenho produtivo, à modulação da resposta imune e ao aprimoramento da digestibilidade dos nutrientes, o que tem despertado crescente interesse como alternativa aos antimicrobianos convencionais (Kabir, 2009; Krysiak et al., 2021; Halder et al., 2024).

No contexto da indústria avícola, revisões como a de Halder et al. (2024) indicam a predominância do uso de determinados gêneros probióticos; entre os quais se destacam *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Saccharomyces*, *Streptococcus*, *Pediococcus* e *Enterococcus*. No entanto, a simples inclusão desses microrganismos na dieta não garante, por si só, a efetividade da intervenção, sendo fundamental considerar critérios técnicos específicos para a formulação de produtos probióticos.

Para que determinadas cepas sejam consideradas probióticas, é essencial que apresentem capacidade de sobreviver e se desenvolver em ambientes quimicamente desafiadores, como o trato gastrointestinal (TGI) das aves (Chateau e Deschamps, 1993). Além disso, características relacionadas à capacidade de aderência ao epitélio intestinal e à persistência frente à competição com outros microrganismos residentes no TGI são determinantes para assegurar sua funcionalidade e eficácia (Kabir, 2009). Dessa forma, a seleção criteriosa das cepas, bem como aspectos relacionados à viabilidade e à estabilidade destas enquanto produto, tornam-se fatores centrais para o sucesso da utilização de probióticos nos sistemas de produção avícola.

No que se refere à forma de administração, os probióticos podem ser utilizados tanto na forma de cepa única quanto com combinações (*blends*) de diferentes microrganismos. Konieczka et al. (2022) destacam que a escolha entre produtos monocepa ou multicepas pode resultar em diferentes respostas fisiológicas no organismo animal. Segundo os autores, formulações multicepas tendem a exercer

papel mais expressivo na manutenção da morfologia intestinal, sobretudo em condições sanitárias ideais. Em contrapartida, sob condições de desafio sanitário, a resposta relacionada à expressão de determinados genes mostrou-se mais evidente em probióticos de cepa única. Esse conjunto de evidências indica que a atuação e a efetividade dos probióticos estão intrinsecamente ligadas tanto à composição das cepas utilizadas quanto ao contexto em que são aplicados, tornando o ambiente produtivo e sanidade fatores determinantes na tomada de decisão quanto à sua utilização.

Probióticos - Mecanismos de ação

Sabe-se que um perfil de microbiota adequado é essencial para a manutenção da saúde intestinal. Nessa perspectiva, a diversidade e a composição microbiana do sistema são influenciadas por uma série de fatores, como maturidade intestinal, idade, dieta, manejo, parâmetros ambientais e presença de aditivos na dieta dos animais (Such et al., 2021). Nesse contexto, a capacidade de multiplicação de microrganismos patogênicos será modulada à medida que encontrem, ou não, condições que lhes permitam, se nutrir, desenvolver e exercer influência sobre o organismo que os abriga. Nessa conjuntura, os probióticos podem modular esse ambiente, inibindo o crescimento de bactérias patogênicas por diferentes vias de ação, dentre as quais se destacam a exclusão competitiva e a modulação da resposta imune do animal (Hernandez-Patlan et al., 2020; Halder et al., 2024).

A exclusão competitiva compreende uma série de mecanismos bacterianos capazes de influenciar o desenvolvimento de colônias no hospedeiro (Khan et al., 2020). Knipe et al. (2021) referem-se a esse processo como um evento no qual duas ou mais espécies bacterianas ocupam o mesmo nicho ecológico e, portanto, competem por recursos limitados, lançando mão de estratégias exploratórias e de interferência para assegurar sua sobrevivência.

A exclusão por exploração consiste em um método indireto de controle de patógenos, por meio de melhoria da eficiência do consumo de nutrientes disponíveis no meio intestinal. A secreção de moléculas extracelulares capazes de degradar macromoléculas e torná-las mais acessíveis às bactérias probióticas, constitui uma das estratégias utilizadas para o rápido aproveitamento dos nutrientes presentes no lúmen intestinal (Knipe et al., 2021). Outra abordagem correlata mencionada por Knipe et al. (2021) e Khan et al. (2020) é a fermentação dessas macromoléculas, que, além

de facilitar o aproveitamento dos nutrientes, resulta na produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), os quais contribuem para o fornecimento de energia ao hospedeiro.

Do ponto de vista mecânico, a utilização de cepas probióticas também oferece uma estratégia de inibição em relação às bactérias patogênicas. A capacidade de se aderir à parede intestinal, habilidade importante para a estabilidade da microbiota, é utilizada como meio de impedir a permanência de patógenos no organismo, uma vez que essas cepas se fixam a superfícies que poderiam ser utilizadas por agentes infecciosos (Kabir, 2009; Yang et al., 2014; Schluter et al., 2015).

Além disso, por vias químicas, esses aditivos possuem potencial de modulação do pH intestinal por meio da produção de ácidos orgânicos e ácidos graxos de cadeia curta. Com a redução do pH, se estabelece um ambiente menos favorável ao desenvolvimento de enteropatógenos, propiciando, assim, maior estabilidade da microbiota intestinal (Sugiharto e Ranjitkar, 2019; Hashemitabar e Hosseinian, 2024).

O segundo eixo central de ação dos probióticos envolve a modulação do sistema imune. Brisbin et al. (2010) descrevem que bactérias probióticas podem influenciar tanto a imunidade inata quanto a adaptativa, favorecendo um equilíbrio mais funcional entre tolerância e resposta inflamatória. Esse efeito pode ocorrer por meio da interação do probiótico com células do epitélio intestinal, estimulando a produção de imunoglobulinas, especialmente IgA. Dessa forma, pode haver a modulação da expressão de citocinas e o fortalecimento da barreira intestinal, o que contribui para limitar a translocação bacteriana e reduzir a inflamação crônica de baixa intensidade (Hernandez-Patlan et al., 2020; Halder et al., 2024).

Sob uma perspectiva fisiológica, a interação entre bactérias probióticas e o hospedeiro pode estimular receptores como os TLRs (*Toll-like receptors*), os quais desencadeiam cascatas de sinalização mediadas por citocinas, ativando células do sistema imune, como macrófagos. Esses, ao interpretar o ambiente imunológico, passam a produzir citocinas que orientam a diferenciação e a regulação de células T. Por sua vez, as células T modulam a resposta imune de maneira compatível com o desafio presente (Khan et al., 2020). De forma geral, a presença de probióticos pode induzir uma resposta imunológica basal e contínua, mantendo o organismo em estado de vigilância e permitindo reações mais adequadas aos desafios, reduzindo inflamações crônicas. Evita-se, dessa forma, um gasto energético desproporcional com a manutenção da homeostase e regulação imune, preservando e redirecionando energia que poderia ser investida no crescimento.

Adicionalmente, a ocorrência de processos inflamatórios está associada ao aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) que, quando em desequilíbrio com o sistema antioxidante do organismo, podem desencadear uma série de eventos culminando no estresse oxidativo, com implicações sobre a integridade das junções de oclusão e na permeabilidade da barreira intestinal (Mishra e Jha, 2019). Nesse contexto, a modulação do sistema imune promovida pelo uso de probióticos apresenta potencial para atenuar os efeitos decorrentes da inflamação, contribuindo para a manutenção da homeostase do organismo.

Sob esta perspectiva, a microbiota intestinal exerce, também, influência sobre o sistema nervoso central por meio do eixo intestino-cérebro. Nesse sentido, os probióticos, enquanto moduladores da microbiota, passam a atuar como partícipes dessa integração, podendo repercutir não apenas em parâmetros fisiológicos, mas, também, em respostas comportamentais ligadas ao estresse (Cheng et al., 2019; Jadhav et al., 2022).

Nesta conjuntura, a serotonina, neurotransmissor de ampla relevância, pode desempenhar papel fundamental na organização de respostas sociais e na expressão de comportamentos básicos, como alimentação, assim como reativos, como medo e ansiedade, além daqueles de natureza agonística, como a agressividade (Nikulina, 1991; Cheng et al., 2019). A maior parte da serotonina corporal é produzida no intestino (Jadhav et al., 2022), o que torna a microbiota partícipe dessa dinâmica, sobretudo, diante de seu papel no estímulo das células enterocromafins, responsáveis pela secreção de serotonina.

Com isto, alterações na microbiota, seja por estressores ambientais ou por disbiose, podem repercutir na sinalização intestinal e sobre vias neurais, imunes e endócrinas envolvidas na comunicação intestino-cérebro, influenciando indiretamente mecanismos relacionados à serotonina e à modulação de circuitos neurais associados ao comportamento (Jadhav et al., 2022). Esse panorama sustenta a hipótese de que mudanças neste eixo possam estar associadas à maior expressão de comportamentos agonísticos em condições de estresse e, nesse sentido, os probióticos, enquanto moduladores da microbiota, podem representar uma ferramenta relevante.

Em meio às potencialidades da utilização desses aditivos, observa-se uma abrangência de atuação que pode ultrapassar o papel regulador da microbiota e da manutenção da saúde intestinal, estendendo-se também à expressão comportamental. Adicionalmente, essa abordagem, sob um viés integrativo e

complementar pode contribuir para um meio de produção capaz de mitigar potenciais riscos em relação à resistência microbiana ao reduzir a necessidade de utilização de antibióticos na produção animal, mas, também, cooperar para a garantia do bem-estar animal de forma mais abrangente (Jadhav et al., 2022).

Bem-estar animal na avicultura

A noção de bem-estar contemporânea é sustentada pela compreensão de que animais são seres sencientes e, desse modo, concebe a necessidade de se promover a estes “uma vida que vale a pena ser vivida” (Mellor, 2016; Yeates, 2017). Nesse enquadramento, os cinco domínios têm sido utilizados como referência para a definição de parâmetros mínimos de avaliação do bem-estar, contemplando não somente aspectos físico-funcionais, como nutrição, ambiência, saúde e interações comportamentais adequadas, mas também os reflexos desses fatores sobre os estados mentais dos animais (Webster, 2016).

O entendimento da influência dos estados mentais em meio às condições ambientais é relevante uma vez que a inter-relação entre esses dois fatores pode afetar a percepção do animal sobre o ambiente levando-o à experiência de estados afetivos negativos, estresse e suas respectivas respostas fisiológicas (Mellor, 2016).

Em meio à intensificação da avicultura, a baixa complexidade ambiental impõe importante desafio ao bem-estar animal. Dentro dessa conjuntura, há considerável limitação quanto à expressão de comportamentos naturais e, mais do que isso, pode-se produzir um ambiente propício ao desenvolvimento de problemas comportamentais, agressividade, além de desvios entéricos, associados ao estresse crônico (Hu e Guo, 2008; Anderson et al., 2021; Tellez-Isaias et al., 2023; Kang et al., 2024).

Em condições estressantes as aves desencadeiam uma série de mecanismos regulatórios para manutenção de sua homeostase. Nesse contexto, o eixo hipotálamo-hipófise-adrenal é um dos principais eixos envolvidos na resposta ao estresse e na manutenção da homeostase frente a um agente estressor, seja ele interno (patógenos ou disbioses) ou externo (fatores ambientais como calor) (Kuenzel e Jurkevich, 2010; Beckford et al., 2020). Diante do estresse, o hipotálamo produz o hormônio liberador de corticotrofina (CRH), um neuropeptídeo que estimula a liberação do hormônio adrenocorticotrófico ou corticotrofina (ACTH) na hipófise, que exercerá estímulo para

produção de corticosterona, hormônio associado ao estresse e importante no processo de busca por homeostasia (Kuenzel e Jurkevich, 2010; Song et al., 2011).

Entretanto, em condições de estresse crônico, a elevada e contínua exposição à corticosterona pode produzir efeitos desfavoráveis, atuando como imunossupressor e exercendo influência negativa, inclusive, sobre a microbiota (Wu et al., 2023; Li et al., 2024), favorecendo, dessa forma, eventos inflamatórios. Assim, o aumento da resposta inflamatória pode estar associado à maior produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), contribuindo para o estabelecimento de estresse oxidativo (Mishra e Jha, 2019) o que pode agravar os efeitos do estresse crônico sobre a integridade intestinal e o desempenho produtivo das aves.

Sob um prisma produtivo, Hu e Guo (2008) em seu experimento relatam que a elevação dos teores de corticosterona sugere produzir uma diminuição do crescimento de diferentes segmentos do intestino delgado das aves, como nas vilosidades e profundidades de criptas do duodeno e jejuno. Essa conjuntura, como apontam os autores, pode ter impactos diretos sobre a digestibilidade aparente de proteínas, reforçando o potencial danoso da alta e contínua exposição desse hormônio no animal. Vahdatpour et al. (2008) e Mehaisen et al. (2017) também destacam perdas importantes sobre o ganho de peso, consumo de ração, e conversão alimentar, além de peso de órgãos. Enquanto Yang et al. (2015) também ressaltam perdas em relação a conversão alimentar e ganho diário, em meio a altos níveis de corticosterona, se comparado a seus pares com níveis basais deste glicocorticoide.

Com isso, esses achados reforçam que prejuízos ao bem-estar animal, sobretudo aqueles associados à baixa complexidade ambiental, podem intensificar os impactos do estresse crônico. Assim, ferramentas vêm sendo discutidas, com o intuito de mitigar esses efeitos sobre a produção de frangos de corte. Dessa forma, a utilização de enriquecimento ambiental vem sendo colocada em evidência como importante agente nesse sentido.

Enriquecimento Ambiental

O enriquecimento ambiental pode ser definido como um conjunto de modificações estruturais ou funcionais em que se ampliam as oportunidades de expressão comportamental inata através do incremento de complexidade ambiental (Newberry, 1995).

