UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

IMPACTOS DA UTILIZAÇÃO DE PROBIÓTICOS E ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL SOBRE COGNIÇÃO E BEM-ESTAR DE FRANGOS DE CORTE

Letícia Cuer Garcia
Zootecnista

Dourados - MS
2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

IMPACTOS DA UTILIZAÇÃO DE PROBIÓTICOS E ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL SOBRE COGNIÇÃO E BEM-ESTAR DE FRANGOS DE CORTE

Letícia Cuer Garcia

Orientadora: Profª Drª Claudia Marie Komiyama

Co-orientadores: Prof. Dr. Rodrigo Garófallo Garcia

Prof. Dr. Marconi Italo Lourenço da Silva

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

Faculdade de Ciências Agrárias

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

G216i Garcia, Leticia Cuer

IMPACTOS DA UTILIZAÇÃO DE PROBIÓTICOS E ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL SOBRE COGNIÇÃO E BEM-ESTAR DE FRANGOS DE CORTE [recurso eletrônico] / Leticia Cuer Garcia. -- 2026.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Cláudia Marie Komiyama.

Coorientadores: Rodrigo Garófallo Garcia, Marconi Italo Lourenço da Silva.

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. Capacidade de aprendizado. 3. Complexidade ambiental. 4. Aditivos nutricionais. 5. Frangos de corte. I. Komiyama, Cláudia Marie. II. Garcia, Rodrigo Garófallo. III. Silva, Marconi Italo Lourenço Da. IV. Título.

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

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

Faculdade de Ciências Agrárias

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

IMPACTOS DA UTILIZAÇÃO DE PROBIÓTICOS E ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL SOBRE COGNIÇÃO E BEM-ESTAR DE FRANGOS DE CORTE

por

LETÍCIA CUER GARCIA

O presente trabalho em nível de MESTRADO foi avaliado e aprovado em 07 de agosto de 2026, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

gov.br Documento assinado digitalmente
IBIARA CORREIA DE LIMA ALMEIDA PAZ
Data: 07/10/2026 14:08:00-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Profa. Dra. Ibiara Correia de Lima Almeida Paz

Universidade Estadual Paulista

gov.br Documento assinado digitalmente
FABIANA RIBEIRO CALDARA
Data: 07/10/2026 09:01:48-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Profa. Dra. Fabiana Ribeiro Caldara

Universidade Federal da Grande Dourados

gov.br Documento assinado digitalmente
CLAUDIA MARIE KOMIYAMA
Data: 07/10/2026 22:16:56-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Profa. Dra. Claudia Marie Komiyama

Orientadora - UFGD

BIOGRAFIA DO AUTOR

Letícia Cuer Garcia nasceu em 06 de dezembro de 2000, na cidade de Tupã, interior do estado de São Paulo. Filha de Tânia Maria Cuer Domingues e Vagner Domingues Garcia, e irmã de Guilherme Cuer Garcia e Luana Cuer Garcia, iniciou sua formação em Zootecnia na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) em 2018. Foi ainda durante a graduação que começou sua trajetória na avicultura, área pela qual passou a demonstrar crescente interesse ao longo da formação. Nesse período, integrou o grupo de pesquisa em Avicultura e o Núcleo de Estudos em Suinocultura, Avicultura e Aquicultura (NESAQ), além de atuar como bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET) e participar da Associação Atlética Acadêmica do curso de Zootecnia. A aproximação com a avicultura se fortaleceu ao longo dos anos e ganhou também uma dimensão prática durante o estágio curricular obrigatório realizado na empresa BRF, em Dourados–MS, onde acompanhou atividades de extensão rural relacionadas à produção de matrizes e frangos de corte. Em 2024, concluiu a graduação e, no mesmo ano, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da UFGD, em nível de mestrado, dando continuidade à sua formação na área avícola por meio de pesquisas voltadas ao comportamento, bem-estar e cognição de frangos de corte. Ao longo dessa etapa, desenvolveu sua dissertação na área de bem-estar e cognição animal, sendo submetida ao exame de qualificação em 20 de fevereiro de 2026 e defendida em 07 de agosto de 2026, concluindo, assim, sua formação em nível de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da UFGD. Sua trajetória profissional também permaneceu ligada à avicultura e, atualmente, atua como Analista de Pesquisa e Desenvolvimento na Mantiqueira Brasil, em Primavera do Leste–MT, onde participa de projetos relacionados à produção avícola, ampliando sua experiência nas áreas de pesquisa, nutrição, manejo, desempenho produtivo e qualidade dos ovos.

AGRADECIMENTOS

Em mais um capítulo marcante da minha vida, sou grata a Deus por me guiar e por cada oportunidade concedida até aqui. Minha gratidão se estende a todos que fizeram, e ainda fazem, parte da minha caminhada, abrilhantando minha vida com suas presenças e aprendizados

À minha mãe Tânia e ao meu pai Vagner, todo o meu amor, gratidão e reconhecimento. Agradeço por estarem comigo em cada momento da minha trajetória, por todo esforço e renúncia para que eu alcançasse meus objetivos, e por todas as oportunidades concedidas. Muito obrigada por me amarem, instruírem e segurarem minha mão na busca pelos meus sonhos.

Aos meus irmãos, Luana e Guilherme, o meu muito obrigado pelo apoio incondicional, pela paciência diária, pelo afeto e por torcerem tanto por mim.

A toda a minha família que torceu e me apoiou na conquista deste sonho, e que fez parte da minha formação como pessoa, expresso minha gratidão, em especial aos meus avós. Aos que partiram e não puderam prestigiar este momento, deixo minha eterna saudade e a certeza de que o amor de vocês me trouxe até aqui.

À minha orientadora, Prof.ª Dra. Cláudia Marie Komiyama, pela confiança, pelas ajudas e pela paciência em me guiar em cada etapa deste processo. Sua orientação foi fundamental para que este trabalho se concretizasse.

Às minhas amigas de vida, Yasmin, Isabele, Natália e Maria Eduarda, o meu muito obrigada por serem meu porto seguro fora da universidade. Agradeço pelo incentivo constante, pela paciência com a minha ausência nos momentos de correria e por sempre me lembrarem do que realmente importa. A presença de vocês foi essencial para manter minha saúde mental e meu sorriso durante todo esse processo. Muito obrigada também por dividirem não só a etapa da graduação comigo, mas por serem o meu lar ao longo de todos esses anos.

Aos meus amigos e colegas de Pós-Graduação, Isabele, Lucas, Gabriel e Maria Elisa, expresso minha sincera gratidão por todo o companheirismo, pela ajuda na condução desse trabalho em especial durante o experimento, pelas trocas de conhecimento e pelo apoio mútuo durante esses anos. Seja nos momentos mais

difíceis ou nos momentos de celebração, ter a parceria de vocês fez toda a diferença nesta caminhada.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, Regina, Thiago, Hitalo e Francione, o meu muito obrigada pelo apoio diário e por torcerem tanto por mim. Agradeço a paciência nos momentos de correria, pelas trocas de ideias e por me incentivarem a buscar o meu crescimento. Trabalhar ao lado de vocês deixou essa caminhada bem mais leve.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, expresso minha gratidão pelos ensinamentos, pela dedicação e por todas as contribuições acadêmicas ao longo das disciplinas e da minha formação, em especial aos professores Dr. Rodrigo Garófallo Garcia, Dra. Claudia Marie Komiyama, Dra. Maria Fernanda de Castro Burbarelli e Dra. Ana Carolina Amorim Orrico

Aos integrantes do grupo de pesquisa NESAQ, o meu sincero e especial agradecimento. Nada disso teria sido possível sem o apoio de vocês na condução do experimento, na rotina intensa de coleta de dados e nas análises. Obrigada por cada hora dedicada, pelo trabalho em equipe no campo e no laboratório, e pelo companheirismo que tornou os desafios muito mais leves

Aos professores e colaboradores da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), agradeço por possibilitarem e auxiliarem no desenvolvimento da minha Pós-Graduação. Em especial, manifesto minha gratidão ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pela oportunidade de dar continuidade aos meus estudos e por todo o apoio oferecido ao longo desta jornada.

Além disso, expresso minha gratidão aos membros da banca examinadora, as Doutoras Fabiana Ribeiro Caldara, Ibiara Correia de Lima Almeida Paz e Maria Fernanda de Castro Burbarelli, e o Doutor Caio César Ouros, por terem aceitado participar deste momento tão especial que é a minha defesa de dissertação, por se disponibilizarem a avaliar este trabalho e por todas as valiosas contribuições.

Agradeço à CAPES pelo suporte financeiro e pela bolsa concedida, essencial para a realização desta pesquisa, esse apoio foi fundamental para toda a minha trajetória no primeiro ano de Pós-graduação.

SUMÁRIO

CONSIDERAÇÕES INICIAIS *14*

REFERÊNCIAS *17*

CAPÍTULO 1- COMPLEXIDADE AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO COGNITIVO EM FRANGOS DE CORTE E GALINHAS POEDEIRAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA *19*

INTRODUÇÃO *21*

METODOLOGIA *23*

Fonte de informação e estratégia de busca *23*

Critérios de elegibilidade *23*

Seleção dos estudos *25*

Síntese dos resultados *26*

Análise do risco de viés *27*

RESULTADOS *28*

DISCUSSÃO *35*

CONCLUSÃO *47*

REFERÊNCIAS *48*

CAPÍTULO 2- COMPLEXIDADE AMBIENTAL E USO DE PROBIÓTICOS SOBRE RESPOSTAS COGNITIVAS E FISIOLÓGICAS DE FRANGOS DE CORTE DE CRESCIMENTO RÁPIDO *54*

INTRODUÇÃO *56*

MATERIAL E MÉTODOS *58*

Aves, instalações e manejo *58*

Delineamento experimental e tratamentos *58*

Aditivos melhorador de desempenho e complexidade ambiental *60*

Arena de testes *63*

Procedimentos do teste de viés de julgamento (JBT) *64*

Habilidade ao caminhar (fator de correção) pelo Gait score: *71*

Estresse crônico *71*

Fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) hipocampal *71*

Análise estatística *72*

RESULTADOS *72*
Teste de viés de julgamento *72*
Estresse Crônico *75*
Fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) hipocampal *75*
DISCUSSÃO *76*
REFERÊNCIAS *86*
CONSIDERAÇÕES FINAIS *91*

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1- RELAÇÃO ENTRE COMPLEXIDADE AMBIENTAL E O DESENVOLVIMENTO COGNITIVO NAS AVES DE PRODUÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Figura 1. *Fluxograma PRISMA do processo de identificação, triagem por títulos e resumos para seleção dos artigos incluídos na revisão sistemática sobre o efeito do enriquecimento ambiental na cognição e aprendizado de frangos de corte e galinhas de postura.*..... 26
Figura 2. *Análise do risco de viés dos artigos incluídos na revisão sistemática sobre os efeitos do enriquecimento ambiental no aprendizado e cognição em frangos de corte e galinhas, de acordo com a ferramenta SYRCLE RoB Tool (Systematic Review Centre for Laboratory Animal Experimentation).*..... 32
Figura 3. *Distribuição de publicações de acordo com o país e o ano.*..... 33
Figura 4. *Frequência dos tipos de testes utilizados nos estudos.*..... 35

CAPÍTULO 2- COMPLEXIDADE AMBIENTAL E ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS SOBRE RESPOSTAS COGNITIVAS E FISIOLÓGICAS DE FRANGOS DE CORTE DE CRESCIMENTO RÁPIDO

Figura 1. *Enriquecimento ambiental permanente utilizado nas unidades experimentais submetidas à alta complexidade ambiental*..... 61
Figura 2. *Grupo 1 de enriquecimentos temporários, composto por fitas metálicas (Figura A) e espelhos (Figura B), utilizados nas unidades experimentais submetidas a alta complexidade ambiental.*..... 62
Figura 3. *Grupo 2 de enriquecimentos temporários utilizados nas unidades experimentais submetidas a alta complexidade ambiental, compostos por bola metálica preenchida com feno (figura A) e correntes penduradas (localizadas nas extremidades das setas azuis da imagem B)*..... 62
Figura 4. *Grupo 3 de enriquecimentos temporários utilizados nas unidades experimentais submetidas a alta complexidade ambiental, compostos por rede de malha preenchidas com feno de trigo em conjunto com bolas coloridas nas cores azul e vermelha.* 63
Figura 5. *Arena de testes utilizada pelas unidades experimentais durante os procedimentos do teste de viés de julgamento.* 64
Figura 6. *Fluxograma das etapas de treinamento do teste de viés de julgamento, incluindo os critérios de aprendizagem e progressão entre as fases 1A, 1B e 2 em frangos de corte de crescimento rápido.* 67
Figura 7. *Pistas ambíguas utilizadas durante a fase de teste de viés de julgamento (JBT). Pista 100% branca, pista 25% preta, pista 50% preta, pista 75% preta e pista 100% preta.*..... 69