Em frangos de corte este tipo de estratégia tem sido empregado principalmente com o intuito de estimular atividade dos animais, objetivando promover estímulo à manifestação de seu repertório comportamental e maior atividade, com reflexos sobre a diminuição do estresse, melhoria de consumo alimentar e redução de desordens locomotoras. Adicionalmente, essa ferramenta, e seus efeitos, podem influenciar indiretamente a relação intestino-cérebro, o que sugere possíveis convergências fisiológicas mediante a utilização de estratégias que abordem as duas frentes (Riber et al., 2018; Bach et al., 2019; Pedersen et al., 2020; De Jong et al., 2021).

Uma série de abordagens têm sido utilizadas para prover estímulos exploratórios, reduzir a monotonia, frustração e, conseqüentemente, o estresse crônico. Plataformas, lasers, espelhos, barreiras, dentre outros têm sido considerados como opções passíveis de serem utilizadas no sistema de produção para atender essa demanda de bem-estar (Riber et al., 2018; De Jong et al., 2021; Zahoor et al., 2022; Elsayed et al., 2024).

Nesse contexto, o enriquecimento ambiental, ao favorecer maior exploração e, portanto, movimentação nos ambientes de produção, pode contribuir para melhor distribuição espacial nos galpões, tornando possível maior expressão comportamental. Esse cenário tende a reduzir a frustração durante a vida do animal, bem como sua exposição a microambientes desfavoráveis como áreas de cama excessivamente úmidas. Como consequência cria-se um ambiente mais favorável à redução de dermatites de contato e melhora das condições gerais do alojamento; fatores que, em conjunto, podem influenciar, inclusive, nas condições sanitárias dos animais, com possíveis reflexos sobre a necessidade de utilização de antibióticos (Riber et al., 2018; Jacobs et al., 2023).

Convergências fisiológicas do uso de probióticos e enriquecimento ambiental

Diferentes estratégias produtivas, como o uso de probióticos e o enriquecimento ambiental, atuam por vias fisiologicamente distintas. No entanto, a confluência dessas vias tende a convergir para mecanismos centrais relacionados à manutenção da homeostase do organismo. Considerando que essas abordagens são tradicionalmente exploradas de maneira isolada, observa-se uma lacuna quanto ao potencial impacto de sua aplicação conjunta. Nesse contexto, diante de fatores

ambientais e sanitários desafiadores, tais estratégias têm o potencial de atuar de forma complementar na modulação de efeitos associados ao estresse oxidativo.

Em condições de pressão ambiental, decorrentes de altas densidades, frustração comportamental, entre outros fatores, ocorre, conforme previamente discutido, a ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, podendo resultar na produção contínua de corticosterona (Kuenzel e Jurkevich, 2010). A exposição prolongada a esse hormônio pode levar à imunossupressão, favorecendo a proliferação de microrganismos no trato gastrointestinal. Nesse cenário, a ocorrência de disbiose, associada a desafios entéricos, pode intensificar a resposta inflamatória intestinal, consequentemente resultar no aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ROS). Quando essa produção excede a capacidade antioxidante do organismo, se estabelece o estresse oxidativo, caracterizado pelo comprometimento do equilíbrio redox e pela predisposição ao dano celular (Mishra e Jha, 2019; Wu et al., 2023).

Uma das principais repercussões desse desequilíbrio recai sobre a integridade das membranas celulares. Dentre os principais efeitos do estresse oxidativo, destaca-se a peroxidação lipídica, processo no qual as espécies reativas interagem com os fosfolipídios das membranas celulares, promovendo sua oxidação e comprometendo sua integridade estrutural (Estévez, 2015; Mishra e Jha, 2019). Como consequência, observa-se aumento da permeabilidade da barreira intestinal, favorecendo a passagem de componentes bacterianos para a circulação sistêmica. Esse fenômeno intensifica a resposta inflamatória, estabelecendo um ciclo de retroalimentação no qual a inflamação estimula maior produção de espécies reativas, agravando o estado de estresse oxidativo (Anderson e Van Itallie, 1995; Ulluwishewa et al., 2011; Mishra e Jha, 2019).

Em meio à progressão desse processo, tecidos periféricos, como o muscular, também podem ser afetados pela inflamação sistêmica, resultando em alterações estruturais e metabólicas nas fibras musculares (Nawaz e Zhang, 2021). Esse aspecto é particularmente relevante na avicultura de corte, considerando seus possíveis impactos sobre a qualidade da carne. Estévez (2015) discute que a oxidação lipídica pode afetar fortemente as proteínas miofibrilares, o que oferece potencial de repercutir em critérios relacionados à qualidade de carne, como sua capacidade de retenção de água, perda por gotejamento e impactos sobre a textura da carne.

Sob a perspectiva do desempenho produtivo, os reflexos do estresse oxidativo também merecem destaque. Nessas condições, pode haver comprometimento da

eficiência metabólica celular, sobretudo por meio de danos às mitocôndrias. A disfunção dessas organelas reduz a eficiência da produção de energia, ao mesmo tempo em que há maior demanda energética destinada à manutenção da homeostase e à resposta inflamatória. Como resultado, pode ocorrer o redirecionamento energético em detrimento do crescimento muscular e do ganho de peso, comprometendo a eficiência produtiva das aves (Mishra e Jha, 2019).

Frente a esse cenário, a utilização de enriquecimento ambiental pode contribuir para a atenuação dos impactos da produção em altas densidades, oferecendo às aves a oportunidade de expressão de seu repertório comportamental (Newberry, 1995). Em meio a isto, a menor ativação do eixo HPA tem o potencial de contribuir para a manutenção dos níveis homeostáticos da fisiologia do animal, propiciando um contexto fisiológico sob menores desafios metabólicos frente à presença de patógenos, distúrbios intestinais e disbioses (Wu et al., 2023; Li et al., 2024). Adicionalmente, o probiótico tem potencial de contribuir de forma complementar na manutenção e consolidação de uma microbiota saudável, reduzindo a ocorrência de cadeias inflamatórias e, conseqüentemente, do estresse oxidativo (Halder et al., 2024); tornando-se, conjuntamente a utilização de enriquecimentos ambientais, estratégias passíveis de implementação para a melhoria da produtividade.

3. OBJETIVOS

Objetivo Geral: Avaliar o potencial efeito sinérgico de probióticos associados ou não à utilização de enriquecimento ambiental na produção de frangos de corte.

Objetivos Específicos: Avaliar os efeitos da utilização de probióticos em associação ao uso de enriquecimento ambiental sobre:

- Desempenho e eficiência alimentar;
- Rendimento de carcaça e cortes;
- Qualidade da carne e miopatias

.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPA. 2026. Relatório Anual 2026. Associação Brasileira de Proteína Animal.
- Aminov, R. I. 2010. A brief history of the antibiotic era: lessons learned and challenges for the future. *Front. Microbiol.* 1:134.

- Anderson, J. M. and C. M. Van Itallie. 1995. Tight junctions and the molecular basis for regulation of paracellular permeability. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 269:G467–G475.
- Anderson, M. G., A. M. Campbell, A. Crump, G. Arnott, R. C. Newberry and L. Jacobs. 2021. Effect of environmental complexity and stocking density on fear and anxiety in broiler chickens. *Animals* 11:2383.
- Bach, M. H., F. M. Tahamtani, I. J. Pedersen and A. B. Riber. 2019. Effects of environmental complexity on behaviour in fast-growing broiler chickens. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 219:104840.
- Bava, R., F. Castagna, C. Lupia, G. Poerio, G. Liguori, R. Lombardi, M. D. Naturale, C. Mercuri, R. M. Bulotta, D. Britti and E. Palma. 2024. Antimicrobial resistance in livestock: a serious threat to public health. *Antibiotics* 13.
- Beckford, R. C., L. E. Ellestad, M. Proszkowiec-Weglarz, L. Farley, K. Brady, R. Angel, H. C. Liu and T. E. Porter. 2020. Effects of heat stress on performance, blood chemistry, and hypothalamic and pituitary mRNA expression in broiler chickens. *Poult. Sci.* 99:6317–6325.
- Brisbin, J. T., J. Gong, P. Parvizi and S. Sharif. 2010. Effects of lactobacilli on cytokine expression by chicken spleen and cecal tonsil cells. *Clin. Vaccine Immunol.* 17:1337–1343.
- Cao, C., V. S. Chowdhury, M. A. Cline and E. R. Gilbert. 2021. The microbiota-gut-brain axis during heat stress in chickens: a review. *Front. Physiol.* 12:752265.
- Castanon, J. I. R. 2007. History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds. *Poult. Sci.* 86:2466–2471.
- Chateau, N. and A. Deschamps. 1993. Distribution of pathogen inhibition in the *Lactobacillus* isolates of a commercial probiotic consortium. *J. Appl. Bacteriol.* 74:36–40.
- Cheng, H.-W., S. Jiang and J. Hu. 2019. Gut-brain axis: probiotic, *Bacillus subtilis*, prevents aggression via the modification of the central serotonergic system. *Pages in Oral Health by Using Probiotic Products*. IntechOpen.
- Davis, A. and J. Sharp. 2020. Rethinking One Health: emergent human, animal and environmental assemblages. *Soc. Sci. Med.* 258:113093.
- Dibner, J. J. and J. D. Richards. 2005. Antibiotic growth promoters in agriculture: history and mode of action. *Poult. Sci.* 84:634–643.
- Dinalli, V. P., M. C. Costa, E. J. Venâncio, J. A. B. Filho, J. A. Bessegatto, A. T. Holkem, A. A. Alfieri, C. A. da Silva and A. Oba. 2025. Impact of *Chlorella vulgaris* and

- probiotic supplementation on performance, immunity and intestinal microbiota of broiler chickens. *PLoS One* 20:e0313736.
- Dutra, M. C., L. Z. Moreno, R. A. Dias, and A. M. Moreno. 2021. Antimicrobial use in Brazilian swine herds: Assessment of use and reduction examples. *Microorganisms* 9.
- Elsayed, R. A., A. S. Mohammed, A. F. Abou-Elnaga, U. A. Abou-Ismael, R. A. Darwish and M. M. Fouda. 2024. Effects of different types of environmental enrichment on behavior, performance, welfare, carcass characteristics and lipid profile of broiler chickens. *Mansoura Vet. Med. J.* 25.
- Enshaie, E., S. Nigam, S. Patel and V. Rai. 2025. Livestock antibiotics use and antimicrobial resistance. *Antibiotics* 14:621.
- Estévez, M. 2015. Oxidative damage to poultry: from farm to fork. *Poult. Sci.* 94:1368–1378.
- Guardabassi, L., L. B. Jensen and H. Kruse. 2008. *Guide to Antimicrobial Use in Animals*. Wiley, Hoboken, NJ.
- Halder, N., J. Sunder, A. K. De, D. Bhattacharya and S. N. Joardar. 2024. Probiotics in poultry: a comprehensive review. *J. Basic Appl. Zool.* 85:23.
- Hashemitabar, S. H. and S. A. Hosseinian. 2024. The comparative effects of probiotics on growth, antioxidant indices and intestinal histomorphology of broilers under heat stress condition. *Sci. Rep.* 14.
- Hernandez-Patlan, D., B. Solis-Cruz, B. M. Hargis and G. Tellez. 2020. The use of probiotics in poultry production for the control of bacterial infections and aflatoxins. Pages in *Prebiotics and Probiotics: Potential Benefits in Nutrition and Health*. IntechOpen.
- Hill, C., F. Guarner, G. Reid, G. R. Gibson, D. J. Merenstein, B. Pot, L. Morelli, R. B. Canani, H. J. Flint, S. Salminen, P. C. Calder and M. E. Sanders. 2014. Expert consensus document: the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 11:506–514.
- Hu, X. and Y. Guo. 2008. Corticosterone administration alters small intestinal morphology and function of broiler chickens. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 21:1773–1778.
- Jacobs, L., R. A. Blatchford, I. C. de Jong, M. A. Erasmus, M. Levengood, R. C. Newberry, P. Regmi, A. B. Riber and S. L. Weimer. 2023. Enhancing their quality of life: environmental enrichment for poultry. *Poult. Sci.* 102:102233.

- Jadhav, V. V., J. Han, Y. Fasina and S. H. Harrison. 2022. Connecting gut microbiomes and short chain fatty acids with the serotonergic system and behavior in *Gallus gallus* and other avian species. *Front. Physiol.* 13.
- de Jong, I. C., X. E. Blaauw, J. A. J. van der Eijk, C. Souza da Silva, M. M. van Krimpen, R. Molenaar and H. van den Brand. 2021. Providing environmental enrichments affects activity and performance, but not leg health in fast- and slower-growing broiler chickens. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 241:105375.
- Kabir, S. M. L. 2009. The role of probiotics in the poultry industry. *Int. J. Mol. Sci.* 10:3531–3546.
- Kang, S. W., K. D. Christensen, M. T. Kidd Jr. and S. K. Orlowski. 2024. Effects of environmental enrichments on welfare and hepatic metabolic regulation of broiler chickens. *Animals* 14:557.
- Khan, S., R. J. Moore, D. Stanley and K. K. Chousalkar. 2020. The gut microbiota of laying hens and its manipulation with prebiotics and probiotics to enhance gut health and food safety. *Appl. Environ. Microbiol.* 86:e00600-20.
- Knipe, H., B. Temperton, A. Lange, D. Bass and C. R. Tyler. 2021. Probiotics and competitive exclusion of pathogens in shrimp aquaculture. *Rev. Aquac.* 13:324–352.
- Konieczka, P., D. Sandvang, M. Kinsner, D. Szkopek, N. Szyryńska and J. Jankowski. 2022. *Bacillus*-based probiotics affect gut barrier integrity in different ways in chickens subjected to optimal or challenge conditions. *Vet. Microbiol.* 265:109323.
- Krysiak, K., D. Konkol and M. Korczyński. 2021. Overview of the use of probiotics in poultry production. *Animals* 11:1620.
- Kuenzel, W. J. and A. Jurkevich. 2010. Molecular neuroendocrine events during stress in poultry. *Poult. Sci.* 89:832–840.
- Li, F., X. Chen, X. Xu, L. Wang, J. Yan, Y. Yu, X. Shan, R. Zhang, H. Xing, T. Zhang and S. Pan. 2024. Alterations of intestinal mucosal barrier, cecal microbiota diversity, composition, and metabolites of yellow-feathered broilers under chronic corticosterone-induced stress: a possible mechanism underlying the anti-growth performance and glycolipid metabolism disorder. *Microbiol. Spectr.* 12.
- Loddi, M. M., E. Gonzales, T. S. Takita, A. A. Mendes and R. O. Roça. 2000. Uso de probiótico e antibiótico sobre o desempenho, o rendimento e a qualidade de carcaça de frangos de corte. *Rev. Bras. Zootec.* 29.