Figura 8. *Fluxograma da fase de teste de viés de julgamento em frangos de corte de crescimento rápido.* 70
Figura 9. *Latência média (± SEM) para se aproximar (s) das cinco pistas (Recompensa; próxima à recompensa; Intermediária; Próxima à negativa; e Neutra) em 4 rodadas do teste de viés de julgamento (n = 12 pares sociais).* 75

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1- RELAÇÃO ENTRE COMPLEXIDADE AMBIENTAL E O DESENVOLVIMENTO COGNITIVO NAS AVES DE PRODUÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Tabela 1. *Definição dos componentes da estratégia PICO para a busca e seleção de estudos referentes a utilização de enriquecimento ambiental e seus efeitos no aprendizado e cognição de frangos de corte.* 24
Tabela 2. Critérios de inclusão e exclusão aplicados à revisão sistemática sobre o efeito do enriquecimento ambiental na cognição e na capacidade de aprendizado de frangos de corte e de galinhas poedeiras..... 25
Tabela 3. *Classificação global do risco de viés dos estudos incluídos segundo a ferramenta SYRCLE*. 27
Tabela 4. *Metodologias e resumo dos principais resultados dos estudos incluídos.* 30
Tabela 5. *Tipos de enriquecimentos ambientais utilizados nos estudos*..... 33

CAPÍTULO 2- COMPLEXIDADE AMBIENTAL E ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS SOBRE RESPOSTAS COGNITIVAS E FISIOLÓGICAS DE FRANGOS DE CORTE DE CRESCIMENTO RÁPIDO

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. *59*
Tabela 2. *Percentual das aves que completaram o critério de aprendizado em cada rodada, latência média (seg.) e desvio padrão (seg.) durante a fase de habituação (n= 108).*..... 73
Tabela 3. *Testes de efeitos fixos para a variável de latência de aproximação no teste de viés de julgamento.* 74
Tabela 4. *Concentração de corticosterona (ng/mL) nas penas de frangos de corte submetidos a diferentes níveis de complexidade ambiental e aditivos nutricionais.* 75
Tabela 5. *Concentração de BDNF no hipocampo (ng/g) de frangos de corte submetidos a diferentes níveis de complexidade ambiental e aditivos nutricionais* 76

LISTA DE ABREVIAÇÕES

ABPA- Associação Brasileira de Proteína Animal

AEE- Antibiótico e alta complexidade ambiental

AHD- Analog High Definition — alta definição analógica

ANE- Antibiótico e baixa complexidade ambiental

BDNF- Brain-Derived Neurotrophic Factor — fator neurotrófico derivado do cérebro

CEUA- Comitê de Ética no Uso de Animais

DVR- Digital Video Recorder — gravador de vídeo digital

ELISA- Enzyme-Linked Immunosorbent Assay

EUA- Estados Unidos da América

GS- Gait score — escore de marcha

HHA- Eixo hipotálamo–hipófise–adrenal

JBT- Judgment Bias Test — teste de viés de julgamento

LED- Light-Emitting Diode — diodo emissor de luz

LSL- Lohmann Selected Leghorn

PEE- Probiótico e alta complexidade ambiental

PICO- População, Intervenção, Comparação e Desfecho (Outcome)

PNE- Probiótico e baixa complexidade ambiental

POP- Protocolo Operacional Padrão

PRISMA-P- Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols

REML- Restricted Maximum Likelihood — máxima verossimilhança restrita

RoB- Risk of Bias — risco de viés

SAS- Statistical Analysis System

SEM- Standard Error of the Mean — erro-padrão da média

SYRCLE- Systematic Review Centre for Laboratory Animal Experimentation

UFGD- Universidade Federal da Grande Dourados

UV- Ultravioleta

IMPACTOS DA UTILIZAÇÃO DE PROBIÓTICOS E ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL SOBRE COGNIÇÃO E BEM-ESTAR DE FRANGOS DE CORTE

RESUMO- A complexidade do ambiente de criação e as estratégias nutricionais podem influenciar o comportamento, a cognição e os estados afetivos das aves, constituindo importantes ferramentas para a melhoria do bem-estar animal. Objetivou-se, nesta dissertação, investigar a relação entre complexidade ambiental, cognição e bem-estar de aves de produção e avaliar os efeitos da associação entre diferentes níveis de complexidade ambiental e aditivos melhoradores de desempenho sobre os estados afetivos e indicadores neurobiológicos de frangos de corte de crescimento rápido. Inicialmente, foi realizada uma revisão sistemática, seguindo as diretrizes PRISMA, com buscas nas bases Web of Science, PubMed e Scopus. Foram incluídos 16 estudos que avaliaram os efeitos da complexidade ambiental sobre a cognição e a capacidade de aprendizagem de frangos de corte e galinhas poedeiras. De modo geral, ambientes mais complexos apresentaram potencial para favorecer a aprendizagem, a orientação espacial, a motivação exploratória e estados afetivos positivos, embora a diversidade dos protocolos experimentais e o número limitado de estudos com frangos de corte de crescimento rápido dificultem a generalização dos resultados. Posteriormente, foi conduzido um experimento com frangos de corte machos Ross TM4®, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 × 2, considerando dois aditivos melhoradores de desempenho, antibiótico ou probiótico, e dois níveis de complexidade ambiental, alta ou baixa. Os estados afetivos foram avaliados por meio do teste de viés de julgamento, utilizando treinamento em pares e pistas previamente associadas à recompensa ou à ausência de recompensa, além de pistas ambíguas. Também foram determinadas as concentrações de corticosterona nas penas, como indicador de estresse crônico, e do fator neurotrófico derivado do cérebro no hipocampo, relacionado à neuroplasticidade. Os resultados da revisão indicaram que o aumento da complexidade ambiental pode favorecer aspectos relacionados à cognição, aprendizagem e estados afetivos, embora as respostas variem em função das características dos enriquecimentos e dos protocolos utilizados. No estudo experimental, não foram observados efeitos da complexidade ambiental, do tipo de aditivo ou da interação entre esses fatores sobre as respostas às pistas ambíguas do teste de viés de julgamento. Da mesma forma, os tratamentos não influenciaram as concentrações de corticosterona nas penas ou do

fator neurotrófico derivado do cérebro no hipocampo. Apesar da ausência de efeitos significativos dos tratamentos sobre essas variáveis, as aves foram capazes de discriminar os estímulos apresentados no teste, demonstrando aprendizagem da tarefa. Conclui-se que, nas condições experimentais adotadas, a associação entre complexidade ambiental e aditivos melhoradores de desempenho não promoveu alterações detectáveis nos estados afetivos, no estresse crônico ou no indicador de neuroplasticidade dos frangos de corte. Apesar desses resultados, o protocolo de teste de viés de julgamento permitiu a discriminação entre os estímulos, e o treinamento em pares mostrou-se uma estratégia metodologicamente viável para sua aplicação em frangos de corte.

Palavras-chave: Aprendizagem, corticosterona, estado afetivo, neuroplasticidade, treinamento em pares, viés de julgamento.

IMPACTS OF PROBIOTIC USE AND ENVIRONMENTAL ENRICHMENT ON COGNITION AND WELFARE OF BROILER CHICKENS

ABSTRACT- The complexity of the rearing environment and nutritional strategies can influence poultry behavior, cognition, and affective states, representing important tools for improving animal welfare. This dissertation aimed to investigate the relationship between environmental complexity, cognition, and welfare in poultry and to evaluate the effects of the association between different levels of environmental complexity and growth-promoting additives on the affective states and neurobiological indicators of fast-growing broiler chickens. Initially, a systematic review was conducted following the PRISMA guidelines, with searches performed in the Web of Science, PubMed, and Scopus databases. Sixteen studies evaluating the effects of environmental complexity on cognition and learning ability in broiler chickens and laying hens were included. Overall, more complex environments showed the potential to improve learning, spatial orientation, exploratory motivation, and positive affective states, although the diversity of experimental protocols and the limited number of studies involving fast-growing broiler chickens hinder the generalization of the findings. Subsequently, an experiment was conducted with male Ross TM4® broiler chickens, distributed in a completely randomized design in a 2 × 2 factorial arrangement, considering two growth-promoting additives, antibiotic or probiotic, and two levels of environmental complexity, high or low. Affective states were assessed using a judgment bias test, with pair training and cues previously associated with reward or absence of reward, in addition to ambiguous cues. Feather corticosterone concentrations were also determined as an indicator of chronic stress, as well as hippocampal brain-derived neurotrophic factor concentrations, related to neuroplasticity. The results of the review indicated that increased environmental complexity may favor aspects related to cognition, learning, and affective states, although responses vary according to the characteristics of the enrichment and the protocols used. In the experimental study, no effects of environmental complexity, additive type, or the interaction between these factors were observed on responses to the ambiguous cues of the judgment bias test. Likewise, the treatments did not influence feather corticosterone concentrations or hippocampal brain-derived neurotrophic factor concentrations. Despite the absence of significant treatment effects on these variables, the birds were able to discriminate among the stimuli presented in the test, demonstrating learning of the task. It was concluded that,

under the experimental conditions adopted, the association between environmental complexity and growth-promoting additives did not promote detectable changes in affective states, chronic stress, or the neuroplasticity indicator in broiler chickens. Despite these findings, the judgment bias test protocol allowed discrimination among stimuli, and pair training proved to be a methodologically feasible strategy for its application in broiler chickens.

Keywords: affective state, corticosterone, learning, neuroplasticity, pair training, judgment bias

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A produção de frangos de corte possui papel estratégico no agronegócio brasileiro e internacional. Segundo dados da ABPA referentes ao ano de 2025, o Brasil posicionou-se como o terceiro maior produtor mundial, com 15,289 milhões de toneladas produzidas, e como o principal exportador do setor, com um volume de 5,324 milhões de toneladas (ABPA, 2026). A necessidade de atender à crescente demanda por proteína de origem animal tem impulsionado a busca por elevada eficiência produtiva, caracterizada, entre outros aspectos, pela otimização do espaço de criação e pela redução dos ciclos de produção (Fiorilla et al., 2026).

Entretanto, frangos de corte são frequentemente criados em ambientes com baixa complexidade ambiental e altas densidades de alojamento, condições estas adotadas visando à eficiência dos sistemas produtivos, mas que podem limitar a expressão de comportamentos naturais e comprometer o bem-estar das aves (Mallapur et al., 2009; Bach et al., 2019). Promover o bem-estar animal envolve proporcionar condições que favoreçam experiências predominantemente positivas, permitindo que os animais expressem seu repertório comportamental e mantenham o equilíbrio biológico e emocional em relação ao ambiente. Para isso, torna-se necessário o aprimoramento contínuo das instalações e das práticas de manejo adotadas nos sistemas de produção (Koknaroglu; Akunal, 2013; Fernandes et al., 2021).

Nesse contexto, uma das estratégias empregadas para promover o bem-estar das aves consiste no aumento da complexidade do sistema de criação por meio da utilização de enriquecimentos ambientais. O enriquecimento ambiental pode ser compreendido como uma modificação planejada do ambiente destinada a ampliar sua relevância biológica, proporcionando aos animais maiores oportunidades de interação, exploração, escolha e expressão de comportamentos espécie-específicos, com potenciais benefícios ao funcionamento biológico e ao bem-estar (Newberry, 1995; Riber et al., 2018).

Nessa perspectiva, o enriquecimento não deve ser entendido apenas como a introdução de objetos ou estruturas no ambiente, mas como a oferta de

estímulos funcionalmente relevantes às necessidades comportamentais das aves. Em frangos de corte, esses recursos podem favorecer maior atividade, exploração e diversidade comportamental, contribuindo para a redução de limitações impostas por sistemas de criação pouco complexos e, consequentemente, para a melhoria das condições de bem-estar (Bach et al., 2019).

Além dos efeitos comportamentais, ambientes mais complexos também podem influenciar os estados afetivos e o desenvolvimento de funções cognitivas, como aprendizagem e memória, uma vez que as experiências proporcionadas pelo ambiente podem promover alterações em estruturas cerebrais envolvidas nesses processos, entre elas o hipocampo (Patzke et al., 2009; Tahamtani et al., 2018; Anderson et al., 2021).