- Mehaisen, G. M. K., R. M. Ibrahim, A. A. Desoky, H. M. Safaa, O. A. El-Sayed and A. O. Abass. 2017. The importance of propolis in alleviating the negative physiological effects of heat stress in quail chicks. *PLoS One* 12:e0186907.
- Mellor, D. J. 2016. Updating animal welfare thinking: moving beyond the “five freedoms” towards “a life worth living.” *Animals* 6:21.
- Meyer, M. M., A. K. Johnson and E. A. Bobeck. 2019. A novel environmental enrichment device improved broiler performance without sacrificing bird physiological or environmental quality measures. *Poult. Sci.* 98:5247–5256.
- Mishra, B. and R. Jha. 2019. Oxidative stress in the poultry gut: potential challenges and interventions. *Front. Vet. Sci.* 6:60.
- Mulchandani, R., Y. Wang, M. Gilbert and T. P. Van Boeckel. 2023. Global trends in antimicrobial use in food-producing animals: 2020 to 2030. *PLOS Glob. Public Health* 3:e0001305.
- Nawaz, A. H. and L. Zhang. 2021. Oxidative stress in broiler chicken and its consequences on meat quality. *Int. J. Life Sci. Res. Arch.* 1:045–054.
- Newberry, R. C. 1995. Environmental enrichment: increasing the biological relevance of captive environments. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 44:229–243.
- Nikulina, E. M. 1991. Neural control of predatory aggression in wild and domesticated animals. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 15:545–547.
- Pedersen, I. J., F. M. Tahamtani, B. Forkman, J. F. Young, H. D. Poulsen and A. B. Riber. 2020. Effects of environmental enrichment on health and bone characteristics of fast growing broiler chickens. *Poult. Sci.* 99:1946–1955.
- Post, J., J. Rebel and A. ter Huurne. 2003. Physiological effects of elevated plasma corticosterone concentrations in broiler chickens: an alternative means by which to assess the physiological effects of stress. *Poult. Sci.* 82:1313–1318.
- Rehman, A., M. Arif, N. Sajjad, M. Q. Al-Ghadi, M. Alagawany, M. E. Abd El-Hack, A. R. Alhimaidi, S. S. Elnesr, B. O. Almutairi, R. A. Amran, E. O. S. Hussein and A. A. Swelum. 2020. Dietary effect of probiotics and prebiotics on broiler performance, carcass, and immunity. *Poult. Sci.* 99:6946–6953.
- Riber, A. B., H. A. van de Weerd, I. C. de Jong and S. Steenfeldt. 2018. Review of environmental enrichment for broiler chickens. *Poult. Sci.* 97:378–396.
- Riber, A. B., and K. E. Wurtz. 2024. Impact of growth rate on the welfare of broilers. *Animals* 14:3330.
- Sanders, M. E. 2008. Probiotics: definition, sources, selection, and uses. *Clin. Infect. Dis.* 46:S58–S61.

- Schluter, J., C. D. Nadell, B. L. Bassler and K. R. Foster. 2015. Adhesion as a weapon in microbial competition. *ISME J.* 9:139–149.
- Song, Z., L. Yuan, H. Jiao and H. Lin. 2011. Effect of corticosterone on hypothalamic corticotropin-releasing hormone expression in broiler chicks (*Gallus gallus domesticus*) fed a high energy diet. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 24:1736–1743.
- Such, N., V. Farkas, G. Csitári, L. Pál, A. Márton, L. Menyhárt and K. Dublec. 2021. Relative effects of dietary administration of a competitive exclusion culture and a synbiotic product, age and sampling site on intestinal microbiota maturation in broiler chickens. *Vet. Sci.* 8:187.
- Sugiharto, S. and S. Ranjitkar. 2019. Recent advances in fermented feeds towards improved broiler chicken performance, gastrointestinal tract microecology and immune responses: a review. *Anim. Nutr.* 5:1–10.
- Sundberg, J. P. and P. N. Schofield. 2009. One Medicine, One Pathology, and the One Health concept. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 234:1530–1531.
- Tawde, P. P., S. G. Choudhari, Z. Quazi Syed and A. Gaidhane. 2024. Rudolf Virchow: integrating medicine and social reform for public health. *Cureus* 16.
- Tellez-Isaias, G., W. Eisenreich, V. M. Petrone-Garcia, X. Hernandez-Velasco, I. Castellanos-Huerta, G. Tellez, J. D. Latorre, W. G. Bottje, R. Señas-Cuesta, M. E. Coles, B. M. Hargis, S. El-Ashram, B. D. Graham and A. A. Shehata. 2023. Effects of chronic stress and intestinal inflammation on commercial poultry health and performance: a review. *Ger. J. Vet. Res.* 3:38–57.
- Ulluwishewa, D., R. C. Anderson, W. C. McNabb, P. J. Moughan, J. M. Wells and N. C. Roy. 2011. Regulation of tight junction permeability by intestinal bacteria and dietary components. *J. Nutr.* 141:769–776.
- Vahdatpour, T., K. Nazer Adl, Y. Ebrahim Ne, N. Mahery Sis, S. R. Riyazi and S. Vahdatpour. 2008. Effects of corticosterone intake as stress-alternative hormone on broiler chickens: performance and blood parameters. *Asian J. Anim. Vet. Adv.* 4:16–21.
- Webster, J. 2016. Animal welfare: freedoms, dominions and “a life worth living.” *Animals* 6:35.
- Wu, L., X. Liu, A. Zhang, H. Chen, R. Zhao and Y. Jia. 2023. Chronic corticosterone exposure disrupts hepatic and intestinal bile acid metabolism in chicken. *Front. Vet. Sci.* 10.

- Yang, J., L. Liu, A. Sheikahmadi, Y. Wang, C. Li, H. Jiao, H. Lin, and Z. Song. 2015. Effects of corticosterone and dietary energy on immune function of broiler chickens. *PLoS One* 10:e0119750.
- Yang, S. C., C. H. Lin, C. T. Sung, and J. Y. Fang. 2014. Antibacterial activities of bacteriocins: application in foods and pharmaceuticals. *Front. Microbiol.* 5:241.
- Yeates, J. W. 2017. How good? Ethical criteria for a “good life” for farm animals. *J. Agric. Environ. Ethics* 30:23–35.
- Zahoor, M. S., S. Ahmad, M. Usman, M. Dawood, K. El-Sabrou, S. G. M. D. Hashmi, E. U. Khan, M. Hussain, M. A. Maqsood and H. R. A. Latif. 2022. Effects of mirror and coloured balls as environmental enrichment tools on performance, welfare and meat quality traits of commercial broiler. *Trop. Anim. Health Prod.* 54.
- Zhang, T., R. Nickerson, W. Zhang, X. Peng, Y. Shang, Y. Zhou, Q. Luo, G. Wen and Z. Cheng. 2024. The impacts of animal agriculture on One Health—bacterial zoonosis, antimicrobial resistance and beyond. *One Health* 18:100748.
- Zinsstag, J., A. Kaiser-Grolimund, K. Heitz-Tokpa, R. Sreedharan, J. Lubroth, F. Caya, M. Stone, H. Brown, B. Bonfoh, E. Dobell, D. Morgan, N. Homaira, R. Kock, J. Hattendorf, L. Crump, S. Mauti, V. del Rio Vilas, S. Saikat, A. Zumla, D. Heymann, O. Dar and S. de la Rocque. 2023. Advancing One human-animal-environment Health for global health security: what does the evidence say? *Lancet* 401:591–604.

CAPÍTULO II

PROBIÓTICOS E ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL NO DESEMPENHO, RENDIMENTO E QUALIDADE DE CARNE EM FRANGOS DE CORTE

Protocolo experimental aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal da Grande Dourados (CEUA/UFGD) sob protocolo de nº 38.2022

Artigo redigido e formatado de acordo com as normas da Revista Poultry Science, ISSN: 1525-3171 (online), Fator de impacto: 4,5, Percentil 95% (Scopus), Qualis CAPES A1

PROBIÓTICOS E ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL NO DESEMPENHO, RENDIMENTO E QUALIDADE DE CARNE EM FRANGOS DE CORTE

RESUMO – O presente estudo avaliou os efeitos de aditivos dietéticos e do enriquecimento ambiental sobre o desempenho produtivo, rendimento de carcaça, qualidade da carne e miopatias peitorais em frangos de corte. Foram utilizados 1.440 frangos machos, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2, correspondente a três tipos de aditivos (controle negativo, antimicrobiano melhorador de desempenho e probiótico) e à presença ou ausência de enriquecimento ambiental, com oito repetições por tratamento. O desempenho produtivo foi avaliado por meio do consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar e viabilidade, aos 7, 21, 35 e 42 dias de idade. Aos 42 dias, 10% das aves foram abatidas para avaliação do rendimento de carcaça e de cortes e realização de análises de atributos da carne. Em relação à qualidade, foram analisados pH, cor objetiva (L^* , a^* , b^*), capacidade de retenção de água, perdas por exsudação, resfriamento e cocção, além de força de cisalhamento, medidas físicas do filé e ocorrência de miopatias peitorais. Não foram observadas interações entre os fatores para desempenho produtivo e rendimento de carcaça ($P>0,05$). Na qualidade da carne, houve interação para perda por cocção ($P<0,05$), além de respostas pontuais sobre luminosidade e severidade de *White Striping*. O tratamento controle apresentou maior consumo de ração e ganho de peso de 1 a 21 dias, enquanto o enriquecimento ambiental aumentou o consumo até 35 dias e reduziu a severidade de *White Striping*. Portanto, a associação entre aditivos dietéticos e enriquecimento ambiental não sustentou efeito sinérgico consistente, embora não tenha comprometido o desempenho, o rendimento de carcaça e a maior parte dos atributos de qualidade da carne nas condições avaliadas.

Palavras-chave: aditivos alternativos, bem-estar animal, miopatias peitorais, modulação fisiológica, Saúde Única

PROBIOTICS AND ENVIRONMENTAL ENRICHMENT ON PERFORMANCE, CARCASS YIELD, AND MEAT QUALITY IN BROILER CHICKENS

ABSTRACT – This study evaluated the effects of dietary additives and environmental enrichment on productive performance, carcass yield, meat quality, and pectoral myopathies in broiler chickens. A total of 1,440 male broilers were used in a completely randomized design arranged in a 3 × 2 factorial scheme, corresponding to three types of additives (negative control, antimicrobial growth promoter, and probiotic) and the presence or absence of environmental enrichment, with eight replicates per treatment. Productive performance was assessed based on feed intake, body weight gain, feed conversion ratio, and viability at 7, 21, 35, and 42 days of age. At 42 days, 10% of the birds were slaughtered for carcass and cut yield evaluation and meat quality analyses. Regarding meat quality, pH, objective color (L*, a*, b*), water-holding capacity, *Drip Loss*, chilling loss, cooking loss, shear force, fillet physical measurements, and the occurrence of pectoral myopathies were evaluated. No interactions between factors were observed for productive performance or carcass yield ($P>0.05$). For meat quality, an interaction was observed for cooking loss ($P<0.05$), along with punctual responses in lightness and *White Striping* severity. The control treatment showed greater feed intake and body weight gain from 1 to 21 days, whereas environmental enrichment increased feed intake up to 35 days and reduced the severity of *White Striping*. Therefore, the association between dietary additives and environmental enrichment did not support a consistent synergistic effect, although it did not impair performance, carcass yield, or most meat quality attributes under the conditions evaluated.

Keywords: alternative additives, animal welfare, breast myopathies, One Health, physiological modulation

INTRODUÇÃO

A avicultura incorporou amplamente o uso de antibióticos em caráter terapêutico e subterapêutico. Contudo, a percepção dos riscos associados ao seu uso indiscriminado impulsionou a busca por alternativas capazes de preservar seus benefícios produtivos sem os efeitos indesejáveis de sua utilização (Ogbuewu et al., 2022; Enshaie et al., 2025). Nesse contexto, os probióticos têm se constituído como importante ferramenta nutricional, em razão de seu potencial para modular a saúde intestinal e contribuir para os índices zootécnicos de frangos de corte (Bai et al., 2017; Zhang et al., 2021; Mokonyama et al., 2025).

Probióticos podem ser definidos como organismos vivos que, quando administrados em quantidade adequada, conferem benefícios à saúde de seu hospedeiro (Hill et al., 2014). Nesse sentido, estes têm sido demandados sobretudo em função do seu potencial de promover ganhos em relação à saúde e produtividade de frangos de corte (Bai et al., 2017; Zhang et al., 2021; Mokonyama et al., 2025). Estes aditivos podem atuar por uma série de mecanismos de ação, como produção enzimática, contribuindo para melhora da digestibilidade, absorção de nutrientes, além da integridade intestinal (Abd El-Hack et al., 2020; Krysiak et al., 2021; Mokonyama et al., 2025); exclusão competitiva ou ainda capacidade de modulação do sistema imune, com controle inflamatório e a secreção de compostos inibitórios (Abd El-Hack et al., 2020; Halder et al., 2024).

A compreensão dos probióticos como agentes moduladores da saúde intestinal e da produtividade tem ampliado o interesse sobre seus possíveis efeitos indiretos no bem-estar animal. Sob essa perspectiva, entende-se que há uma íntima relação entre os eixos microbiota-intestino-cérebro, de modo que a composição da microbiota intestinal desempenha papel primordial na regulação da homeostase fisiológica das aves (Cao et al., 2021; Beldowska et al., 2023). Cao et al. (2021) destacam a microbiota intestinal como uma importante reguladora do peristaltismo, influenciando em secreções, absorção e na motilidade intestinal; mas também estão relacionados à produção da serotonina, associado ao bem-estar (Ahmed-Farid et al., 2021; Koopman et al., 2021).

Mishra e Jha (2019) destacam que, na avicultura comercial, ainda há diferentes fatores que podem elevar o estresse e comprometer o bem-estar animal, favorecendo processos inflamatórios, estresse oxidativo e prejuízos à integridade intestinal (Kurutas, 2016; Mishra e Jha, 2019). Nesse contexto, os probióticos representam

importante estratégia de modulação fisiológica, embora não atuem diretamente sobre muitos dos agentes causais do estresse. Desse modo, evidencia-se, também, a relevância de estratégias complementares, como aquelas voltadas à promoção de maior complexidade ambiental e à oferta de estímulos cognitivos às aves (Anderson et al., 2021).

A intensificação dos sistemas de produção trouxe, também, avanços no controle de fatores como biossegurança, ambiência e manejo nutricional. No entanto, contribuiu para a consolidação de ambientes com menor complexidade estrutural o que passou a associa-la a perda de qualidade de vida do animal e o cerceamento da expressão de comportamentos naturais, ocasionando frustração, ansiedade, com decorrente estresse crônico durante a vida do animal (Steimer, 2002; Jacobs et al., 2023; Kang et al., 2024).

Newberry (1995) define o enriquecimento ambiental como modificações no ambiente capazes de melhorar a funcionalidade biológica do animal. Assim, recursos como rampas, espelhos, bolas coloridas, correntes, dentre outros, têm sido empregados com o objetivo de estimular comportamentos naturais e promover o desenvolvimento cognitivo das aves propiciando seu bem-estar (Pedersen et al., 2020; Anderson et al., 2021; Zahoor et al., 2022; Kang et al., 2024).

Entretanto, os desafios presentes nos sistemas intensivos de produção não se restringem a um único fator. Pressões ambientais, sanitárias e comportamentais podem atuar simultaneamente sobre as aves, favorecendo desequilíbrios fisiológicos associados ao estresse crônico, à disbiose intestinal, à inflamação e ao estresse oxidativo (Estévez, 2015; Mishra e Jha, 2019; Nawaz e Zhang, 2021). Nesse cenário, estratégias avaliadas de forma isolada podem não contemplar a complexidade dessas respostas. Assim, torna-se relevante investigar abordagens integradas, como a associação entre probióticos e enriquecimento ambiental, uma vez que essas ferramentas podem atuar por vias distintas, porém potencialmente complementares, na modulação da saúde intestinal, do bem-estar e da resposta produtiva das aves.

Nesse sentido, considerando que probióticos e enriquecimento ambiental atuam por vias distintas e potencialmente complementares, partiu-se da hipótese de que sua associação poderia modular, de forma interdependente, as repostas produtivas, o rendimento de carcaça, a qualidade de carne e a ocorrência de miopatias. Deste modo, o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial sinérgico do uso de probióticos e o enriquecimento ambiental sobre o desempenho, rendimento e atributos da carne de frangos de corte.

MATERIAIS E MÉTODOS

Local, Instalações e Equipamentos

Este estudo foi conduzido nas instalações da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), em Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil, após aprovação pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA), sob o protocolo n.º 38/2022.

O experimento foi conduzido no galpão experimental de frangos de corte de 50 m de comprimento, 10 m de largura e um pé-direito de 3 m. O galpão dispôs de 48 boxes de 3,29 m², nos quais foi utilizada cama de maravalha tratada e disponibilizados bebedouros e comedouros pendulares automáticos, regulados conforme manual de linhagem.

As condições ambientais do galpão puderam ser moduladas por meio de sistema de ventilação em pressão negativa, placas evaporativas, cortinas e sobre cortinas. O aquecimento inicial foi realizado por meio de campânulas de lâmpadas infravermelhas de 250 W, alocadas individualmente nos boxes. Desse modo, ao longo do período experimental, as médias de temperatura e umidade relativa do ar foram, de modo respectivo, 29,0 °C e 69,7% na fase pré-inicial (1 a 7 dias), 25,4 °C e 78,6% na fase inicial (8 a 21 dias), 21,1 °C e 76,8% na fase de crescimento (22 a 35 dias) e 19,2 °C e 68,9% na fase final (36 a 42 dias). O programa de luz adotado seguiu o Manual de Manejo de Frangos de Corte (Aviagen, 2024), com intensidade de 22 lúmens/m².

Animais e delineamento experimental

Foram utilizadas 1.440 aves, machos, da linhagem Ross TM4, oriundas de um incubatório comercial, distribuídas em 48 boxes de 3,29 m² cada, a uma densidade de aproximadamente 12 aves/m² e 10 aves/m² nos tratamentos com e sem enriquecimento, respectivamente; totalizando 30 aves por unidade experimental/box com peso médio inicial das aves de 39,26 ± 0,51 g.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2, sendo avaliados dois fatores: o uso de aditivos na dieta (probiótico, antimicrobiano melhorador de desempenho ou ausência de aditivos) e a presença ou ausência de enriquecimento ambiental, constituindo, desse modo, seis tratamentos, com oito repetições cada.

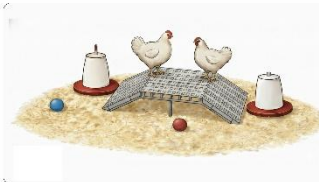
		FATOR ADITIVO/NUTRICIONAL		
		CONTROLE	ANTIBIÓTICO	PROBIÓTICO
FATOR AMBIENTAL	AMBIENTE ENRIQUECIDO			
	AMBIENTE NÃO ENRIQUECIDO			

Figura 1. Representação dos tratamentos experimentais, considerando os fatores nutricionais: CTL (controle); ATB (antimicrobiano); PBC (probiótico); e ambientais: ENR (ambiente enriquecido) e ANE (Ambiente não enriquecido), e suas combinações.

Uso de probiótico, antimicrobiano e enriquecimento ambiental

O probiótico utilizado consistiu em um *blend* comercial composto por bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus* e *Lactobacillus* na dosagem de 200 g/t durante todo o período experimental (1 a 42 dias). Foi utilizada a Bacitracina de Zinco como antimicrobiano melhorador de desempenho, incluída na dieta na concentração de 500 g/t no período de 1 a 35 dias.

Para o enriquecimento ambiental, foram utilizadas duas abordagens simultâneas: um enriquecimento fixo e outro rotativo. O enriquecimento fixo consistiu na presença de plataformas elevadas com acesso por rampas, de material plástico vazado, para melhor aderência das aves. Por sua vez, o rotativo era caracterizado pela presença de dois elementos temporários (redes com feno de trigo, bolas coloridas, correntes de ferro, espelhos, bola metálica com feno e fitas metálicas) que eram rotacionados a cada três dias para manutenção do estímulo exploratório, sendo que estes eram posicionados de maneira suspensa (exceção às bolas coloridas e metálicas), com altura ajustada conforme o crescimento das aves. Ambas as modalidades de enriquecimento foram mantidas do início ao fim do ciclo experimental.



Figura 2. Box dotado de enriquecimentos ambientais, fixos (rampa) e rotativos (bolas).

Dieta experimental e manejo alimentar

As dietas foram formuladas à base de milho e farelo de soja e suplementadas com vitaminas e minerais de forma a estabelecer um fornecimento isonutritivo e isoenergético entre os tratamentos. As rações foram formuladas de maneira adaptada em relação às formulações propostas por Rostagno et al. (2017) para as fases: pré-inicial, inicial, crescimento e final, sendo direcionadas aos períodos de 1 a 7, 8 a 21, 22 a 35 e 36 a 42 dias, respectivamente. O regime alimentar adotado foi o *ad libitum* durante todo período experimental.

Tabela 1. Composição das dietas experimentais (100kg) formuladas para frangos de corte de crescimento rápido com a inclusão de antibiótico e probiótico como aditivos melhoradores de desempenho.

Ingredientes	Pré-inicial	Inicial	Crescimento	Final
Milho	42,858	46,260	53,137	62,819
Farelo de soja	46,218	42,749	35,592	27,675
Óleo de soja	5,096	5,826	6,182	5,003
Fosfato bi cálcico	2,331	2,132	1,821	1,471
Calcário	0,762	0,721	0,557	0,424
Sal	0,489	0,473	0,449	0,420
DL-Metionina	0,351	0,327	0,286	0,228
L-Lisina	0,105	0,224	0,178	0,217
L-Treonina	0,060	0,058	0,064	0,058
Cloreto de colina	0,080	0,080	0,080	0,080
Premix vitamínico ¹	0,030	0,025	0,016	0,015
Premix mineral ²	0,070	0,060	0,050	0,050
Porção Variável*	1,550	1,065	1,588	1,540
Atendimento das Exigências, %				
EM kcal/kg	3.000	3.100	3.200	3.250
Proteína bruta	25,010	23,750	21,040	18,290
Cálcio	1,029	0,911	0,758	0,606
Fósforo disponível	0,553	0,525	0,458	0,383
Sódio	0,210	0,210	0,201	0,191
Lisina	1,369	1,366	1,161	1,008
Metionina	0,667	0,627	0,558	0,473
Metionina + Cistina	1,011	0,955	0,856	0,742
Treonina	0,905	0,852	0,763	0,661

¹Suplemento vitamínico níveis de inclusão: Ácido fólico (mín.) 2,25 mg; ácido pantotênico (mín.) 30 mg; Biotina (mín.) 0,240 mg; Niacina (mín.) 120 mg; Vitamina A (mín.) 24.000 UI; Vitamina B1 (mín.) 9,0 mg; Vitamina B12 (mín.) 54 µg; Vitamina B2 (mín.) 18 mg; Vitamina B6 (mín.) 9,75 mg; Vitamina D3 (mín.) 7.500 UI; Vitamina E (mín.) 45,0 UI; Vitamina K3 (mín.) 7,5 mg.

²Suplemento mineral níveis de garantia: Cobre (mín.) 18,9 mg; Ferro (mín.) 1,57 mg; Iodo (mín.) 3,78 mg; Manganês (mín.) 2,1 mg; Selênio (mín.) 0,9 mg; Zinco (mín.) 1,8 mg.

*Porção Variável: Composta por material inerte, em que também foram acrescidos aditivos nutricionais (probiótico, 200g/t ou bacitracina de zinco, 500g/t).

Avaliação de desempenho

Foram avaliados os índices de consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) e viabilidade (viabilidade = 100 – mortalidade (%)) dos tratamentos. A mortalidade foi monitorada diariamente e utilizada como fator para correção de índices de consumo, conforme descrito por Sakomura e Rostagno (2007), enquanto os demais índices foram mensurados ao 7º, 21º, 35º e 42º dia de idade. O ganho de peso foi definido a partir dos dados obtidos pela pesagem de 100% das aves em cada uma das unidades experimentais no período corrente. Semelhantemente, foi realizada a pesagem de ração ainda disponível em comedouro para estimativa do

consumo de ração no período e, dessa forma, uma vez com o consumo e ganho de peso, pôde-se determinar a conversão alimentar. Desse modo, foram avaliados os períodos de 1 a 7, 1 a 21, 1 a 35 e 1 a 42 dias a fim de que fosse observada a prevalência dos efeitos dos fatores cumulativamente nas diferentes fases de desenvolvimento das aves.

Rendimento de carcaça e cortes

Para a determinação do rendimento da carcaça foram coletadas 10% das aves totalizando 144 frangos, três aves de cada box. Esses animais foram submetidos a um jejum de oito horas e, posteriormente, transportados ao Abatedouro Experimental da Universidade Federal da Grande Dourados. Em seguida, foram pesados e submetidos à insensibilização via deslocamento cervical, seguido por secção das veias jugulares e artérias carótidas, sendo a sangria realizada por, no mínimo, três minutos.

Após o abate, as carcaças foram submetidas à escaldagem, depenagem, evisceração e resfriamento. Uma vez desprovidas de cabeça, pescoço e vísceras comestíveis, as carcaças evisceradas inteiras foram pesadas para determinação do rendimento de carcaça. Posteriormente, foram submetidas à desossa manual para obtenção e pesagem dos cortes comerciais. Dessa forma, foram avaliados o rendimento de carcaça eviscerada inteira, peito com e sem osso, pernas (coxas e sobrecoxas), asas, dorso e pés, sendo cada componente pesado individualmente e expresso em percentual em relação ao peso vivo pré-abate.

Qualidade de carne

As análises de carne foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Carnes da Universidade Federal da Grande Dourados. Foram utilizados 144 peitos para realização da mensuração das medidas físicas dos filés, pH, cor objetiva, capacidade de retenção de água, perda por exsudação (*Drip Loss*), perda por cocção, perda por resfriamento, força de cisalhamento e presença de miopatias, iniciadas 24h após o abate.

Medidas físicas do filé

As medidas físicas do filé foram mensuradas a partir de um paquímetro digital, conforme descrito por Mudalal et al. (2015), definindo comprimento, largura e

espessura. Os filés também foram pesados em balança digital, sendo os resultados expressos em gramas.

Potencial Hidrogeniônico (pH)

A mensuração do potencial hidrogeniônico, foi realizada por meio de pHmetro digital Testo 205 penetrando o sensor em três diferentes pontos do peito, na região superior, medial e inferior do músculo, utilizando-se do valor médio das métricas.