Os estados afetivos dos animais são influenciados pelas experiências vivenciadas e pelas condições às quais são expostos ao longo da vida. Diferentes estímulos podem desencadear emoções de curta duração associadas a mecanismos de recompensa ou punição e, quando acumuladas ao longo do tempo, contribuir para a formação de estados afetivos mais duradouros (Crump et al., 2020). A avaliação desses estados representa um importante componente do estudo do bem-estar animal, sendo o Teste de Viés de Julgamento (*Judgment Bias Test* – JBT) uma das ferramentas utilizadas para essa finalidade. O teste baseia-se na forma como os animais interpretam estímulos ambíguos após aprenderem associações com estímulos positivos e negativos ou neutros. Respostas aos estímulos ambíguos semelhantes àquelas apresentadas diante de estímulos positivos indicam maior expectativa de recompensa e são interpretadas como um viés mais otimista. Em contrapartida, respostas semelhantes às apresentadas diante de estímulos negativos indicam menor expectativa de resultados positivos, sendo associadas a um viés mais pessimista e a estados afetivos mais negativos (Bateson; Nettle, 2015).

Além das condições ambientais, os estados afetivos e as funções cognitivas podem ser influenciados por mecanismos fisiológicos relacionados à microbiota intestinal. Evidências sugerem que os microrganismos presentes no trato gastrointestinal participam da comunicação bidirecional entre intestino e cérebro por meio do eixo intestino–cérebro, podendo influenciar a produção de

neurotransmissores, a resposta imunológica e diferentes aspectos da função cerebral (Rhee et al., 2009; Carabotti et al., 2015). Dessa forma, estratégias nutricionais capazes de modular a microbiota intestinal podem apresentar potencial para influenciar não apenas a saúde intestinal, mas também respostas relacionadas ao comportamento, à cognição e aos estados afetivos.

Entre essas estratégias, destaca-se a utilização de probióticos, que podem contribuir para aumentar a estabilidade e a resiliência da microbiota intestinal, favorecendo sua recuperação diante de perturbações provocadas por fatores como uso de antibióticos, situações de estresse ou alterações na dieta (Mârza et al., 2025). Algumas cepas probióticas também têm demonstrado potencial para modular respostas relacionadas ao estado afetivo. Em estudos conduzidos com humanos, a suplementação com microrganismos específicos foi associada à redução de sintomas relacionados à ansiedade e à depressão (Wallace; Milev, 2017). Esses achados reforçam o potencial da modulação da microbiota intestinal como uma via de investigação para compreender sua possível influência sobre aspectos emocionais e cognitivos também em modelos animais.

Embora tenham ocorrido avanços importantes na compreensão dos efeitos do enriquecimento ambiental sobre os estados afetivos e o bem-estar de frangos de corte (Anderson et al., 2021; Jacobs et al., 2023; Herrera-Alcaíno et al., 2024), ainda existem lacunas relacionadas à interação entre estratégias ambientais e nutricionais. Em especial, são limitadas as informações sobre como a combinação entre complexidade ambiental e aditivos melhoradores de desempenho pode influenciar conjuntamente os estados afetivos, os processos cognitivos, os indicadores neurobiológicos e o bem-estar de frangos de corte de crescimento rápido.

Diante desse contexto, o Capítulo I apresenta uma revisão sistemática sobre a influência da complexidade ambiental na cognição e na capacidade de aprendizagem de aves de produção, buscando compreender os principais efeitos observados, as metodologias utilizadas e as lacunas existentes na literatura. O Capítulo II, por sua vez, apresenta um estudo experimental desenvolvido com o objetivo de avaliar os efeitos da combinação entre aditivos melhoradores de desempenho e complexidade ambiental sobre os estados

afetivos, o desenvolvimento cerebral e o bem-estar de frangos de corte de crescimento rápido.

REFERÊNCIAS

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. (2026). Relatório anual 2026 [Relatório técnico].

ANDERSON, M. G. et al. Environmental complexity positively impacts affective states of broiler chickens. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 16966, 2021. https://doi.org/10.1038/s41598-021-95280-4.

BACH, M. H. et al. Effects of environmental complexity on behaviour in fast-growing broiler chickens. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 219, p. 104840, 2019. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.104840.

BATESON, M; NETTLE, D. Development of a cognitive bias methodology for measuring low mood in chimpanzees. **PeerJ**, v. 3, p. e998, 2015. https://doi.org/10.7717/peerj.998.

CARABOTTI, M. et al. The gut-brain axis: interactions between enteric microbiota, central and enteric nervous systems. **Annals of gastroenterology: quarterly publication of the Hellenic Society of Gastroenterology**, v. 28, n. 2, p. 203, 2015.

CRUMP, A. et al. Emotion in animal contests. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 287, n. 1939, 2020. https://doi.org/10.1098/rspb.2020.1715.

FERNANDES, J. N. et al. Costs and benefits of improving farm animal welfare. **Agriculture**, v. 11, n. 2, p. 104, 2021. https://doi.org/10.3390/agriculture11020104.

FIORILLA, E. et al. Welfare and behaviour in slow-growing chickens: the role of farming system and genotype. **Italian Journal of Animal Science**, v. 25, n. 1, p. 98-110, 2026. https://doi.org/10.1080/1828051X.2026.2615471.

HERRERA-ALCAÍNO, S. et al. Social enrichment improves affective state and foraging behavior compared to physical enrichment, while maintaining growth performance in broiler chickens. **Animals**, v. 14, n. 22, p. 3186, 2024. https://doi.org/10.3390/ani14223186.

KOKNAROGLU, H; AKUNAL, T. Animal welfare: An animal science approach. **Meat Science**, v. 95, n. 4, p. 821-827, 2013. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.030.

JACOBS, L. et al. Enhancing their quality of life: environmental enrichment for poultry. **Poultry Science**, v. 102, n. 1, p. 102233, 2023. https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102233.

MALLAPUR, A. et al. Short-term and long-term movement patterns in confined environments by domestic fowl: Influence of group size and enclosure size. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 117, n. 1-2, p. 28-34, 2009. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.11.005.

MÂRZA, S. M. et al. The role of probiotics in enhancing animal health: Mechanisms, Benefits, and applications in livestock and companion animals. **Animals**, v. 15, n. 20, p. 2986, 2025. https://doi.org/10.3390/ani15202986.

NEWBERRY, R. C. Environmental enrichment: Increasing the biological relevance of captive environments. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 44, n. 2-4, p. 229-243, 1995. https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)00616-Z.

PATZKE, N. et al. Consequences of different housing conditions on brain morphology in laying hens. **Journal of Chemical Neuroanatomy**, v. 37, n. 3, p. 141-148, 2009. https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2008.12.005.

RHEE, S. H.; POTHOULAKIS, C; MAYER, E. A. Principles and clinical implications of the brain–gut–enteric microbiota axis. **Nature reviews Gastroenterology & hepatology**, v. 6, n. 5, p. 306-314, 2009. https://doi.org/10.1038/nrgastro.2009.35.

RIBER, A. B. et al. Review of environmental enrichment for broiler chickens. **Poultry Science**, v. 97, n. 2, p. 378-396, 2018. https://doi.org/10.3382/ps/pex344.

TAHAMTANI, F. M. et al. Effects of environmental complexity on fearfulness and learning ability in fast growing broiler chickens. **Applied animal behaviour science**, v. 207, p. 49-56, 2018. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.04.005.

WALLACE, C. J. K; MILEV, R. The effects of probiotics on depressive symptoms in humans: a systematic review. **Annals of general psychiatry**, v. 16, n. 1, p. 14, 2017. https://doi.org/10.1186/s12991-017-0138-2.

CAPÍTULO 1- COMPLEXIDADE AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO COGNITIVO EM FRANGOS DE CORTE E GALINHAS POEDEIRAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

RESUMO

Na avicultura de corte, o emprego de estratégias de bem-estar, como o incremento da complexidade ambiental, tem sido amplamente investigado devido ao seu impacto nos estados afetivos, na cognição e na capacidade de aprendizado das aves. Visto isso, esta revisão teve por objetivo avaliar de forma sistemática os achados sobre a influência do uso de enriquecimento ambiental na cognição e aprendizado em frangos de corte e galinhas poedeiras. A pergunta de pesquisa: “Em frangos de corte e galinhas poedeiras, quais são os efeitos de diferentes tipos de enriquecimento ambiental, em comparação à ausência ou ao manejo convencional sobre a aprendizagem e outros aspectos da cognição” foi estruturada segundo a metodologia PICO, considerando como população frangos de corte e galinhas poedeiras; como intervenção as diferentes formas de complexidade ambiental; como comparadores os ambientes com baixa complexidade ou convencional ou grupos diferentes de enriquecimento; e como desfechos respostas no aprendizado e cognição. Foram incluídos estudos randomizados que testaram os efeitos da complexidade ambiental sobre as respostas cognitivas e capacidade de aprendizado em galinhas poedeiras e frangos de corte. Para isso foram realizadas buscas nas bases de dados *Web of Science*, *PubMed* e *Scopus*, seguindo as diretrizes do PRISMA 2020, de dezembro de 2025 a janeiro de 2026. O risco de viés foi avaliado utilizando a ferramenta *SYRCLE RoB Tool*, considerando aspectos metodológicos como a randomização, intervenção, cegamento dos avaliadores, dados de desfecho e transparência dos resultados. Foram incluídos 16 estudos, 11 avaliaram os efeitos da complexidade ambiental sobre a habilidade de aprendizado, 1 estudo avaliou a influência da complexidade do ambiente sobre a cognição, e 4 estudos avaliaram os efeitos dessa intervenção sobre as respostas cognitivas e de aprendizado. A maioria dos estudos concentrou-se na avaliação da capacidade de aprendizado (n = 15), principalmente por meio de testes de labirinto e viés de julgamento. Os enriquecimentos utilizados consistiam em recursos nutricionais, sensoriais e físicos. As intervenções que utilizaram múltiplas estratégias de aumento da complexidade ambiental tiveram mais influência sobre os desfechos avaliados. Os resultados indicam que a combinação de múltiplas estratégias de complexidade ambiental potencializa a motivação exploratória, o aprendizado e os estados afetivos positivos. Conclui-se que, embora os benefícios sejam evidentes, há uma lacuna de estudos recentes voltados especificamente para frangos de corte de crescimento rápido, dada a relevância produtiva da espécie.

Palavras-chave: Bem-estar animal, capacidade de aprendizado, cognição, enriquecimento ambiental, estados afetivos.

CHAPTER 1 – ENVIRONMENTAL COMPLEXITY AND COGNITIVE DEVELOPMENT IN BROILER CHICKENS AND LAYING HENS: A SYSTEMATIC REVIEW

ABSTRACT

In broiler poultry production, the use of welfare strategies, such as increasing environmental complexity, has been widely investigated due to its impact on the affective states, cognition, and learning ability of poultry. Therefore, this systematic review aimed to evaluate the available evidence on the influence of environmental enrichment on cognition and learning in broiler chickens and laying hens. The guiding research question was: “In broiler chickens and laying hens, what are the effects of different types of environmental enrichment, compared with the absence of enrichment or conventional management, on learning and other aspects of cognition?” This question was structured according to the PICO framework considering broiler chickens and laying hens as the population; different forms of environmental complexity as the intervention; conventional or low-complexity environments, or different enrichment groups, as comparators; and learning and cognitive responses as the outcomes. Randomized studies evaluating the effects of environmental complexity on cognitive responses and learning ability in broiler chickens and laying hens were included. Literature searches were conducted in the Web of Science, PubMed, and Scopus databases, following the PRISMA 2020 guidelines, between December 2025 and January 2026. The risk of bias was assessed using the SYRCLE Risk of Bias Tool, considering methodological aspects such as randomization, intervention allocation, assessor blinding, outcome data, and transparency of reported results. A total of 16 studies met the inclusion criteria: 11 evaluated the effects of environmental complexity on learning ability, one investigated its influence on cognition, and four assessed its effects on both cognitive and learning responses. Most studies focused on learning ability (n = 15), primarily using maze tests and judgment bias tests. The enrichment strategies included nutritional, sensory, and physical resources. Studies employing multiple environmental complexity strategies showed greater effects on the evaluated outcomes. Overall, the findings indicate that combining multiple environmental enrichment strategies enhances exploratory motivation, learning ability, and positive affective states. It can be concluded that, although the benefits of environmental enrichment are evident, there remains a lack of recent studies specifically addressing fast-growing broiler chickens, despite their considerable importance to commercial poultry production.

Keywords: Animal welfare; affective states; cognition; environmental enrichment; learning ability.

INTRODUÇÃO

O enriquecimento ambiental tem sido utilizado como uma importante estratégia para melhorar o bem-estar de aves de produção, por aumentar a complexidade do ambiente e ampliar as oportunidades de interação com diferentes estímulos (Newberry, 1995; Jacobs et al., 2023). A oferta de recursos como poleiros, plataformas, materiais manipuláveis e outros elementos físicos e sensoriais pode favorecer maior atividade, estimular comportamentos exploratórios e ampliar a expressão do repertório comportamental natural das aves (Bach et al., 2019; Jacobs et al., 2023). Além disso, ambientes mais complexos podem contribuir para a redução de respostas relacionadas ao medo (Tahamtani et al., 2018) e favorecer estados afetivos mais positivos (Anderson et al., 2021). Em frangos de corte, esses benefícios são especialmente relevantes, uma vez que os sistemas convencionais de criação frequentemente apresentam baixa diversidade de estímulos e oportunidades limitadas de escolha e exploração (Bach et al., 2019; Jacobs et al., 2023).

Além desses efeitos sobre o comportamento e os estados afetivos, a maior diversidade de estímulos proporcionada pelo ambiente também pode influenciar processos cognitivos. A cognição corresponde ao conjunto de processos envolvidos na aquisição, retenção e utilização de informações, incluindo percepção, atenção, aprendizagem, memória e tomada de decisão (Dukas, 2004; Broom, 2010; Shettleworth, 2009). Esses processos permitem que os animais integrem informações provenientes do ambiente às experiências anteriores e ajustem suas respostas diante de diferentes situações.

Nesse contexto, ambientes mais complexos podem representar importantes fontes de estimulação cognitiva, uma vez que proporcionam maior diversidade de estímulos sensoriais, espaciais, sociais e ampliam as oportunidades de interação e aprendizagem. Em aves de produção, a utilização de enriquecimentos ambientais tem sido associada a alterações nas respostas comportamentais, na capacidade de aprendizagem, no medo, na exploração e nos estados afetivos (Tahamtani et al., 2018; Bach et al., 2019; Anderson et al.,

2021). Dessa forma, o aumento da complexidade ambiental pode contribuir não apenas para a expressão de comportamentos naturais, mas também para o desenvolvimento e a manifestação de determinadas habilidades cognitivas.

Apesar desse potencial, os efeitos do enriquecimento ambiental sobre a cognição e a aprendizagem das aves ainda apresentam resultados divergentes entre os estudos. Embora tenha ocorrido aumento das pesquisas sobre o tema em aves de produção (Riber et al., 2018; Son et al., 2022; Jacobs et al., 2023), as respostas observadas variam de acordo com fatores como o tipo de enriquecimento utilizado, o período e a frequência de exposição, a linhagem das aves e as metodologias empregadas para avaliar os processos cognitivos. Essa heterogeneidade dos protocolos dificulta a comparação entre os resultados e a identificação das condições em que a maior complexidade do ambiente efetivamente favorece a cognição e a aprendizagem.

Essa variabilidade metodológica também dificulta uma compreensão integrada dos efeitos da complexidade ambiental sobre os diferentes componentes da cognição. Os estudos disponíveis utilizam diferentes categorias de enriquecimento e distintos testes de avaliação cognitiva, o que limita a comparação direta entre os achados e a identificação de padrões consistentes. Nesse sentido, a sistematização das evidências disponíveis pode contribuir para identificar tendências, limitações metodológicas e lacunas no conhecimento, além de auxiliar no direcionamento de futuras pesquisas e no desenvolvimento de estratégias de manejo voltadas à melhoria do bem-estar das aves.

Diante disso, objetivou-se com esta revisão sistemática sintetizar as evidências científicas disponíveis sobre a influência da complexidade do ambiente de criação na cognição e nos processos de aprendizagem de frangos de corte e galinhas poedeiras, identificando os principais efeitos observados, as diferenças metodológicas entre os estudos e as lacunas existentes na literatura.

METODOLOGIA

Fonte de informação e estratégia de busca

Esta revisão sistemática foi elaborada de acordo com o método PRISMA-P ("*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses Protocols*"), conforme estabelecido por Page et al. (2021). A pergunta norteadora da pesquisa foi: "Em frangos de corte e galinhas poedeiras, quais são os efeitos de diferentes tipos de enriquecimento ambiental, em comparação à ausência ou ao manejo convencional sobre a aprendizagem e outros aspectos da cognição". As buscas foram realizadas nas bases de dados *Web of Science*, *Scopus* e *PubMed,* no período de novembro de 2025 a fevereiro de 2026, sem aplicação de restrição quanto ao ano de publicação dos estudos.

As estratégias de busca foram estruturadas de forma a abranger aspectos específicos da pesquisa, relacionando a população-alvo, a palavras-chave relacionadas ao uso de enriquecimento ambiental e seus impactos no aprendizado.

Para aprimorar os resultados, os termos de busca foram combinados usando operadores booleanos "*AND*" e "*OR*". O truncamento ("*") foi utilizado para incluir variações terminológicas e plurais da mesma palavra. A estratégia de busca final aplicada às bases *Web of Science, Scopus e PubMed* foi: (*"Poultry" OR "broiler" OR "broiler chicken*" OR "laying hen*")* AND ("*environmental enrichment" OR "enriched environmental" OR "environmental complexity*") AND ("*judgment bias test" OR "emotional state" OR "affective state*" OR "learning" OR "cognition*"). A última busca foi realizada em 03 de fevereiro de 2026.

Critérios de elegibilidade

Os critérios de inclusão e exclusão foram definidos previamente de acordo com o modelo Pico (Tabela 1). A população avaliada foi composta por frangos de corte e galinhas de postura, uma vez que, dentro da produção avícola, foram as espécies mais avaliadas nas características de cognição e aprendizado.

Tabela 1. *Definição dos componentes da estratégia PICO para a busca e seleção de estudos referentes a utilização de enriquecimento ambiental e seus efeitos no aprendizado e cognição de frangos de corte.*

Acrônimo	Definição	Descrição
P	População	Frangos de corte e galinhas poedeiras
I	Intervenção	Enriquecimento ambiental de qualquer tipo
C	Comparação	Ambientes sem uso de enriquecimento ambiental e Ambientes diferentes com enriquecimentos distintos
O	*Outcomes*	Efeitos sobre o aprendizado com base em testes cognitivos

Os estudos elegíveis para inclusão deveriam obrigatoriamente avaliar o impacto de enriquecimento ambiental sobre o aprendizado e a cognição, com a utilização de testes cognitivos e de julgamento. Além disso, foram considerados apenas estudos publicados na língua inglesa, publicados em formato de artigo científico revisado por pares e o texto completo deveria estar disponível online.

O periódico, o ano de publicação ou o país de origem não influenciaram a inclusão ou exclusão do artigo. Foram excluídas pesquisas em outros idiomas, secundárias como revisões e estudos de caso ou que focassem em parâmetros produtivos ou fisiológicos, sem a mensuração dos desfechos de interesse. Também foram excluídos estudos que não utilizaram a intervenção definida, e aqueles que não tiveram algum tipo de comparação (controle ou comparação entre variedades de enriquecimento ambiental) (Tabela 2).

Tabela 2. Critérios de inclusão e exclusão aplicados à revisão sistemática sobre o efeito do enriquecimento ambiental na cognição e na capacidade de aprendizado de frangos de corte e de galinhas poedeiras.

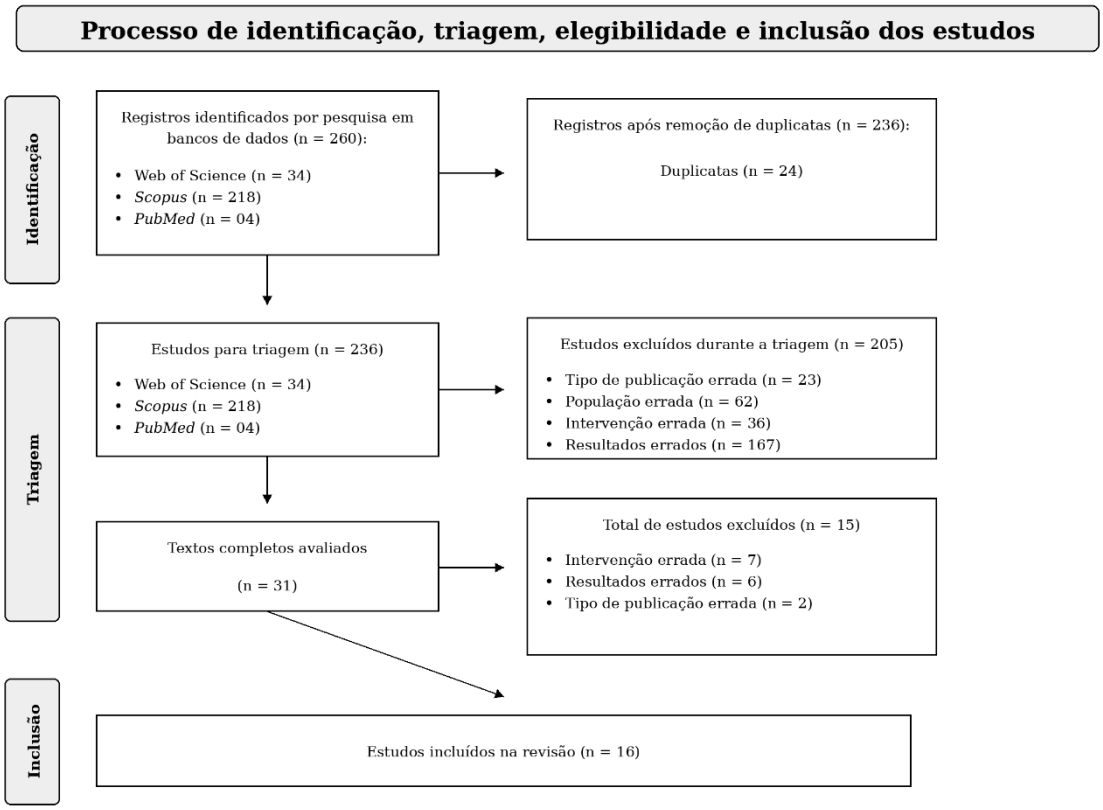
Critério	INCLUSÃO	EXCLUSÃO
Idioma	Apenas estudos publicados em inglês.	Estudos publicados em outros idiomas.
Tipo de estudo	Artigos originais de pesquisa experimental controlada e randomizada.	Meta-análises, resumos de congressos, revisões, estudos de caso, editoriais, capítulos de livros, dissertações e teses.
População	Frangos de corte e galinhas poedeiras, independente da linhagem.	Outras espécies como répteis, peixes, mamíferos etc. Outras espécies avícolas como perus e codornas.
Intervenção	Enriquecimento ambiental.	Estudos sem uso de enriquecimento ambiental.
Comparação	Ambientes com baixa complexidade (sem enriquecimento) ou estudos que realizaram a comparação entre os dois tipos de intervenção.	Falta de um grupo controle ou outras comparações entre os dois tipos de intervenções.
Desfechos (*Outcomes*)	Respostas sobre a cognição e/ ou capacidade de aprendizado, baseados em testes comportamentais ou cognitivos.	Estudos com foco no desempenho das aves, parâmetros fisiológicos, saúde física ou com resultados genéricos, sem detalhar a influência da intervenção sobre a cognição e aprendizado das aves.

Seleção dos estudos

A seleção dos estudos foi realizada por dois revisores. Os estudos selecionados foram importados para uma ferramenta de gerenciamento de revisões Rayyan (*Qatar Computing Research Institute*). Após essa etapa, procedimentos de verificação, remoção de duplicatas, triagem de títulos e resumos, além da leitura dos textos completos, foram executados usando a configuração de modo cego da ferramenta, que ajuda a reduzir potenciais vieses de seleção. Durante a triagem todos os motivos de exclusão em cada fase foram registrados e apresentados no Diagrama PRISMA (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma PRISMA do processo de identificação, triagem por títulos e resumos para seleção dos artigos incluídos na revisão sistemática sobre o efeito do

enriquecimento ambiental na cognição e aprendizado de frangos de corte e galinhas de postura.