Cor

No que se refere a cor dos filés de peito, esta foi determinada por meio de um colorímetro Minolta portátil CR 400, no sistema CIELab, onde foram avaliados os parâmetros de luminosidade (L^*), teor de vermelho (a^*) e teor de amarelo (b^*), conforme a metodologia proposta por Van Laack et al. (2000).

Capacidade de retenção de água

Para a avaliação da capacidade de retenção de água (CRA), foram pesadas em balança analítica amostras cúbicas de peito de frango de $2,0 \pm 0,01$ g e, posteriormente, envolvidas em papel filtro. Em sequência, as amostras foram alocadas entre duas placas de vidro e mantidas sob um peso de 10 kg por um período de cinco minutos. A CRA foi calculada considerando a proporção de água retida pela amostra após a aplicação da pressão, sendo expressa em porcentagem em relação ao peso inicial.

$$CRA (\%) = 100 - [(\text{peso inicial} - \text{peso final}) / \text{peso inicial} \times 100]$$

Perda por exsudação (Drip Loss)

A perda por exsudação (*Drip Loss*) foi realizada por meio da coleta de amostras de 80 g de músculo da parte superior do filé e dispostas em recipientes de plástico em uma malha sintética suspensa de modo a evitar o contato direto da amostra com o exsudato liberado. Os recipientes foram mantidos sob refrigeração a 4 ± 1 °C por 48 h, quando então foram pesados e, assim, mensuradas as perdas com base na diferença do peso inicial e final, conforme descrito por Mudalal et al. (2015).



Figura 3. Ilustração do processo de análise de perda por exsudação (Drip Loss)

Perda por cocção

Perdas por cocção foram determinadas com base na metodologia descrita por Honikel (1998), a partir do cálculo da diferença entre o peso final e inicial das amostras de carne após o processo de cocção.

Perda por resfriamento

A perda por resfriamento foi mensurada a partir da diferença entre o peso inicial e final das amostras após o processo de resfriamento em gelo. Após a pesagem inicial, as amostras foram mantidas sob resfriamento e, ao final do período, pesadas novamente, determinando-se o percentual de perda em relação ao peso inicial; conforme descrito por Huezo et al. (2007)

Força de cisalhamento

Para determinação de força de cisalhamento as amostras utilizadas na análise de perda de peso por cozimento foram cortadas em paralelepípedos com dimensões de 1 x 1 x 2 cm em quintuplicata. Posteriormente, foi utilizado um texturômetro TAXT Plus (Stable Micro Systems), as amostras foram dispostas com as fibras orientadas no sentido perpendicular, entre as lâminas Warner-Bratzler dispostas no aparelho.

O teste foi realizado com velocidade de descida da lâmina de 200 mm/min, sendo os resultados expressos em kgf/cm².

Miopatias peitorais

Foi realizada a avaliação de miopatias peitorais presentes nas amostras das 144 carcaças coletadas no experimento, por meio de inspeção visual e tátil dos filés de peito.

Peito Amadeirado (Wooden Breast)

A presença de peito amadeirado (*Wooden Breast*) foi avaliado conforme os aspectos táteis do músculo *Pectoralis major*, qualificando as amostras em escores conforme a extensão das lesões, sendo: 0 – peitos sem enrijecimento, 1 – peito com pontos focais enrijecidos, e 2 – peito totalmente enrijecido e 3 – peito totalmente enrijecido, com material viscoso e hemorragia, conforme descrito por Tijare et al. (2016)

White Striping

A classificação do *White Striping* foi realizada visualmente no músculo *Pectoralis major*, de acordo com a metodologia proposta por Kuttappan et al. (2016) em que utilizava-se uma escala em que 0 – normal (sem linhas brancas), 1 – moderado (linhas brancas, com espessura menor que 1 mm, aparentes na superfície do filé), 2 – severo (linhas brancas de 1 a 2 mm de espessura, muito visíveis na superfície do filé) e 3 – extremo (linhas brancas maiores que 2 mm de espessura, cobrindo quase toda a superfície do filé).



Figura 4. Escore de classificação de *White Striping* de peito de frangos de corte onde 0 = normal; 1: moderado; 2: severo; 3: extremo. Fonte: Kuttappan et al. (2016).

Análise Estatística

Os dados de desempenho, rendimento de carcaça e qualidade de carne foram avaliados quanto à normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro Wilk e homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene. Assim, foi realizada análise de variância utilizando o PROC MIXED do SAS (2014). Os modelos estatísticos incluíram o tipo de aditivo utilizado, o enriquecimento ambiental e suas interações. O efeito de animal, aninhado dentro de cada tratamento, incluído como fator aleatório em todos os modelos (comando RANDOM). Quando significativas as interações foram desdobradas, tendo suas médias comparadas pelo teste de Tukey. Quando não houve interações, as médias dos efeitos principais foram comparadas usando o mesmo teste.

Os dados obtidos para avaliações de miopatias foram dados de escores, portanto, esses dados não têm distribuição normal. Assim, utilizou-se a teoria de modelos lineares generalizados proposta por Nelder e Wedderburn (1972) e aplicou-se o procedimento SAS GLIMMIX (SAS, 2003). A distribuição dos dados foi GAMMA que assume que os logaritmos dos dados são normalmente distribuídos. A seleção das matrizes do procedimento GLIMMIX levaram em consideração o parâmetro AICC, para seu melhor ajuste aos dados. Os modelos estatísticos incluíram o tipo de aditivo utilizado, o enriquecimento ambiental e suas interações. O efeito de animal, aninhado dentro de cada tratamento, incluído como fator aleatório em todos os modelos (comando RANDOM). Para comparar as médias pelo teste “lsmeans”, as “estimativas” obtidas foram utilizadas em funções de “ligação inversa” e ajustes (linhas pdiffilink) do procedimento GLIMMIX.

RESULTADOS

Desempenho produtivo

Não foram observados efeitos sinérgicos entre os fatores avaliados sobre os parâmetros de desempenho. De maneira complementar, ao se avaliar cumulativamente, não foram verificadas diferenças significativas ($P>0,05$) entre os fatores estudados no período de 1 a 7 dias. Já no intervalo de 1 a 21 dias, o tratamento controle, (sem inclusão de aditivos), apresentou maior consumo de ração, acompanhado de maior ganho de peso, conforme demonstra a tabela 2. Apesar disso, não foram detectadas diferenças significativas ($P>0,05$) para conversão alimentar e viabilidade nesse período.

Tabela 2. Desempenho produtivo de frangos de corte nas fases de 1 a 7 e 1 a 21 dias de idade em função da inclusão de aditivos alimentares e do enriquecimento ambiental.

Desempenho	ADITIVO	ENRIQUECIMENTO			EPM ¹	P		
		ENR	ANE	TOTAL		ADITIVO	ENRIQU	A*E
1 a 7 dias de idade								
Ganho de peso (g/ave)	ATB	135,81	134,26	135,03	0,86	0,063	0,972	0,462
	CTL	138,11	141,14	139,62				
	PBC	139,71	138,40	139,05				
	TOTAL	137,87	137,93	137,90				
Consumo de ração (g/ave)	ATB	138,91	139,73	139,31	1,28	0,643	0,809	0,860
	CTL	142,25	142,16	142,20				
	PBC	141,10	138,42	139,76				
	TOTAL	140,75	140,10	140,43				
Conversão alimentar (g/g)	ATB	1,02	1,04	1,031	0,01	0,565	0,839	0,635
	CTL	1,03	1,01	1,019				
	PBC	1,01	1,00	1,005				
	TOTAL	1,02	1,02	1,018				
Viabilidade (%)	ATB	99,84	99,84	98,84	0,13	0,337	0,296	0,336
	CTL	100,00	100,00	100,00				
	PBC	100,00	99,42	99,84				
	TOTAL	100,00	99,84	99,56				
1 a 21 dias de idade								
Ganho de peso (g/ave)	ATB	1017,29	994,65	1005,97B	7,05	0,011	0,250	0,390
	CTL	1048,14	1057,81	1052,97A				
	PBC	1029,82	997,30	1012,75B				
	TOTAL	1031,75	1016,59	1023,90				
Consumo de ração (g/ave)	ATB	1163,63	1153,48	1158,56B	7,52	0,001	0,710	0,447
	CTL	1202,42	1230,58	1216,50A				
	PBC	1160,04	1156,68	1158,36B				
	TOTAL	1175,36	1180,25	1177,81				
Conversão alimentar (g/g)	ATB	1,14	1,15	1,15	0,00	0,895	0,732	0,152
	CTL	1,16	1,13	1,15				
	PBC	1,14	1,15	1,15				
	TOTAL	1,15	1,15	1,15				
Viabilidade (%)	ATB	98,75	98,750	98,75	0,32	0,576	0,999	0,119
	CTL	98,33	100,000	99,17				
	PBC	99,17	97,501	98,33				
	TOTAL	98,75	98,750	98,75				

*Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna e por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($P < 0,05$). ATB (Antibiótico); CTL (Dieta controle, sem aditivos); PBC (Probióticos); ENR (ambiente enriquecido); ANE (Ambiente não enriquecido); EPM: Erro Padrão da Média. **As médias dos efeitos principais e das combinações fatoriais correspondem às médias ajustadas pelo modelo estatístico, podendo não representar médias aritméticas simples.

Considerando o período de 1 a 35 dias, observou-se médias mais elevadas onde houve maior complexidade ambiental ($P < 0,05$; Tabela 3). Para as demais

variáveis, no entanto, não foram identificadas diferenças significativas ($P>0,05$). Observando o período total de 1 a 42 dias, os índices de ganho de peso, consumo de ração, conversão alimentar e viabilidade não diferiram significativamente, tanto na análise de interação entre os fatores, quanto na avaliação do efeito de seus fatores isolados.

Tabela 3. Desempenho produtivo de frangos de corte nas fases de 1 a 35 e 1 a 42 dias de idade em função da inclusão de aditivos alimentares e do enriquecimento ambiental.

Desempenho	ADITIVO	ENRIQUECIMENTO			EPM	ADITIVO	P ENRIQU	A*E
		ENR	ANE	TOTAL				
1 a 35 dias de idade								
Ganho de peso (g/ave)	ATB	2632,19	2679,76	2605,97	15,22	0,519	0,144	0,751
	CTL	2654,98	2641,23	2648,10				
	PBC	2656,69	2588,76	2622,73				
	TOTAL	2647,95	2603,25	2625,60				
Consumo de ração (g/ave)	ATB	3657,82	3597,19	3627,50	20,14	0,217	0,042	0,779
	CTL	3740,27	3677,71	3708,99				
	PBC	3709,79	3590,14	3649,96				
	TOTAL	3702,63a	3621,68b	3662,15				
Conversão alimentar (g/g)	ATB	1,38	1,36	1,37	0,01	0,350	0,197	0,927
	CTL	1,40	1,38	1,39				
	PBC	1,39	1,38	1,38				
	TOTAL	1,39	1,38	1,38				
Viabilidade (%)	ATB	97,500	97,09	97,29	0,47	0,684	1,000	0,835
	CTL	96,250	97,08	96,67				
	PBC	97,920	97,50	97,71				
	TOTAL	97,220	97,22	97,22				
1 a 42 dias de idade								
Ganho de peso (g/ave)	ATB	3493,11	3510,05	3501,58	23,90	0,937	0,720	0,794
	CTL	3484,85	3477,69	3481,27				
	PBC	3516,41	3453,35	3484,88				
	TOTAL	3498,13	3480,37	3489,24				
Consumo de ração (g/ave)	ATB	5180,98	5117,10	5149,04	26,36	0,129	0,144	0,977
	CTL	5305,64	5232,11	5288,88				
	PBC	5297,68	5207,14	5252,41				
	TOTAL	5261,43	5185,45	5230,11				
Conversão alimentar (g/g)	ATB	1,48	1,45	1,46	0,01	0,069	0,115	0,520
	CTL	1,51	1,47	1,49				
	PBC	1,50	1,50	1,50				
	TOTAL	1,50	1,48	1,49				
Viabilidade (%)	ATB	91,67	95,00	93,33	0,67	0,647	0,272	0,647
	CTL	94,17	94,99	94,58				
	PBC	94,58	95,00	94,79				
	TOTAL	93,47	94,99	94,24				

*Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna e por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($P < 0,05$). ATB (Antibiótico); CTL (Dieta controle, sem aditivos); PBC (Probióticos); ENR (ambiente enriquecido); ANE (Ambiente não enriquecido); EPM: Erro Padrão da Média. **As médias dos efeitos principais e das combinações fatoriais correspondem às médias ajustadas pelo modelo estatístico, podendo não representar médias aritméticas simples.

Rendimento de carcaça

Não foram observadas diferenças significativas que indicassem interação entre os tratamentos. De maneira semelhante, os efeitos isolados dos fatores não demonstraram, nas condições do presente estudo, influenciar significativamente as variáveis analisadas, indicando ausência de resposta consistente do uso de aditivos ou de enriquecimento ambiental sobre os componentes de rendimento avaliados.

Tabela 4. Rendimento de carcaça e cortes de frangos de corte aos 42 dias de idade em função da inclusão de aditivos alimentares e do enriquecimento ambiental.