Síntese dos resultados

A síntese dos resultados foi descritiva e qualitativa. Os dados extraídos foram organizados em tabelas e gráficos para facilitar a visualização e comparação das diferentes metodologias e desfechos dos estudos. As informações extraídas incluíram: Título, autor(es), ano de publicação, local de realização do estudo, número de aves, linhagem, delineamento experimental, tratamentos, tipo de enriquecimento ambiental utilizado, métodos de avaliação do aprendizado e cognição e principais resultados.

Para integrar os resultados, as informações foram agrupadas e comparadas com base no local onde a pesquisa foi realizada, no tipo de enriquecimento ambiental utilizado e nas metodologias e protocolos de avaliação adotados nos estudos. Isso facilitou a comparação dos resultados sobre como a complexidade

ambiental influencia a cognição e o aprendizado de galinhas poedeiras e frangos de corte.

Análise do risco de viés

A qualidade metodológica dos estudos incluídos foi avaliada por meio da ferramenta SYRCLE *Risk of Bias Tool* (*Systematic Review Centre for Laboratory Animal Experimentation*) (Hooijmans et al., 2014), amplamente recomendada para revisões sistemáticas envolvendo experimentação animal. Esse procedimento permitiu identificar, de forma sistemática, possíveis fontes de viés relacionadas ao delineamento dos estudos, à condução dos experimentos e ao relato dos resultados, contribuindo para a confiabilidade das evidências sintetizadas.

A ferramenta foi aplicada a todos os estudos experimentais elegíveis, considerando os dez domínios previstos em sua estrutura original: geração aleatória da sequência; características basais dos grupos; ocultação da alocação; alojamento aleatório; cegamento de cuidadores e pesquisadores; avaliação aleatória dos desfechos; cegamento do avaliador dos desfechos; dados incompletos (perdas ou exclusões); relato seletivo de desfechos; e outras fontes potenciais de viés.

Cada domínio foi classificado como baixo risco, alto risco ou risco incerto/informação insuficiente, de acordo com as informações apresentadas em cada estudo. Conforme o protocolo adotado, domínios classificados como risco incerto foram considerados como alto risco na avaliação global, de modo a manter uma abordagem conservadora. A classificação global de cada estudo foi definida com base no número de domínios avaliados como alto risco ou na identificação de falhas estruturais relevantes, conforme os critérios apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação global do risco de viés dos estudos incluídos segundo a ferramenta SYRCLE.

Classificação	**Critério**
Baixo	Todos ou quase todos os domínios classificados como baixo risco

Classificação	Critério
Moderado	Maioria dos domínios classificados como baixo risco, com alguns domínios em alto risco
Alto	Três ou mais domínios classificados como alto risco ou presença de problemas estruturais graves

Todos os estudos elegíveis foram incluídos na síntese qualitativa. As classificações de risco de viés foram consideradas na interpretação dos resultados e, para os estudos classificados como de alto risco, adotou-se uma análise mais cautelosa, com o objetivo de aumentar a transparência e reduzir a possibilidade de distorções sistemáticas nas conclusões desta revisão.

RESULTADOS

A busca nas três bases de dados resultou em um total de 260 artigos, sendo 38 na base de dados *Web of Science,* 04 na PubMed e 218 na *Scopus*. Após a etapa de remoção das duplicatas, 236 estudos foram triados por títulos e resumos. Desses, 31 foram selecionados para leitura completa, resultando em 16 estudos que preencheram todos os critérios de elegibilidade. O processo de identificação, triagem e seleção dos estudos está detalhado no Fluxograma PRISMA (Figura 1).

Os principais motivos de exclusão dos estudos foram: resultados não relacionados aos objetivos desta revisão (56,6%), seguido por estudos conduzidos em populações não elegíveis (21,0%). Também foram excluídos trabalhos com intervenções não compatíveis com os critérios estabelecidos (12,2%) e publicações com tipo de artigo inadequado, como revisões e artigos de opinião (7,8%). Uma pequena proporção dos registros foi excluída por estarem fora do escopo temático da revisão (2,4%).

Na etapa de leitura completa dos artigos, 15 estudos foram excluídos por não atenderem aos critérios de elegibilidade. Desses, sete foram excluídos por apresentarem intervenções incompatíveis com os objetivos da revisão, seis por

avaliarem desfechos não pertinentes e dois por se tratarem de tipos de publicação não elegíveis.

Os 16 estudos incluídos nesta revisão apresentam ampla diversidade metodológica, embora compartilhem o objetivo central de avaliar como diferentes formas de enriquecimento ambiental influenciam o aprendizado e cognição de galinhas poedeiras e frangos de corte (Tabela 4).

Tabela 4. *Metodologias e resumo dos principais resultados dos estudos incluídos.*

Autores (Ano de publicação) País	Nº de animais/ linhagem	Tipo de enriquecimento/ Material	Tipo de teste	Característica avaliada	Principais resultados
Krause et al. (2006) Alemanha	120/ *Lohmann Selected Leghorn* (LSL)	Área externa com gramado	Teste de labirinto	Aprendizado	Aves com acesso à área externa apresentaram melhor aprendizado no labirinto em Y e cometeram menos erros.
Ferreira et al. (2020) França	200/ *Naked neck*	Acesso à área externa	Testes de campo aberto, de emergência e motivação social	Aprendizado	A motivação social individual esteve negativamente associada ao uso da área externa.
Campbell et al. (2018) Austrália	149/ *ISA Brown*	Acesso à área externa	Testes de labirinto e campo aberto	Aprendizado	Aves criadas apenas em ambiente interno demoraram mais para atingir o critério de aprendizagem.
Zidar et al. (2018) Suécia	96/ *Bovans*	Aparas de madeira, blocos, poleiros e abrigos	Testes de viés de julgamento (JBT), comportamento multivariado e aprendizagem associativa	Cognição e aprendizado	Os autores não encontraram diferença em como os indivíduos do ambiente mais simples e complexo responderam ao teste de viés de julgamento
Tahamtani et al. (2018) Dinamarca	308/ *Ross*	Forragem, painéis, fardos e plataformas	Tarefa de Aprendizagem de Evitação Passiva	Aprendizado	O acesso a fardos de palha indicou tendência de melhor desempenho na aprendizagem passiva.
Campbell et al. (2021) Austrália	1700/ *Hy-line brown*	Objetos manipuláveis e poleiros	Testes de labirinto, de campo aberto e arena nova	Aprendizado	O enriquecimento não influenciou a latência para comer nem o número de erros no labirinto.
Anderson et al. (2021) Estados Unidos	700/ *Ross*	Pedra de bicada, areia, poleiros e brinquedos	Teste de viés de julgamento (JBT)	Cognição e aprendizado	Aves em alta complexidade foram mais rápidas para se aproximar das pistas no JBT.
Yan et al. (2022) China	120/ *Weining chicks*	Poleiros, aparas de madeira e areia	Teste de labirinto	Aprendizado	Não houve diferença significativa na aprendizagem entre os diferentes ambientes.

Nazar et al. (2022) Argentina	140/ *Bovans Robust*	Areia e percha de madeira	Teste de oportunidade repetida	Aprendizado	Aves com areia e poleiros foram menos medrosas, menos estressadas e tiveram melhor desempenho no teste.
Rentsch et al. (2023) Canadá	11976/ *Lohmann Brown-lites (browns) e Lohmann Selected Leghorn-lites (whites)*	Plataformas, poleiros, áreas de cama e rampa	Teste de labirinto	Aprendizado	Aves criadas em aviário de alta complexidade atingiram o critério de aprendizagem mais rapidamente.
Zhao et al (2023) China	600/ *Roman-white*	Estimulações auditivas	Tarefa de Aprendizagem de evitação passiva e teste de campo aberto	Aprendizado	Sons moderados beneficiaram as aves, enquanto sons intensos prejudicaram conforto e aprendizagem.
Lourenço-Silva et al. (2023) Estados Unidos	600/ *Hubbard Redbro*	Petiscos, objetos suspensos, espelhos e forragem	Teste de viés de julgamento (JBT)	Cognição e aprendizado	As aves aprenderam a tarefa de discriminação no JBT, apresentando resposta em gradiente.
Vanden Hole et al. (2024) Bélgica	200/ *ISA brown*	Larvas e pastagem	Teste de discriminação visual	Aprendizado	O enriquecimento alimentar com larvas influenciou o desempenho na discriminação visual.
Šemrov et al. (2024) Eslovênia	90/galinha barrada eslovena; galinha marrom; galinha prateada	Gaiolas enriquecidas e piso com poleiros	Tarefa de aprendizagem associativa	Aprendizado	As galinhas barradas eslovenas e as aves criadas livres de gaiola apresentaram melhor desempenho de aprendizagem associada
Guinebretière et al. (2025) França	14700/ *Redbro*	Plataformas, poleiros, objetos, substratos e enriquecimento alimentar	Teste de desvio e de reatividade	Cognição	Aves criadas em ambiente enriquecido apresentaram maior exploração e menor vocalização no teste de desvio.
Van Poucke et al. (2026) Suécia	58/ *Lohmann LSL White Leghorn*	Plantas artificiais, turfa, luz UV e alimento disperso	Viés de julgamento cognitivo, Teste de memória espacial e teste de campo aberto e objeto novo	Cognição e aprendizado	A complexidade ambiental melhorou o enfrentamento, o aprendizado espacial e indicou estados afetivos positivos.

De acordo com a análise de risco de viés, os artigos incluídos apresentaram predomínio de baixo risco de viés na maioria dos domínios avaliados, indicando boa qualidade metodológica global (Figura 2).

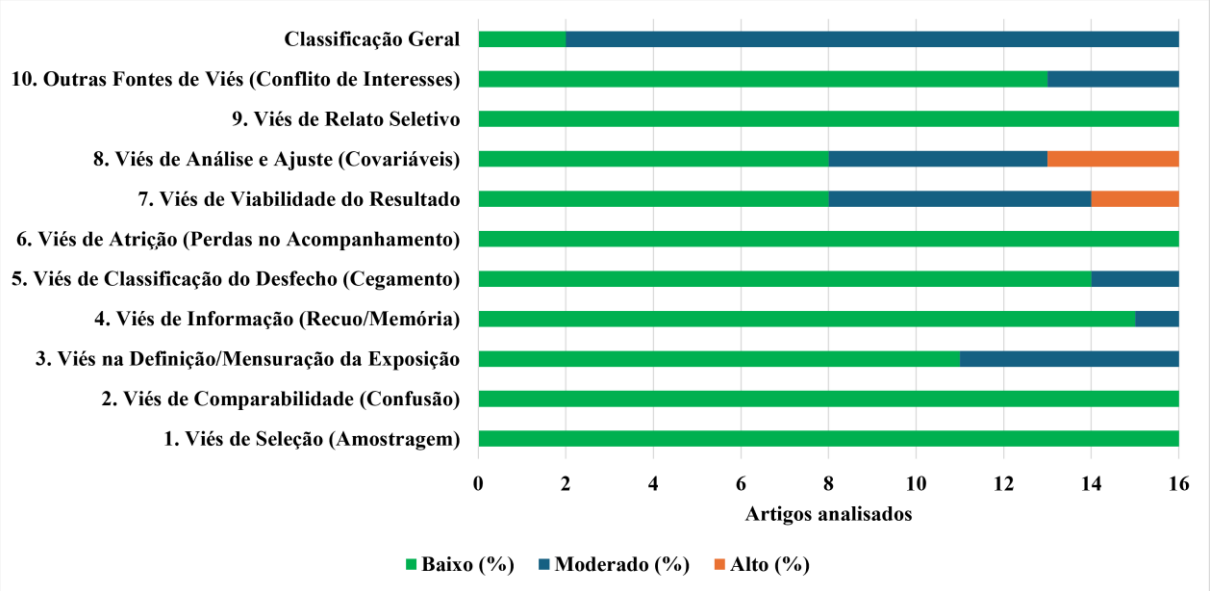


Figura 2. Análise do risco de viés dos artigos incluídos na revisão sistemática sobre os efeitos do enriquecimento ambiental no aprendizado e cognição em frangos de corte e galinhas, de acordo com a ferramenta SYRCLE RoB Tool (Systematic Review Centre for Laboratory Animal Experimentation).

A maioria dos estudos incluídos na revisão foram conduzidos com galinhas poedeiras (n = 11), enquanto um número menor utilizou frangos de corte (n = 5).