Rendimento	ADITIVO	ENRIQUECIMENTO			EPM	ADITIVO	P ENRIQU	A*E
		ENR	ANE	TOTAL				
Peso vivo (g)	ATB	3587,60	3617,77	3602,68	15,56	0,842	0,810	0,679
	CTL	3638,35	3604,68	3621,52				
	PBC	3611,20	3592,35	3601,81				
	TOTAL	3612,40	3604,93	3608,67				
Peso carcaça quente (g)	ATB	2862,28	2856,02	2859,15	14,80	0,680	0,941	0,973
	CTL	2869,85	2880,93	2875,39				
	PBC	2842,39	2844,22	2843,31				
	TOTAL	2858,17	2860,39	2859,28				
Peso carcaça fria (g)	ATB	2845,56	2856,60	2851,08	16,02	0,670	0,655	0,849
	CTL	2849,49	2887,37	2868,43				
	PBC	2836,87	2830,54	2833,71				
	TOTAL	2843,97	2858,17	2851,07				
Rendimento de carcaça (%)	ATB	79,45	78,78	79,11	0,19	0,342	0,717	0,312
	CTL	78,70	79,41	79,05				
	PBC	78,31	78,68	78,50				
	TOTAL	78,82	78,96	78,89				
Rendimento peito com osso (%)	ATB	11,27	11,35	11,32	0,08	0,501	0,297	0,733
	CTL	11,37	11,44	11,41				
	PBC	11,02	11,35	11,88				
	TOTAL	11,22	11,38	11,53				
Rendimento pernas (%)	ATB	7,55	7,48	7,52	0,06	0,265	0,998	0,779
	CTL	7,58	7,53	7,56				
	PBC	7,68	7,80	7,74				
	TOTAL	7,60	7,61	7,60				
Rendimento asas (%)	ATB	2,48	2,42	2,45	0,02	0,406	0,992	0,443
	CTL	2,44	2,44	2,45				
	PBC	2,47	2,53	2,50				
	TOTAL	2,47	2,47	2,47				
Rendimento dorso (%)	ATB	4,50	4,54	4,52	0,04	0,570	0,528	0,723
	CTL	4,41	4,40	4,41				
	PBC	4,41	4,46	4,49				
	TOTAL	4,44	4,50	4,47				
Rendimento pés (%)	ATB	1,21	1,17	1,19	0,01	0,269	0,232	0,941
	CTL	1,93	1,16	1,18				
	PBC	1,23	1,21	1,22				
	TOTAL	1,21	1,18	1,20				
Rendimento peito sem osso (%)	ATB	9,29	9,44	9,37	0,07	0,137	0,366	0,987
	CTL	9,33	9,46	9,40				
	PBC	9,04	9,14	9,09				
	TOTAL	9,22	9,34	9,28				

*Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna e por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($P < 0,05$). ATB (Antibiótico); CTL (Dieta controle, sem aditivos); PBC (Probióticos); ENR (ambiente enriquecido); ANE (Ambiente não enriquecido); EPM:

Erro Padrão da Média. **As médias dos efeitos principais e das combinações fatoriais correspondem às médias ajustadas pelo modelo estatístico, podendo não representar médias aritméticas simples.

Qualidade de carne e miopatias

No que se refere à qualidade de carne, não foram evidenciadas interações entre enriquecimento ambiental e uso de aditivos para as variáveis de peso, comprimento, largura e espessura de filé (Tabela 5), bem como para pH, parâmetros de cor objetiva a^* e b^* , capacidade de retenção de água, perda por exsudação (*Drip Loss*), perda por resfriamento e força de cisalhamento (Tabela 6).

Tabela 5. Medidas físicas do filé de peito de frangos de corte aos 42 dias de idade em função da inclusão de aditivos alimentares e do enriquecimento ambiental.

Qualidade	ADITIVO	ENRIQUECIMENTO			EPM	P		
		ENR	ANE	TOTAL		ADITIVO	ENRIQU	A*E
Peso filé (g)	ATB	387,10	399,79	393,44	3,44	0,132	0,770	0,489
	CTL	397,91	398,09	398,00				
	PBC	384,40	378,46	381,93				
	TOTAL	390,14	392,11	391,12				
Comprimento filé (cm)	ATB	19,00	18,78	18,89	0,06	0,537	0,919	0,074
	CTL	19,12	18,91	19,02				
	PBC	18,86	19,25	19,05				
	TOTAL	18,99	18,98	18,99				
Largura filé (cm)	ATB	10,64	10,79	10,71	0,06	0,632	0,344	0,781
	CTL	10,76	10,76	10,76				
	PBC	10,53	10,72	10,63				
	TOTAL	10,64	10,75	10,70				
Espessura filé (mm)	ATB	38,68	39,43	39,05	0,33	0,249	0,547	0,810
	CTL	39,34	39,98	39,66				
	PBC	38,41	38,22	38,32				
	TOTAL	38,81	39,21	39,01				

*Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna e por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($P < 0,05$). ATB (Antibiótico); CTL (Dieta controle, sem aditivos); PBC (Probióticos); ENR (ambiente enriquecido); ANE (Ambiente não enriquecido); EPM: Erro Padrão da Média. **As médias dos efeitos principais e das combinações fatoriais correspondem às médias ajustadas pelo modelo estatístico, podendo não representar médias aritméticas simples.

Houve, no entanto, efeito de interação ($P < 0,05$) para a variável perda por cocção. Nesse contexto, dentro do ambiente enriquecido, foram observadas diferenças significativas em função da utilização de aditivos, sendo o tratamento controle aquele com menores perdas em comparação aos tratamentos com probiótico ou antibiótico. Por outro lado, quando analisado o tratamento com antimicrobiano, observou-se menor perda por cocção na ausência de enriquecimento ambiental,

conforme indicado na tabela 6. Adicionalmente, para a variável luminosidade (L^*), observou-se efeito do fator aditivo, com maiores médias sendo observadas nos tratamentos controle e probiótico, em comparação ao tratamento com antibiótico.

Tabela 6. Variáveis de qualidade da carne de frangos de corte aos 42 dias de idade em função da inclusão de aditivos alimentares e do enriquecimento ambiental.

Qualidade	ADITIVO	ENRIQUECIMENTO			EPM	ADITIVO	P ENRIQU	A*E
		ENR	ANE	TOTAL				
pH	ATB	6,05	6,08	6,07	0,01	0,268	0,619	0,427
	CTL	6,04	6,02	6,03				
	PBC	6,05	6,01	6,03				
	TOTAL	6,05	6,04	6,04				
L*	ATB	51,46	50,07	50,76B	0,20	0,008	0,505	0,062
	CTL	50,75	51,58	51,16A				
	PBC	52,28	52,08	52,18A				
	TOTAL	51,50	51,24	51,37				
a*	ATB	2,79	3,03	2,91	0,08	0,689	0,384	0,838
	CTL	2,88	3,04	2,96				
	PBC	2,79	2,80	2,80				
	TOTAL	2,82	2,96	2,89				
b*	ATB	5,07	4,78	4,93	0,10	0,152	0,316	0,116
	CTL	5,04	5,20	5,12				
	PBC	5,03	5,76	5,39				
	TOTAL	5,05	5,25	5,15				
Capacidade retenção de água (%)	ATB	69,83	68,03	68,93	0,31	0,153	0,061	0,589
	CTL	68,33	67,03	67,68				
	PBC	67,82	67,50	67,66				
	TOTAL	68,66	67,52	68,09				
Drip Loss (%)	ATB	3,06	3,23	3,15	0,31	0,063	0,148	0,601
	CTL	3,37	3,93	3,65				
	PBC	3,14	3,25	3,19				
	TOTAL	3,19	3,47	3,33				
Perdas por resfriamento (%)	ATB	0,12	0,44	0,28	0,09	0,108	0,778	0,256
	CTL	0,05	0,03	0,04				
	PBC	0,51	0,25	0,38				
	TOTAL	0,23	0,24	0,23				
Perda por cocção (%)	ATB	24,29Aa	23,86Ab	24,08	0,30	0,466	0,117	0,003
	CTL	23,06Ba	26,83Aa	24,95				
	PBC	24,65Aa	24,06Aab	24,36				
	TOTAL	24,01	24,92	24,46				
Força de Cisalhamento (kgf/cm ²)	ATB	1,81	1,71	1,76	0,03	0,141	0,725	0,143
	CTL	1,63	1,80	1,72				
	PBC	1,67	1,53	1,60				
	TOTAL	1,70	1,68	1,69				

*Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna e por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($P < 0,05$). ATB (Antibiótico); CTL (Dieta controle, sem aditivos); PBC (Probióticos); ENR (ambiente enriquecido); ANE (Ambiente não enriquecido); EPM: Erro Padrão da Média. **As médias dos efeitos principais e das combinações fatoriais correspondem às médias ajustadas pelo modelo estatístico, podendo não representar médias aritméticas simples.

Não foram observadas interações significativas entre os fatores para a ocorrência de miopatias peitorais, tanto para *White Striping* quanto para *Wooden Breast* (Tabela 7). Ainda assim, verificou-se efeito isolado do enriquecimento ambiental sobre a severidade de *White Striping* ($P < 0,05$), indicando menor manifestação dessa miopatia nas aves mantidas em ambiente enriquecido.

Tabela 7. Qualidade da carne e severidade de miopatias peitorais em frangos de corte aos 42 dias de idade em função da inclusão de aditivos alimentares e do enriquecimento ambiental.

Miopatias	ADITIVO	ENRIQUECIMENTO			EPM	P		
		ENR	ANE	TOTAL		ADITIVO	ENRIQU	A*E
<i>White Striping</i>	ATB	1,23	1,54	1,38	-	0,104	0,031	0,928
	CTL	1,52	1,73	1,62				
	PBC	1,22	1,46	1,34				
	TOTAL	1,32b	1,57a	1,45				
<i>Wooden Breast</i>	ATB	1,41	1,54	1,48	-	0,823	0,624	0,881
	CTL	1,39	1,45	1,42				
	PBC	1,39	1,38	1,38				
	TOTAL	1,40	1,46	1,43				

*Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna e por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($P < 0,05$). ATB (Antibiótico); CTL (Dieta controle, sem aditivos); PBC (Probióticos); ENR (ambiente enriquecido); ANE (Ambiente não enriquecido); EPM: Erro Padrão da Média. **As médias dos efeitos principais e das combinações fatoriais correspondem às médias ajustadas pelo modelo estatístico, podendo não representar médias aritméticas simples.

DISCUSSÃO

A utilização de aditivos associada ao enriquecimento ambiental não demonstrou efeito sinérgico consistente sobre as variáveis avaliadas, com exceção da perda por cocção. No entanto, os efeitos dos tratamentos, quando analisados isoladamente, puderam ser compreendidos como respostas pontuais e dependentes da fase de desenvolvimento das aves, sugerindo que a maturação fisiológica ao longo do ciclo produtivo influenciou a expressividade dos resultados observados. O presente estudo se alicerçou na hipótese de que os probióticos, em razão de seu potencial modulador sobre a microbiota intestinal e a homeostase fisiológica, e o enriquecimento ambiental, por sua atuação sobre o bem-estar e a redução de estímulos estressores, poderiam atuar de forma sinérgica sobre o desempenho produtivo, a qualidade da carne e a ocorrência de miopatias em frangos de corte.

Em relação ao desempenho produtivo, os resultados do presente estudo demonstraram ausência de interação entre o uso de probióticos e o enriquecimento

ambiental nas fases avaliadas. Dessa forma, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos que indicassem influência dos fatores combinados sobre o consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar e viabilidade. Apesar disso, quando avaliados isoladamente, os fatores evidenciaram diferentes níveis de influência ao longo do ciclo produtivo, sugerindo que as respostas estiveram associadas às particularidades fisiológicas de cada fase de desenvolvimento do animal.

A ausência de diferenças entre os tratamentos no período de 1 a 7 dias, sobre as variáveis de consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) ou viabilidade (Tabela 2) são compatíveis com os descritos na literatura, que, ao se avaliar o uso de *Bacillus coagulans* e *Lactobacillus* sobre o desempenho de frangos de corte, não observaram diferenças significativas sobre CR e GP nas primeiras semanas de vida (Al-Khalaifa et al., 2019); o que pode estar associado ao estágio de vida inicial de maturação intestinal e fisiológica das aves (Rubio, 2019).

Em relação ao período de 1 a 21 dias, observaram-se efeitos significativos ($P < 0,05$) sobre o GP e o CR em função do fator aditivo. Nessa fase, o tratamento controle apresentou maior CR e GP em comparação ao uso de antibióticos e probióticos, sem, contudo, refletir vantagem consistente na conversão alimentar (Tabela 2), o que indica ausência de melhora no aproveitamento do alimento. Sarra, et al. (1992) descrevem que, em condições normais, a microbiota intestinal das aves se desenvolve de forma progressiva ao longo das primeiras semanas de vida, com o estabelecimento mais tardio de uma microbiota cecal adulta, por volta da quarta semana pós-eclosão. Nesse contexto, a maturação intestinal e a consolidação do perfil microbiano estão fortemente associadas ao amadurecimento fisiológico do hospedeiro (Sarra, et al., 1992; Rubio, 2019). Assim, em função das limitações inerentes ao desenvolvimento morfofisiológico nas fases iniciais, a resposta a agentes externos, como aditivos nutricionais, pode se manifestar de maneira menos evidente, o que é consonante com os resultados observados no presente estudo.

A partir do período de 1 a 35 dias, os resultados indicaram que a presença do enriquecimento promoveu estímulo adicional ao CR ($P < 0,05$, Tabela 3). No entanto, esse efeito não se refletiu em diferenças significativas no GP ou CA. Esses achados podem ser explicados pelo aumento do nível de atividade dos animais. De Jong et al. (2021) relataram que a presença de enriquecimento ambiental pode intensificar a interação dos indivíduos com o ambiente, elevando a exploração e deslocamento no galpão. Nesse contexto, parte do incremento no consumo pode ter sido direcionada à

manutenção e ao maior gasto energético associado à atividade, o que ajudaria a explicar a ausência de reflexo mais evidente sobre o ganho de peso. Por outro lado, a maior atividade das aves pode ter intensificado a movimentação ao redor dos comedouros, favorecendo perdas físicas de ração e, conseqüentemente, um aumento aparente do consumo registrado. Nesse sentido, é possível que parte do incremento no CR não seja efetivamente maior ingestão, mas sim desperdício não mensurado, o que ajudaria a explicar a ausência de efeito proporcional sobre o GP.