Os estudos selecionados para a revisão foram publicados entre os anos de 2006 e 2026, onde a maior parte dos trabalhos foram realizadas no continente Europeu (50,0%), sendo seguido pela América (25%), Ásia (12,5%) e Oceania (12,5%) (Figura 3).

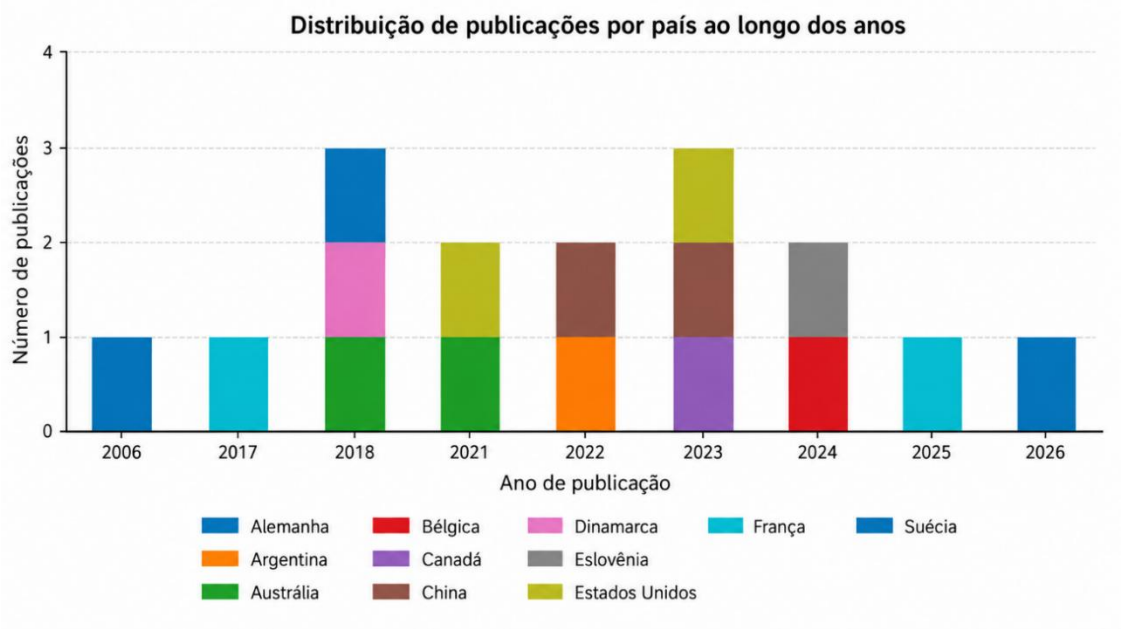


Figura 3. Distribuição de publicações de acordo com o país e o ano.

Os trabalhos analisados focaram principalmente em enriquecimentos físicos e estruturais que permitiam às aves acessarem áreas externas ao aviário. Além disso, incluíram enriquecimentos sensoriais e nutricionais, variando em complexidade, diversidade e quantidade de estímulos oferecidos (Tabela 5).

Tabela 5. Tipos de enriquecimentos ambientais utilizados nos estudos.

Tipo de enriquecimento	n	%
Físico estrutural	12	75,0
Sensorial	1	6,25
Nutricional	1	6,25
Físico + nutricional	1	6,25
Físico + sensorial + nutricional	1	6,25

Os estudos que avaliaram enriquecimento ambiental por meio de acesso à área externa foram conduzidos por Krause et al. (2006), Ferreira et al. (2020) e Campbell et al. (2018).

Entre os enriquecimentos físicos, os objetos mais utilizados nos estudos foram plataformas e poleiros, avaliados em seis estudos (Zidar et al., 2018; Tahamtani et al., 2018; Campbell et al., 2021; Anderson et al., 2021; Nazar et al., 2022; Rentsch et al., 2023)

Observou-se que sete dos 16 estudos incluídos utilizaram múltiplos tipos de enriquecimento ambiental, combinando diferentes materiais e estímulos, como estruturas físicas, objetos manipuláveis, substratos e recursos nutricionais (Zidar et al., 2018; Tahamtani et al., 2018; Anderson et al., 2021; Campbell et al., 2021; Nazar et al., 2022; Yan et al., 2022; Guinebretière et al., 2025).

Os estímulos sensoriais foram pouco explorados nos estudos incluídos, aparecendo em apenas duas (12,5%) das pesquisas e, em geral, associados a enriquecimentos físicos ou nutricionais.

O enriquecimento nutricional foi identificado em três dos 16 estudos incluídos, sendo aplicado de forma isolada em apenas um trabalho que utilizou tenébrios e larva de mosca-soldado-negro (Vanden Hole et al., 2024), os demais estudos avaliaram o enriquecimento nutricional combinado a outros tipos de enriquecimento, foram utilizadas bolas plásticas de petisco com aveia, repolho pendurado, mistura de grãos espalhada na cama (Lourenço-Silva et al., 2023), além de grãos e larvas espalhados para forrageamento (Van Poucke et al., 2026).

O teste de labirinto e o teste de campo aberto foram os métodos mais utilizados para avaliação cognitiva (Krause et al., 2006; Ferreira et al., 2020; Campbell et al., 2018; Campbell et al., 2021; Yan et al., 2022; Rentsch et al., 2023; Zhao et al., 2023 e Van Poucke et al., 2026), seguido pelo teste de viés de julgamento (JBT) (Zidar et al., 2018; Anderson et al., 2021 e Lourenço-Silva et al., 2023). Os demais testes apareceram com menor frequência, indicando maior diversidade metodológica, porém sem padronização entre os estudos (Ferreira et al., 2020; Tahamtani et al., 2018; Nazar et al., 2022; Zhao et al., 2023; Vanden Hole et al., 2024; Šemrov et al., 2024; Guinebretière et al., 2025 e Van Poucke et al., 2026.) (Figura 4).

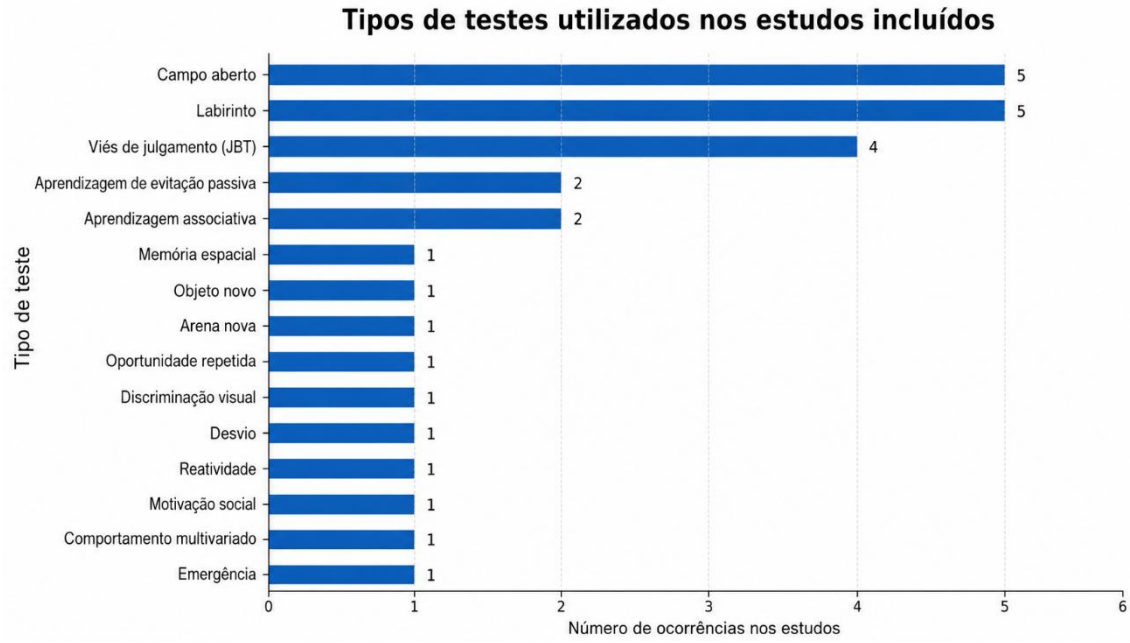


Figura 4. Frequência dos tipos de testes utilizados nos estudos.

De modo geral, os estudos demonstraram que o enriquecimento ambiental pode influenciar positivamente a cognição e o aprendizado em aves, especialmente quando envolve aumento da complexidade ambiental e oportunidades de exploração.

DISCUSSÃO

Os trabalhos incluídos nesta revisão apresentam considerável heterogeneidade metodológica, refletida na variedade de linhagens, idades, sistemas de enriquecimento e testes utilizados. Enquanto tarefas de labirinto e discriminação visual avaliam principalmente aprendizagem e memória espacial, protocolos como campo aberto, objeto novo e viés cognitivo abordam aspectos relacionados ao perfil emocional e aos estados afetivos das aves. Além disso, diferenças morfofisiológicas e comportamentais entre poedeiras e frangos podem influenciar o desempenho motor e exploratório durante os testes. Dessa forma, a interpretação do impacto do enriquecimento ambiental sobre o desenvolvimento cognitivo das aves deve considerar conjuntamente a complexidade dos estímulos oferecidos, o período de exposição, a fase de desenvolvimento e a adequação dos métodos ao modelo animal utilizado.

Essa diversidade de respostas pode estar relacionada à própria forma como os estímulos ambientais atuam sobre o sistema nervoso. O enriquecimento ambiental pode favorecer a ativação neuronal, a sinalização e a plasticidade em diferentes áreas

cerebrais. O aumento da estimulação sensorial, por meio de estímulos somatossensoriais e visuais, promove maior ativação das regiões envolvidas no processamento dessas informações. Da mesma forma, demandas cognitivas relacionadas à codificação de mapas espaciais, ao reconhecimento de objetos, à novidade e à atenção podem estimular o hipocampo e outras regiões cerebrais. Além disso, a maior atividade motora decorrente de movimentos exploratórios naturais pode estimular áreas como o córtex motor e o cerebelo (Nithianantharajah; Hannan, 2006). Assim, a exposição a ambientes mais complexos pode favorecer adaptações estruturais e funcionais no sistema nervoso, ampliando a capacidade do animal de processar informações, aprender e responder de forma adaptativa aos estímulos ambientais.

Considerando essas diferentes formas de estimulação, os enriquecimentos ambientais do tipo físico ou estrutural foram os mais frequentemente utilizados entre os estudos selecionados. Esses recursos foram disponibilizados de diferentes maneiras, incluindo acesso à área externa, plataformas, poleiros, abrigos, painéis, fardos, substratos manipuláveis e objetos exploratórios (Krause et al., 2006; Campbell et al., 2018; Tahamtani et al., 2018; Zidar et al., 2018; Anderson et al., 2021; Campbell et al., 2021; Nazar et al., 2022; Yan et al., 2022; Lourenço-Silva et al., 2023; Rentsch et al., 2023; Šemrov et al., 2024; Guinebretière et al., 2025).

A predominância desse tipo de enriquecimento pode estar relacionada, entre outros fatores, à sua facilidade de implementação tanto em condições experimentais quanto comerciais. Estruturas físicas permitem modificar diretamente a complexidade do ambiente, ampliando as oportunidades de exploração, locomoção, forrageamento, descanso e utilização do espaço. Além disso, esses recursos geralmente atendem aos critérios propostos por Van de Weerd e Day (2009) para um enriquecimento bem-sucedido, que incluem promover comportamentos específicos da espécie, manter ou melhorar a saúde, assegurar a viabilidade econômica do sistema de produção e apresentar praticidade de uso. Dessa maneira, poleiros, plataformas, substratos manipuláveis, áreas externas, fardos e objetos de exploração constituem alternativas amplamente empregadas por favorecerem a expressão de comportamentos naturais e apresentarem relativa facilidade de implementação em diferentes condições de criação.

Além dos benefícios comportamentais, essas características tornam os enriquecimentos físicos particularmente relevantes nos estudos voltados à cognição,

aprendizagem e orientação espacial. Ao ampliar a variedade de estímulos e as possibilidades de interação com o ambiente, esses recursos podem favorecer o desenvolvimento de habilidades relacionadas à memória espacial, tomada de decisão e adaptação a situações novas. Estudos anteriores indicaram que ambientes mais complexos podem melhorar o desempenho em testes de aprendizagem e orientação, além de reduzir respostas relacionadas ao medo e à neofobia e favorecer comportamentos associados ao conforto e ao bem-estar das aves (Gunnarsson et al., 2000; Krause et al., 2006; Vas et al., 2023).

Embora os enriquecimentos físicos tenham predominado, outros tipos de estímulos também foram utilizados com o objetivo de ampliar a interação das aves com o ambiente. Entre eles, destacam-se os enriquecimentos alimentares, caracterizados pela oferta de forragens, alfafa, petiscos ou alimentos capazes de estimular o comportamento de procura (Krause et al., 2006; Ferreira et al., 2020; Campbell et al., 2018; Tahamtani et al., 2018; Lourenço-Silva et al., 2023; Vanden Hole et al., 2024; Guinebretière et al., 2025; Van Poucke et al., 2026). Esse tipo de enriquecimento pode ser particularmente importante por estimular comportamentos naturais de forrageamento e exploração oral, além de aumentar a motivação das aves para interagir com o ambiente. Entretanto, em muitos trabalhos, os enriquecimentos alimentares foram utilizados simultaneamente a recursos físicos, dificultando a identificação isolada de seus efeitos.

Mesmo diante dessa dificuldade, alguns estudos demonstraram respostas específicas relacionadas à estimulação alimentar. Vanden Hole et al. (2024), por exemplo, observaram que aves que receberam larvas de mosca-soldado-negro como enriquecimento apresentaram vantagem inicial em um teste de discriminação visual. Os autores associaram esse resultado ao aumento do comportamento de forrageamento durante a criação, propondo que o fornecimento das larvas pode favorecer períodos de busca por alimento mais frequentes, ainda que mais curtos e eficazes. Esses achados reforçam que diferentes modalidades de enriquecimento podem atuar sobre componentes distintos do comportamento e da cognição.

Nesse contexto, os enriquecimentos sensoriais e sociais representam outras possibilidades de estimulação, embora tenham aparecido com menor frequência nos estudos selecionados em comparação aos enriquecimentos físicos/estruturais e alimentares. Os estímulos sensoriais, relatados principalmente por Campbell et al. (2018), Zidar et al. (2018) e Zhao et al. (2023), podem atuar sobre as respostas

emocionais, exploratórias e atencionais das aves. Contudo, seus efeitos tendem a apresentar maior variabilidade, uma vez que dependem da natureza, intensidade, duração e previsibilidade do estímulo. Os enriquecimentos sociais, por sua vez, foram pouco avaliados como intervenções isoladas, apesar da relevância da interação social para aves domésticas, que apresentam forte comportamento gregário. Assim, a menor representação dessas categorias na literatura pode estar relacionada tanto à dificuldade de padronização experimental quanto à complexidade de distinguir seus efeitos daqueles produzidos por outros componentes do ambiente.

Independentemente da categoria utilizada, o princípio comum aos diferentes enriquecimentos é o aumento das oportunidades de interação do animal com estímulos físicos, sensoriais, sociais e cognitivos. Essa maior diversidade de experiências intensifica o processamento de informações pelo sistema nervoso central e pode aprimorar a capacidade de adaptação às mudanças ambientais (Nithianantharajah e Hannan, 2006). Esses efeitos estão associados à neuroplasticidade dependente da experiência, definida como a capacidade do sistema nervoso de modificar sua estrutura e seu funcionamento em resposta aos estímulos recebidos (Baroncelli et al., 2010). A exploração ativa de ambientes complexos pode, portanto, estimular circuitos envolvidos na aprendizagem, memória e orientação espacial, especialmente aqueles associados ao hipocampo. Quando essas experiências ocorrem de maneira repetida, podem alterar a expressão gênica, a disponibilidade de fatores neurotróficos, como o BDNF, e a eficiência das conexões sinápticas, além de favorecer modificações na ramificação dendrítica, na densidade de espinhas e na organização dos circuitos neurais (Riber et al., 2018; Morandi-Raikova e Mayer, 2022).

Entretanto, a identificação desses possíveis efeitos cognitivos e emocionais depende diretamente dos métodos empregados para avaliá-los. Os estudos incluídos utilizaram diferentes testes comportamentais para investigar aprendizagem, memória, orientação espacial, estados afetivos, medo, neofobia e motivação social. Entre os procedimentos mais recorrentes, destacaram-se labirintos, tarefas de orientação espacial, testes de viés de julgamento, campo aberto, objeto novo, imobilidade tônica e testes de motivação social. Embora essa diversidade metodológica amplie a compreensão dos possíveis efeitos do enriquecimento ambiental, também dificulta comparações diretas entre os estudos, uma vez que cada teste avalia dimensões

comportamentais distintas e pode ser influenciado por fatores como idade, linhagem, motivação alimentar, medo e experiência prévia.

Nesse sentido, Sarter (2004) destaca que a diversidade metodológica constitui um aspecto importante na interpretação de estudos envolvendo cognição e aprendizagem. Apesar de diferentes testes comportamentais permitirem avaliar aprendizagem espacial, memória associativa, exploração, motivação social, medo e tomada de decisão, cada procedimento apresenta demandas específicas que podem influenciar o desempenho independentemente da capacidade cognitiva do indivíduo. Testes de labirinto e orientação espacial, por exemplo, dependem não apenas da aprendizagem, mas também da capacidade locomotora, da motivação exploratória e da familiaridade com o ambiente (Bushby et al., 2018).

Essa interferência de fatores não cognitivos também ocorre em outros protocolos. Os testes de viés de julgamento exigem que o animal aprenda previamente a discriminar estímulos, mantenha atenção durante a tarefa e permaneça motivado pela recompensa, além de poderem ser influenciados por medo, ansiedade e isolamento social (Mendl et al., 2009; Bethell, 2015; Lourenço-Silva et al., 2023). Da mesma forma, testes de campo aberto, emergência e resposta à novidade podem ser fortemente afetados pela neofobia, pelo medo e pela atividade locomotora das aves (Forkman et al., 2007). Fatores como idade, condição física, percepção sensorial, experiência anterior e estado emocional também podem modificar as respostas observadas. Dessa forma, diferenças entre estudos ou tratamentos não refletem necessariamente alterações diretas na capacidade cognitiva ou no aprendizado, podendo resultar da interação entre processos cognitivos, emocionais, motores e motivacionais.

Apesar dessas limitações, a escolha do teste determina quais componentes da resposta ao enriquecimento podem ser investigados. De maneira geral, testes de aprendizagem, orientação espacial e discriminação visual foram utilizados para avaliar processos relacionados à memória, associação de pistas, tomada de decisão e adaptação a novos ambientes. Estudos como os de Krause et al. (2006), Ferreira et al. (2020), Campbell et al. (2018), Lourenço-Silva et al. (2023), Vanden Hole et al. (2024) e Van Poucke et al. (2026) empregaram tarefas relacionadas à aprendizagem ou orientação, permitindo investigar se aves mantidas em ambientes mais complexos apresentavam diferenças em tarefas envolvendo localização de recursos, reconhecimento de pistas ou resolução de desafios.

Esses testes apresentam relação particularmente estreita com enriquecimentos físicos ou estruturais, uma vez que ambientes mais complexos ampliam as oportunidades de exploração, locomoção e utilização do espaço. Como consequência, aves criadas nesses ambientes podem apresentar maior familiaridade com diferentes estímulos e contextos, o que pode contribuir para o desempenho em tarefas espaciais e associativas. Krause et al. (2006), por exemplo, observaram aprendizagem aprimorada em aves com acesso à área externa, enquanto Campbell et al. (2018) verificaram que aves criadas em ambientes internos necessitaram de mais tempo para atingir o critério de aprendizagem. Estudos mais recentes, como os de Vanden Hole et al. (2024) e Van Poucke et al. (2026), também destacaram a importância dos estímulos ambientais e alimentares na modulação das respostas exploratórias e cognitivas.

Entretanto, o desempenho observado em uma tarefa cognitiva também pode depender da maneira como a ave reage emocionalmente ao contexto experimental. Por essa razão, além dos testes de aprendizagem, diferentes estudos empregaram avaliações relacionadas ao medo, à neofobia e à exploração, incluindo campo aberto, emergência, resposta a objetos novos e exposição a ambientes desconhecidos. Essas avaliações são relevantes porque o desempenho cognitivo não depende apenas da capacidade de aprender, mas também da motivação exploratória e da reatividade emocional ao ambiente. Aves mais medrosas ou ansiosas, por exemplo, podem apresentar maior latência para se aproximar dos estímulos, explorar o equipamento experimental ou responder às pistas apresentadas. Estudos como Ferreira et al. (2020), Campbell et al. (2018), Zidar et al. (2018), Tahamtani et al. (2018), Anderson et al. (2021), Nazar et al. (2022), Lourenço-Silva et al. (2023), Rentsch et al. (2023), Zhao et al. (2023), Šemrov et al. (2024) e Guinebretière et al. (2025) contribuíram para essa discussão ao avaliarem respostas comportamentais relacionadas à exploração, medo, utilização do espaço ou interação com estímulos ambientais.

A relação entre cognição e estado emocional torna-se ainda mais evidente nos testes de viés de julgamento, utilizados especificamente para investigar como os estados afetivos influenciam a interpretação de estímulos ambíguos. Esses protocolos partem do princípio de que animais em estados afetivos mais positivos tendem a responder de maneira mais “otimista” às pistas ambíguas, enquanto estados mais negativos podem estar associados a respostas mais pessimistas. Estudos como Zidar et al. (2018), Campbell et al. (2021), Yan et al. (2022), Lourenço-Silva et al. (2023),

Rentsch et al. (2023), Šemrov et al. (2024) e Guinebretière et al. (2025) contribuíram para a utilização dessa abordagem em aves ao avaliarem respostas afetivas, tomada de decisão e interpretação de estímulos ambíguos.

Além das diferenças relacionadas aos métodos de avaliação, as características das próprias aves também constituem uma importante fonte de variação entre os estudos. Em galinhas poedeiras, um dos fatores que se destacam é a linhagem genética. Rentsch et al. (2023), por exemplo, identificaram diferenças entre linhagens de poedeiras, com aves brancas apresentando respostas mais rápidas em tarefas de aprendizagem quando comparadas às aves marrons. Entretanto, os autores não observaram interação consistente entre genótipo e ambiente, sugerindo que as respostas ao enriquecimento não dependem exclusivamente da linhagem, mas podem ser moduladas também por fatores como lote, idade, experiência prévia e metodologia utilizada.

Além da linhagem, o período da vida em que as aves tiveram acesso ao enriquecimento também se mostrou variável entre os estudos e pode contribuir para explicar as diferenças observadas. A idade no início da exposição e a duração do contato com os estímulos são fatores relevantes nesse contexto. Krause et al. (2006), por exemplo, forneceram acesso à área externa a galinhas poedeiras Lohmann LSL por apenas sete dias antes dos testes e, mesmo após esse curto período, observaram maior exploração e maior velocidade de aprendizagem no labirinto em Y. Entretanto, os autores destacaram que essa breve exposição não produziu efeitos sustentados sobre a memória, sugerindo que alterações cognitivas mais duradouras podem depender de períodos mais prolongados ou de maior intensidade de estimulação.

A importância do momento da exposição também pode ser observada quando o enriquecimento é introduzido nas fases iniciais do desenvolvimento (Yan, 2020). Campbell et al. (2018), por exemplo, analisaram os efeitos da exposição precoce, entre 4 e 21 dias de idade, de galinhas poedeiras ISA Brown a um ambiente novo, mutável e imprevisível, sugerindo que experiências iniciais podem influenciar respostas posteriores a desafios ambientais e cognitivos.

Assim, os estudos realizados com galinhas poedeiras demonstram que os efeitos do enriquecimento não dependem apenas da presença ou ausência dos estímulos, mas também das características genéticas das aves e do momento e duração da exposição. Esses aspectos tornam-se particularmente importantes ao

interpretar diferenças de aprendizagem, exploração e respostas emocionais entre linhagens e condições experimentais.

Nos frangos de corte, além desses fatores, as características relacionadas ao rápido desenvolvimento corporal assumem maior importância na interpretação das respostas cognitivas. Essa questão torna-se especialmente evidente nos testes de viés de julgamento, que apresentam maior complexidade metodológica em comparação a outros testes comportamentais, pois requerem aprendizagem prévia consistente, motivação para responder às pistas, baixa interferência do medo e capacidade locomotora adequada (Mendl et al., 2009; Whittaker e Barker, 2020; Neuhauser et al., 2023; Lourenço-Silva et al., 2023). Essas exigências podem dificultar sua aplicação em aves de produção, especialmente em frangos de corte de crescimento rápido, devido ao curto ciclo produtivo, ao rápido ganho de peso e à redução da atividade locomotora ao longo da idade, fatores que podem limitar a interação com o aparato experimental (Anderson et al., 2021; Van der Sluis et al., 2022). Portanto, a ausência de efeitos significativos em determinados estudos deve ser interpretada considerando não apenas o enriquecimento utilizado, mas também a sensibilidade do protocolo, a idade das aves, o período de exposição e a intensidade dos estímulos oferecidos.