Em contrapartida, os efeitos observados sobre o consumo diferem dos resultados reportados por Elsayed et al. (2024) que, ao testarem diferentes enriquecimentos, não observaram alterações nesta variável. A despeito disso, Meyer et al. (2019) ao avaliarem o uso de lasers como forma de enriquecimento ambiental, observaram aumento no CR, GP e melhora na CA. Essas divergências podem estar associadas às variações na complexidade dos estímulos e, conseqüentemente, às diferentes demandas energéticas exercidas pelos animais. No presente estudo, a utilização de enriquecimentos fixos associados a elementos rotativos pode ter promovido maior engajamento das aves, resultando em diferentes padrões de consumo sem reflexos estatisticamente evidentes sobre o ganho de peso e a eficiência alimentar.

Quando analisado o período total de 1 a 42 dias, não foi possível observar diferenças ($P>0,05$) em relação ao uso de aditivos ou ainda em razão do enriquecimento ambiental. Dibner e Richards (2005) destacam que, no início da vida, as condições intestinais ainda não são plenamente favoráveis ao desenvolvimento de todos os grupos bacterianos. Com o desenvolvimento de segmentos como o ceco, cria-se um ambiente mais propício ao estabelecimento de gêneros como *Bacteroides* e *Bifidobacterium*, contribuindo para maior estabilidade do perfil microbiano. Nesse contexto, a maior maturidade do ambiente intestinal pode favorecer a expressão dos efeitos dos aditivos, tornando suas respostas potencialmente mais evidentes sobre os índices zootécnicos (Dibner e Richards, 2005; Rubio, 2019).

No entanto, resposta semelhante pode não ter ocorrido no presente estudo, uma vez que o ambiente experimental provavelmente não impôs desafio sanitário suficiente para permitir expressão mais evidente dos efeitos dos aditivos alimentares. Além disso, embora a densidade estimada nos boxes enriquecidos tenha sido de 12 aves/m², equivalente a aproximadamente 41,4 kg/m² no final do ciclo quando considerada a redução potencial da área útil pela presença dos itens de enriquecimento, é possível que essa estimativa tenha superestimado a restrição

espacial efetivamente imposta às aves. Isso porque parte dos enriquecimentos era móvel e poderia ser deslocada pelos próprios animais, enquanto as rampas e plataformas permitiam uso funcional adicional do espaço, seja pelo acesso à superfície elevada, seja pela passagem sob essas estruturas. Dessa forma, a área efetivamente disponível nos boxes enriquecidos pode ter sido superior à área útil inicialmente considerada, aproximando a densidade funcional daquela observada nos tratamentos sem enriquecimento, estimada em cerca de 10 aves/m² ou 34,8 kg/m². Esse cenário pode ter reduzido a magnitude do contraste ambiental entre os tratamentos, limitando a expressão de possíveis efeitos da maior complexidade ambiental sobre o desempenho produtivo.

Em sistemas comerciais, densidades entre 30 e 42 kg/m² são frequentemente descritas (Cobb-Vantress, 2021; Aviagen, 2025), podendo representar diferentes níveis de pressão ambiental e sanitária, a depender das condições de manejo, ambiência e ventilação. Assim, embora a densidade funcional estimada no presente estudo ainda esteja dentro de uma faixa comercialmente relevante, ela pode não ter configurado um desafio ambiental suficientemente intenso para evidenciar, de forma mais pronunciada, os efeitos dos tratamentos avaliados.

Uma vez que tanto o probiótico quanto o enriquecimento atuarão como moduladores diretos ou indiretos da homeostase fisiológica, seus efeitos serão menos evidentes sob condições próximas ao equilíbrio fisiológico. Yosi e Metzler-Zebeli (2023) mencionam que o efeito dos probióticos sobre as junções de oclusão, bem como sua ação anti-inflamatória, tendem a ser mais evidentes em aves submetidas a condições de desafio. Tal interpretação reforça a hipótese de que, em condições experimentais com menor pressão sanitária, a magnitude de resposta ao aditivo pode se tornar menos expressiva.

Os resultados de peso vivo ao abate, peso de carcaça quente e fria e os rendimentos da carcaça aos 42 dias de idade são apresentados na tabela 4. Não foram observados efeitos significativos do tipo de aditivo, do enriquecimento ambiental ou da interação entre ambos sobre os parâmetros avaliados ($P > 0,05$). A ausência de diferenças estatísticas sugere que, sob as condições do presente estudo, os tratamentos não foram capazes de alterar de maneira consistente a deposição relativa de tecidos e a distribuição de nutrientes entre as principais porções corporais das aves.

Em frangos de corte de linhagens contemporâneas, o rendimento de carcaça está intimamente relacionado ao potencial genético, ao nível nutricional da dieta e à

idade ao abate. Dessa forma, intervenções que atuam predominantemente sobre a saúde intestinal e a modulação da microbiota tendem a exercer efeitos mais evidentes sobre parâmetros como eficiência alimentar e resposta imune do que sobre características como o rendimento de carcaça, especialmente em condições adequadas de manejo e sanidade (Patterson e Burkholder, 2003; Kabir, 2009)

Ainda assim, há relatos na literatura de incrementos em características de carcaça decorrentes da suplementação com probióticos, incluindo aumento no rendimento de peito e de cortes nobres. Contudo, tais respostas têm sido observadas com maior frequência em condições de maior desafio, nas quais os efeitos moduladores dos probióticos tendem a se tornar mais evidentes (Mountzouris et al., 2007; Kabir, 2009; Krysiak et al., 2021).

Em relação ao enriquecimento ambiental empregado, embora sua utilização seja reconhecidamente relevante sob a perspectiva do bem-estar animal e da expressão de comportamentos naturais, os resultados indicam que essa estratégia não modificou de forma significativa o balanço energético das aves a ponto de impactar o rendimento de carcaça e de cortes. Estudos que avaliaram diferentes formas de enriquecimento ambiental relatam, de forma mais consistente, efeitos positivos sobre o comportamento, saúde óssea e indicadores de bem-estar, do que sobre características quantitativas de carcaça (Riber et al., 2018; Riber e Wurtz, 2024), o que é compatível com a ausência de diferenças do presente estudo.

De modo geral, os resultados de rendimento de carcaça e cortes sugerem que a adoção de probióticos e de enriquecimento ambiental, nas condições avaliadas, não comprometeu o aproveitamento da carcaça, aspecto relevante do ponto de vista produtivo, especialmente quando considerado em conjunto com outras variáveis, como o desempenho zootécnico.

Após a avaliação do rendimento de carcaça, a análise dos atributos da carne indicou que os tratamentos exerceram influência limitada sobre a qualidade do músculo *Pectoralis major*. De modo geral, as respostas observadas foram pontuais e não caracterizaram um padrão amplo de alteração físico-química, morfométrica ou estrutural do filé. Nesse contexto, os principais achados concentraram-se na luminosidade da carne (L^*), na perda por cocção e na severidade de *White Striping*, sugerindo que os efeitos dos tratamentos, quando presentes, estiveram mais associados a alterações específicas da aparência e da estabilidade funcional do tecido muscular do que a modificações generalizadas da qualidade da carne.

O pH da carne é um dos principais indicadores do metabolismo muscular *post-mortem*, estando diretamente relacionado à degradação do glicogênio e à produção de ácido lático após o abate. No presente estudo, a ausência de diferenças significativas para essa variável sugere que as estratégias nutricionais e ambientais adotadas não alteraram de forma relevante o estado fisiológico das aves no período pré-abate, nem o padrão de metabolismo energético do músculo peitoral.

Em relação à cor objetiva da carne, observou-se efeito significativo dos tratamentos apenas sobre a luminosidade (L^*), com maiores valores no tratamento controle e probiótico (Tabela 6). A luminosidade é uma variável sensível à microestrutura do tecido muscular e à capacidade de retenção de água, refletindo a forma como a luz é dispersa na superfície do músculo. Alterações em L^* podem ocorrer mesmo na ausência de mudanças no pH final, sendo frequentemente associadas a modificações sutis na organização das miofibrilas e no espaço intercelular (Barbut, 2009). Assim, a diferença observada no presente estudo sugere influência pontual dos tratamentos sobre a aparência visual da carne, sem reflexos consistentes sobre os demais parâmetros de qualidade.

As perdas por resfriamento, exsudação, capacidade de retenção de água e força de cisalhamento não apresentaram efeito dos tratamentos, seja de forma isolada ou combinada. Essas variáveis estão fortemente relacionadas à integridade estrutural das proteínas miofibrilares e à dinâmica do declínio de pH *post-mortem* (Petracci et al., 2017) e, portanto, são compatíveis com a não influência dos fatores sobre o pH da carne. No entanto, as perdas por cocção apresentaram efeito significativo de interação entre os tratamentos. No desdobramento dessa interação, observou-se que, no ambiente enriquecido, o tratamento controle apresentou menor percentual de perdas por cocção (Tabela 6) em comparação aos tratamentos com antibiótico e probiótico. Já no ambiente não enriquecido, não foram detectadas diferenças entre os tratamentos. Ainda, ao se comparar os ambientes dentro de cada aditivo, verificou-se diferença apenas para o grupo com antibiótico, no qual o ambiente enriquecido resultou em maior perda por cocção. Esse padrão sugere que a resposta dessa variável pode ter dependido da combinação entre condição ambiental e a presença do aditivo, possivelmente em função de diferenças sutis na estabilidade fisiológica e na organização funcional do tecido muscular propiciada pela ausência ou presença dos aditivos, mas também fruto do aumento da atividade muscular fruto da interação do animal para com o ambiente enriquecido.

As características morfológicas do filé, como peso, comprimento, largura e espessura, também não diferiram entre os tratamentos ($P>0,05$; Tabela 5), indicando que a deposição muscular no peito ocorreu de forma semelhante entre os grupos experimentais. Esses achados são coerentes com a ausência de efeito sobre o rendimento de peito, bem como com os resultados observados para desempenho, sugerindo que as estratégias avaliadas não alteraram a trajetória de crescimento do músculo *Pectoralis major* em termos de volume ou conformação.

A ocorrência de miopatias está associada a alterações metabólicas relacionadas ao rápido crescimento muscular, à deposição lipídica intramuscular e a desequilíbrios no metabolismo energético do músculo (Kuttappan et al., 2012; Petracci e Cavani, 2012; Riber e Wurtz, 2024). No entanto, a ocorrência de hipóxia, estresse oxidativo, aumento de cálcio intracelular e possível mudança no tipo de fibra muscular também tem sido descritas como possíveis causas, especialmente em *Wooden Breast* (Mutryn et al., 2015; Boerboom et al., 2018).

No contexto do presente estudo, não foram observados efeitos de interação entre os tratamentos sobre a ocorrência de miopatias. No entanto, verificou-se efeito significativo do fator complexidade ambiental sobre o escore de White Striping (WS), com menor manifestação dessa miopatia em aves mantidas em ambiente enriquecido, enquanto alterações musculares mais severas, como *Wooden Breast* (WB), não demonstraram ser influenciadas (Tabela 7). O White Striping é caracterizado pela presença de estriações brancas paralelas às fibras musculares, estando associado principalmente ao acúmulo de tecido adiposo e conjuntivo no músculo peitoral, sendo considerado uma miopatia de menor gravidade quando comparado a alterações degenerativas mais intensas (Kuttappan et al., 2012; Petracci e Cavani, 2012).

A presença de enriquecimento ambiental tem papel importante na manutenção do bem-estar animal. Em meio a isto, a promoção de um ambiente propício ao desenvolvimento cognitivo e à expressão comportamental pode contribuir para a diminuição do estresse crônico decorrente da permanência do animal no ambiente produtivo. A partir de então, com a possível redução da ativação de eixos como o HPA, pode-se incorrer em menor prevalência de distúrbios metabólicos e inflamatórios, com consequente atenuação do estresse oxidativo e possíveis reflexos sobre a composição do tecido muscular. Adicionalmente, a maior atividade física propiciada pelo aumento da complexidade ambiental pode contribuir para melhor suprimento local de oxigênio e nutrientes ao tecido muscular. Nesse contexto, a diferença observada na severidade de WS sugere que o enriquecimento ambiental

pode ter influenciado positivamente, ainda que de forma indireta, aspectos do metabolismo muscular e da composição tecidual do músculo Pectoralis major, diminuindo a manifestação dessa miopatia.

Em conjunto, os resultados indicam que a associação entre probióticos e enriquecimento ambiental produziu respostas limitadas e dependentes do contexto experimental, sem caracterizar efeito sinérgico amplo sobre desempenho, rendimento de carcaça ou qualidade da carne. Ainda assim, a ausência de prejuízos produtivos e a redução pontual do escore de *White Striping* sugerem que essas estratégias permanecem relevantes, especialmente quando avaliadas em condições de maior desafio sanitário, ambiental ou de manejo.

CONCLUSÃO

Nas condições experimentais avaliadas, a associação entre aditivos dietéticos e enriquecimento ambiental não resultou em efeito sinérgico consistente sobre o desempenho produtivo, rendimento de carcaça e qualidade da carne de frangos de corte. Os efeitos dos tratamentos foram pontuais e dependentes da fase de criação, com maior consumo de ração e ganho de peso no tratamento controle, sem aditivo, de 1 a 21 dias, maior consumo em ambiente enriquecido até 35 dias e menor severidade de *White Striping* nas aves mantidas com enriquecimento ambiental. A interação observada para perda por cocção sugere que respostas específicas de qualidade da carne podem depender da combinação entre aditivo e ambiente. Portanto, o uso de probiótico e enriquecimento ambiental não comprometeu os parâmetros avaliados, mas não sustentou benefício sinérgico amplo nas condições deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd El-Hack, M. E., M. T. El-Saadony, M. E. Shafi, S. Y. A. Qattan, G. E. Batiha, A. F. Khafaga, A. M. E. Abdel-Moneim and M. Alagawany. 2020. Probiotics in poultry feed: a comprehensive review. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 104:1835–1850.
- Ahmed-Farid, O. A., A. S. Salah, M. A. Nassan and M. S. El-Tarabany. 2021. Effects of chronic thermal stress on performance, energy metabolism, antioxidant activity, brain serotonin, and blood biochemical indices of broiler chickens. *Animals* 11:2554.

- Al-Khalaifa, H., A. Al-Nasser, T. Al-Surayee, S. Al-Kandari, N. Al-Enzi, T. Al-Sharrah, G. Ragheb, S. Al-Qalaf and A. Mohammed. 2019. Effect of dietary probiotics and prebiotics on the performance of broiler chickens. *Poult. Sci.* 98:4465–4479.
- Anderson, M. G., A. M. Campbell, A. Crump, G. Arnott, R. C. Newberry and L. Jacobs. 2021. Effect of environmental complexity and stocking density on fear and anxiety in broiler chickens. *Animals* 11:2383.
- Aviagen. 2025. Ross Broiler Management Handbook. Aviagen.
- Bai, K., Q. Huang, J. Zhang, J. He, L. Zhang and T. Wang. 2017. Supplemental effects of probiotic *Bacillus subtilis* fmbJ on growth performance, antioxidant capacity, and meat quality of broiler chickens. *Poult. Sci.* 96:74–82.
- Barbut, S. 2009. Pale, soft, and exudative poultry meat—reviewing ways to manage at the processing plant. *Poult. Sci.* 88:1506–1512.
- Beldowska, A., M. Barszcz and A. Dunislawska. 2023. State of the art in research on the gut-liver and gut-brain axis in poultry. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 14:37.
- Boerboom, G., T. Van Kempen, A. Navarro-Villa and A. Pérez-Bonilla. 2018. Unraveling the cause of *White Striping* in broilers using metabolomics. *Poult. Sci.* 97:3977–3986.
- Cao, C., V. S. Chowdhury, M. A. Cline and E. R. Gilbert. 2021. The microbiota-gut-brain axis during heat stress in chickens: a review. *Front. Physiol.* 12:752265.
- Cobb-Vantress. 2021. Cobb Broiler Management Guide. Cobb-Vantress.
- de Jong, I. C., X. E. Blaauw, J. A. J. van der Eijk, C. Souza da Silva, M. M. van Krimpen, R. Molenaar and H. van den Brand. 2021. Providing environmental enrichments affects activity and performance, but not leg health in fast- and slower-growing broiler chickens. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 241:105375.
- Dibner, J. J. and J. D. Richards. 2005. Antibiotic growth promoters in agriculture: history and mode of action. *Poult. Sci.* 84:634–643.
- Elsayed, R. A., A. S. Mohammed, A. F. Abou-Elnaga, U. A. Abou-Ismael, R. A. Darwish and M. M. Fouda. 2024. Effects of different types of environmental enrichment on behavior, performance, welfare, carcass characteristics and lipid profile of broiler chickens. *Mansoura Vet. Med. J.* 25.
- Enshaie, E., S. Nigam, S. Patel and V. Rai. 2025. Livestock antibiotics use and antimicrobial resistance. *Antibiotics* 14:621.
- Estévez, M. 2015. Oxidative damage to poultry: from farm to fork. *Poult. Sci.* 94:1368–1378.

- Halder, N., J. Sunder, A. K. De, D. Bhattacharya and S. N. Joardar. 2024. Probiotics in poultry: a comprehensive review. *J. Basic Appl. Zool.* 85:23.
- Hill, C., F. Guarner, G. Reid, G. R. Gibson, D. J. Merenstein, B. Pot, L. Morelli, R. B. Canani, H. J. Flint, S. Salminen, P. C. Calder and M. E. Sanders. 2014. Expert consensus document: the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 11:506–514.
- Honikel, K. O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49:447–457.
- Huezo, R., J. K. Northcutt, D. P. Smith and D. L. Fletcher. 2007. Effect of chilling method and deboning time on broiler breast fillet quality. *J. Appl. Poult. Res.* 16:537–545.
- Jacobs, L., R. A. Blatchford, I. C. de Jong, M. A. Erasmus, M. Levengood, R. C. Newberry, P. Regmi, A. B. Riber and S. L. Weimer. 2023. Enhancing their quality of life: environmental enrichment for poultry. *Poult. Sci.* 102:102233.
- Kabir, S. M. L. 2009. The role of probiotics in the poultry industry. *Int. J. Mol. Sci.* 10:3531–3546.
- Kang, S. W., K. D. Christensen, M. T. Kidd Jr. and S. K. Orlowski. 2024. Effects of environmental enrichments on welfare and hepatic metabolic regulation of broiler chickens. *Animals* 14:557.
- Koopman, N., D. Katsavelis, A. S. Ten Hove, S. Brul, W. J. de Jonge and J. Seppen. 2021. The multifaceted role of serotonin in intestinal homeostasis. *Int. J. Mol. Sci.* 22:9487.
- Krysiak, K., D. Konkol and M. Korczyński. 2021. Overview of the use of probiotics in poultry production. *Animals* 11:1620.
- Kurutas, E. B. 2016. The importance of antioxidants which play the role in cellular response against oxidative/nitrosative stress: current state. *Nutr. J.* 15:71.
- Kuttappan, V. A., V. B. Brewer, J. K. Apple, P. W. Waldroup and C. M. Owens. 2012. Influence of growth rate on the occurrence of *White Striping* in broiler breast fillets. *Poult. Sci.* 91:2677–2685.
- Kuttappan, V. A., B. M. Hargis and C. M. Owens. 2016. *White Striping* and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review. *Poult. Sci.* 95:2724–2733.

- Meyer, M. M., A. K. Johnson and E. A. Bobeck. 2019. A novel environmental enrichment device improved broiler performance without sacrificing bird physiological or environmental quality measures. *Poult. Sci.* 98:5247–5256.
- Mishra, B. and R. Jha. 2019. Oxidative stress in the poultry gut: potential challenges and interventions. *Front. Vet. Sci.* 6:60.
- Mokonyama, R. M., U. Marume and G. Moonsamy. 2025. Complementary effects of probiotics and stimbiotics inclusion on growth performance, protein utility, serum metabolites and behavioural observations in broiler chickens exposed to cyclic heat stress. *Poult. Sci.* 104:105606.
- Mountzouris, K. C., P. Tsirtsikos, E. Kalamara, S. Nitsch, G. Schatzmayr and K. Fegeros. 2007. Evaluation of the efficacy of a probiotic containing *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, and *Pediococcus* strains in promoting broiler performance and modulating cecal microflora composition and metabolic activities. *Poult. Sci.* 86:309–317.
- Mudalal, S., M. Lorenzi, F. Soglia, C. Cavani and M. Petracci. 2015. Implications of *White Striping* and *Wooden Breast* abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. *Animal* 9:728–734.
- Mutryn, M. F., E. M. Brannick, W. Fu, W. R. Lee and B. Abasht. 2015. Characterization of a novel chicken muscle disorder through differential gene expression and pathway analysis using RNA-sequencing. *BMC Genomics* 16:399.
- Nawaz, A. H. and L. Zhang. 2021. Oxidative stress in broiler chicken and its consequences on meat quality. *Int. J. Life Sci. Res. Arch.* 1:045–054.
- Nelder, J. A. and R. W. M. Wedderburn. 1972. Generalized linear models. *J. R. Stat. Soc. Ser. A* 135:370–384.
- Newberry, R. C. 1995. Environmental enrichment: increasing the biological relevance of captive environments. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 44:229–243.
- Ogbuewu, I. P., M. Mabelebele, N. A. Sebola and C. Mbajiorgu. 2022. *Bacillus* probiotics as alternatives to in-feed antibiotics and its influence on growth, serum chemistry, antioxidant status, intestinal histomorphology, and lesion scores in disease-challenged broiler chickens. *Front. Vet. Sci.* 9:876725.
- Patterson, J. A. and K. M. Burkholder. 2003. Application of prebiotics and probiotics in poultry production. *Poult. Sci.* 82:627–631.
- Pedersen, I. J., F. M. Tahamtani, B. Forkman, J. F. Young, H. D. Poulsen and A. B. Riber. 2020. Effects of environmental enrichment on health and bone characteristics of fast growing broiler chickens. *Poult. Sci.* 99:1946–1955.

- Petracci, M. and C. Cavani. 2012. Muscle growth and poultry meat quality issues. *Nutrients* 4:1–12.
- Petracci, M., F. Soglia and C. Berri. 2017. Muscle metabolism and meat quality abnormalities. Pages 51–75 in *Poultry Quality Evaluation*. M. Petracci and C. Berri, eds. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Riber, A. B., H. A. van de Weerd, I. C. de Jong and S. Steenfeldt. 2018. Review of environmental enrichment for broiler chickens. *Poult. Sci.* 97:378–396.
- Riber, A. B. and K. E. Wurtz. 2024. Impact of growth rate on the welfare of broilers. *Animals* 14:3330.
- Rostagno, H. S., L. F. T. Albino, M. I. Hannas, L. D. Juarez, N. K. Sakomura, F. G. Perazzo, A. Saraiva, M. L. Teixeira, P. B. Rodrigues, R. F. de Oliveira, S. L. T. Barreto and C. O. Brito. 2017. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. 4th ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil.
- Rubio, L. A. 2019. Possibilities of early life programming in broiler chickens via intestinal microbiota modulation. *Poult. Sci.* 98:695–706.
- SAS Institute Inc. 2014. *SAS/STAT 13.2 User's Guide*. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sakomura, N. K., and H. S. Rostagno. 2007. *Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos*. FUNEP, Jaboticabal, SP, Brazil.
- Sarra, P. G., L. Morelli and V. Bottazzi. 1992. The lactic microflora of fowl. Pages 3–19 in *The Lactic Acid Bacteria Volume 1*. B. J. B. Wood, ed. Springer, Boston, MA.
- Steimer, T. 2002. The biology of fear- and anxiety-related behaviors. *Dialogues Clin. Neurosci.* 4:231–249.
- Tijare, V. V., F. L. Yang, V. A. Kuttappan, C. Z. Alvarado, C. N. Coon and C. M. Owens. 2016. Meat quality of broiler breast fillets with *White Striping* and woody breast muscle myopathies. *Poult. Sci.* 95:2167–2173.
- Van Laack, R. L. J. M., C. H. Liu, M. O. Smith and H. D. Loveday. 2000. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poult. Sci.* 79:1057–1061.
- Yosi, F., and B. U. Metzler-Zebeli. 2023. Dietary probiotics modulate gut barrier and immune-related gene expression and histomorphology in broiler chickens under non- and pathogen-challenged conditions: A meta-analysis. *Animals* 13:1970.
- Zahoor, M. S., S. Ahmad, M. Usman, M. Dawood, K. El-Sabrou, S. G. M. D. Hashmi, E. U. Khan, M. Hussain, M. A. Maqsood and H. R. A. Latif. 2022. Effects of mirror and coloured balls as environmental enrichment tools on performance, welfare and meat quality traits of commercial broiler. *Trop. Anim. Health Prod.* 54.

Zhang, L., R. Zhang, H. Jia, Z. Zhu, H. Li and Y. Ma. 2021. Supplementation of probiotics in water beneficial growth performance, carcass traits, immune function, and antioxidant capacity in broiler chickens. *Open Life Sci.* 16:311–322.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As transformações recentes na produção animal reforçam a necessidade de sistemas capazes de conciliar eficiência produtiva, saúde animal, bem-estar e responsabilidade sanitária. Nesse contexto, probióticos e enriquecimento ambiental representam estratégias promissoras, por atuarem em dimensões distintas e potencialmente complementares do organismo e do ambiente de criação.

A revisão apresentada nesta dissertação evidenciou plausibilidade biológica para a interação entre essas estratégias, uma vez que os probióticos podem modular a microbiota intestinal, a integridade da mucosa e a resposta imune, enquanto o enriquecimento ambiental pode favorecer a expressão comportamental e reduzir estímulos estressores. Entretanto, nas condições experimentais avaliadas, essa complementaridade teórica não se traduziu em efeito sinérgico consistente sobre desempenho produtivo, rendimento de carcaça e a maior parte dos atributos de qualidade da carne.

Esses achados indicam que a efetividade de estratégias voltadas à modulação fisiológica pode depender da intensidade dos desafios sanitários, ambientais e de manejo aos quais as aves estão submetidas. É possível que o bom controle experimental, associado à ausência de desafio sanitário, tenha limitado a manifestação dos efeitos esperados. Além disso, características do manejo, como o uso simultâneo de diferentes enriquecimentos, a possibilidade de deslocamento dos itens móveis e o uso funcional das rampas e plataformas, podem ter reduzido o contraste real entre os ambientes. Ademais, algumas limitações também podem ser consideradas. O presente estudo avaliou principalmente respostas produtivas, rendimento de carcaça e qualidade da carne, mas não contemplou indicadores comportamentais, microbiológicos, imunológicos, oxidativos ou hormonais. Assim, embora os resultados permitam avaliar os efeitos aplicados dos tratamentos, eles não permitem caracterizar integralmente os mecanismos fisiológicos envolvidos. Portanto, os resultados sugerem que o uso de probióticos e enriquecimento ambiental, isolados ou associados, não comprometeu os parâmetros avaliados, embora não tenha atestado benefício amplo de sua utilização nas condições deste estudo. Ainda assim,

respostas pontuais, como a menor severidade de *White Striping* em aves mantidas em ambiente enriquecido, indicam que essa linha de investigação permanece relevante.

Assim, estudos futuros devem integrar variáveis produtivas, comportamentais e fisiológicas, permitindo compreender não apenas se essas estratégias funcionam, mas em quais condições e por quais mecanismos. Nesse sentido, a avaliação dessas ferramentas sob condições de maior pressão ambiental, como densidades de alojamento mais elevadas ou sob modelos controlados de desafio sanitário, poderia contribuir para esclarecer se os efeitos dos probióticos e do enriquecimento ambiental se tornam mais expressivos quando as aves são expostas a contextos mais desafiadores.