A influência dessas características torna-se ainda mais relevante ao comparar linhagens selecionadas para diferentes ritmos de crescimento. Aves de crescimento rápido tendem a apresentar maior ganho de peso, redução da atividade locomotora e maior predisposição a limitações físicas com o avanço da idade, condições que podem diminuir a interação com os enriquecimentos e interferir no desempenho em testes que exigem deslocamento, exploração ou aproximação dos estímulos (Riber; Wurtz, 2024). Em contrapartida, frangos de crescimento lento geralmente apresentam maior atividade comportamental e maiores oportunidades de interação com o ambiente, o que pode favorecer respostas exploratórias e a manifestação do comportamento durante testes cognitivos (Nicol et al., 2024).

As diferenças observadas entre os estudos incluídos nesta revisão ilustram essa relação entre características genéticas, condições ambientais e metodologia. Tahamtani et al. (2018), ao avaliarem frangos de crescimento rápido da linhagem Ross 308, observaram que o aumento da complexidade ambiental pode reduzir o medo e favorecer a aprendizagem, indicando que mesmo linhagens selecionadas para rápido crescimento podem responder positivamente às modificações ambientais

quando os recursos favorecem atividade e exploração. Por outro lado, Lourenço-Silva et al. (2023), trabalhando com frangos de crescimento lento, utilizaram um teste de viés de julgamento realizado em pares sociais e obtiveram bom desempenho de aprendizagem, com 83% das aves treinadas com sucesso em 13 dias. Esse resultado reforça que, além das características da linhagem, adaptações metodológicas compatíveis com o comportamento social da espécie podem favorecer a participação dos indivíduos em testes cognitivos.

Além das diferenças comportamentais, as próprias características corporais resultantes da seleção podem modificar a expressão do desempenho cognitivo. Nas linhagens de crescimento rápido, o elevado peso corporal e o maior custo metabólico da locomoção podem reduzir a atividade exploratória e dificultar a realização de testes que exigem deslocamento (Tickle et al., 2018). Em contraste, aves de crescimento lento geralmente demonstram maior mobilidade e exploração, favorecendo a interação com estímulos e a expressão das informações aprendidas, embora isso não signifique necessariamente maior capacidade cognitiva (Ulans et al., 2024). Por outro lado, aves altamente produtivas podem apresentar maior motivação alimentar em decorrência das elevadas demandas metabólicas, aspecto que pode favorecer o desempenho em tarefas baseadas em recompensas alimentares (Dudde et al., 2018). Assim, os efeitos atribuídos à linhagem dependem também do tipo de teste, da idade, do peso corporal, da capacidade locomotora, da reatividade emocional e do valor motivacional da recompensa utilizada.

A idade também interfere de forma importante na expressão dessas respostas. Ferreira et al. (2020) destacaram que frangos avaliados entre 21 e 24 dias podem apresentar forte dependência da coesão social, influenciando a motivação social, a exploração e o uso de pistas espaciais. Além disso, Guinebretière et al. (2025) observaram que a intensidade e a frequência de utilização dos enriquecimentos variaram ao longo da criação, indicando que diferentes recursos podem se tornar mais ou menos atrativos conforme o desenvolvimento físico e comportamental das aves.

Com o avanço da idade e o acúmulo de experiências, outros fatores passam a interferir na manifestação das respostas cognitivas. Algumas aves podem apresentar maior eficiência na discriminação de estímulos, na retenção de associações aprendidas e na transferência dessas associações para novos contextos, embora esse processo não ocorra de maneira uniforme ou linear (Goodmuth et al.,

2026). Em frangos de crescimento rápido, entretanto, o aumento progressivo do peso corporal e a redução da capacidade locomotora podem diminuir a atividade exploratória, aumentar as latências e limitar a aproximação aos estímulos ou às recompensas, mesmo quando a motivação permanece elevada (Weeks et al., 2000; Kestin et al., 2001; Bokkers e Koene, 2003, 2004).

Dessa forma, nos frangos de corte, a interpretação do desempenho em testes cognitivos deve considerar conjuntamente o ritmo de crescimento, a idade, a condição corporal, a capacidade locomotora e as características do protocolo utilizado. Esses fatores podem modificar tanto a interação das aves com o enriquecimento quanto sua participação nas tarefas experimentais, dificultando a atribuição das diferenças observadas exclusivamente à capacidade cognitiva.

Embora algumas particularidades sejam mais evidentes em poedeiras ou frangos de corte, outros fatores influenciam ambas as categorias e ajudam a explicar a variabilidade observada entre os estudos. Ulans et al. (2024) observaram que respostas relacionadas à ansiedade em frangos de corte foram influenciadas pela linhagem, pelo peso corporal e pela complexidade ambiental, enquanto de Haas et al. (2017) demonstraram, em poedeiras, que diferenças individuais relacionadas ao medo e à personalidade podem afetar a aprendizagem e o julgamento. Dessa maneira, características genéticas, ritmo de crescimento, medo, ansiedade, personalidade e condição física constituem fatores capazes de contribuir para a variabilidade observada entre estudos realizados com poedeiras, frangos de crescimento lento e frangos de crescimento rápido.

Parte dessas diferenças comportamentais pode estar associada aos efeitos da seleção genética sobre mecanismos neurais e neuroendócrinos. A linhagem genética e o grau de seleção produtiva podem influenciar o aprendizado e a cognição por meio de alterações no desenvolvimento cerebral, na atividade do sistema neuroendócrino, na motivação e na resposta ao estresse. Diferenças entre linhagens foram identificadas na estrutura do hipotálamo e nas concentrações cerebrais de neurotransmissores e minerais relacionados ao funcionamento neural, potencialmente influenciando a atenção, a motivação por recompensas e as respostas comportamentais (Kasperek et al., 2023). Além disso, linhagens mais medrosas podem apresentar maior ativação dos circuitos envolvidos na resposta ao estresse, diminuindo a exploração, a atenção às pistas e a flexibilidade comportamental durante as tarefas (Haas et al., 2017). Consequentemente, maiores latências ou menor

participação nos testes não devem ser interpretadas automaticamente como menor capacidade de aprendizagem, uma vez que também podem refletir diferenças genéticas na reatividade ao medo, à novidade ou ao isolamento social (Peixoto et al., 2020).

Da mesma forma, o período e a duração da exposição ao enriquecimento devem ser considerados na interpretação das respostas encontradas. Do ponto de vista fisiológico, diferenças entre respostas imediatas e duradouras podem estar relacionadas à dinâmica da plasticidade neural. Estímulos ambientais de curta duração podem promover respostas transitórias, como aumento da atenção, da exploração e da atividade sináptica, sem necessariamente serem suficientes para consolidar alterações estruturais e moleculares persistentes (Barros et al., 2019; Han et al., 2022). A formação da memória de longo prazo envolve ativação repetida dos circuitos neurais, síntese proteica e manutenção de fatores neurotróficos, como o BDNF, que participam da potencialização de longa duração, da formação e estabilização de sinapses e da remodelação das espinhas dendríticas (Martin et al., 2000; McGaugh, 2000; Dudai, 2004; Malenka e Bear, 2004; Han et al., 2022; Khalil, 2024). Além disso, evidências provenientes principalmente de modelos mamíferos demonstraram que, embora o enriquecimento ambiental possa favorecer a neurogênese hipocampal e a sobrevivência de novos neurônios, essas células necessitam de um período prolongado para amadurecer e integrar-se funcionalmente aos circuitos relacionados à aprendizagem e à memória (Kempermann et al., 2004; Kempermann, 2019). Assim, exposições breves podem produzir alterações funcionais imediatas, porém insuficientes para promover a reorganização neural necessária à manutenção dos benefícios cognitivos após a retirada dos estímulos.

A influência do período de exposição está ainda relacionada à fase de desenvolvimento em que os estímulos são oferecidos. Nas primeiras semanas após a eclosão, o sistema nervoso apresenta elevada plasticidade, com intensa reorganização sináptica e remodelamento das espinhas dendríticas, tornando o cérebro particularmente responsivo aos estímulos ambientais e também suscetível ao estresse (Yan et al., 2022; Tamta et al., 2024). Mudanças ambientais nesse período podem produzir alterações duradouras nas vias hipocampais relacionadas ao crescimento neural e à plasticidade sináptica, embora essas modificações nem sempre se traduzam imediatamente em diferenças comportamentais detectáveis (Yan et al., 2022; Kumar et al., 2024).

Diante disso, a idade, assim como a linhagem e o tipo de teste empregado, deve ser considerada na interpretação dos efeitos do enriquecimento ambiental sobre a cognição. Maiores latências, ausência de resposta ou menor participação nas tarefas não deve ser interpretadas isoladamente como déficits cognitivos, pois fatores como motivação, medo, atenção, condição física e capacidade locomotora também influenciam o desempenho comportamental (Bethell, 2015; Rowe e Healy, 2014). Além disso, experiências vivenciadas tanto nas fases iniciais quanto posteriores da vida podem modificar a expressão gênica e as vias hipocampais relacionadas ao desenvolvimento neural, à aprendizagem e à plasticidade neuronal (Yan et al., 2022).

Nesse sentido, os resultados encontrados na literatura indicam que os efeitos do enriquecimento ambiental sobre a cognição e os estados afetivos das aves resultam da interação entre características do próprio enriquecimento, duração e momento da exposição, características genéticas e fisiológicas das aves e sensibilidade dos métodos utilizados para mensurar essas respostas.

Lacunas e perspectivas futuras

Apesar dos avanços recentes, ainda há importantes lacunas no entendimento dos efeitos do enriquecimento ambiental na cognição e nos estados afetivos de aves de produção. A diversidade metodológica entre os estudos com diferentes linhagens, idades, testes cognitivos, tempos de exposição e tipos de enriquecimento dificulta a comparação direta dos resultados. Além disso, muitos estudos utilizaram combinações de enriquecimentos, o que impede a identificação dos elementos específicos que causam os efeitos observados. Assim, futuras pesquisas devem buscar maior padronização experimental, avaliar individualmente os diferentes tipos de enriquecimento e investigar o tempo mínimo de exposição necessário para gerar mudanças cognitivas e comportamentais consistentes.

Mais estudos são necessários com frangos de corte de crescimento rápido, especialmente em condições próximas às comerciais, considerando o ciclo produtivo curto e possíveis limitações locomotoras que podem afetar a interação com os enriquecimentos. Pesquisas futuras também devem quantificar o uso real dos recursos pelas aves, combinar testes comportamentais com marcadores fisiológicos e neurobiológicos, e explorar mais amplamente enriquecimentos sensoriais, sociais e alimentares, que ainda aparecem pouco na literatura.

Além disso, é fundamental investigar como o enriquecimento ambiental interage com estratégias nutricionais funcionais, como probióticos, prebióticos, simbióticos, ácidos orgânicos, fitogênicos ou outros aditivos que possam modular a microbiota intestinal e a resposta ao estresse. Embora esses aditivos sejam frequentemente estudados por seus efeitos no desempenho, saúde intestinal e imunidade, há poucos estudos que avaliem sua influência no comportamento, cognição, aprendizado, estados afetivos e bem-estar emocional das aves. Considerando a possível ligação do eixo intestino-cérebro, pesquisas futuras devem verificar se a modulação da microbiota pode impactar respostas de medo, ansiedade, exploração, motivação social, aprendizado e julgamento, além de explorar se esses aditivos podem potencializar os efeitos positivos do ambiente complexo.

Por fim, a avaliação da viabilidade prática, econômica e sanitária dos enriquecimentos e aditivos é crucial para garantir que os resultados do ambiente experimental possam ser efetivamente aplicados na produção avícola.

CONCLUSÃO

A complexidade do ambiente tem impacto majoritariamente benéfico sobre a cognição e o aprendizado em aves de produção. A análise dos 16 estudos incluídos indica que sistemas com maior diversidade de estímulos, sobretudo aqueles que oferecem acesso a áreas externas e enriquecimentos estruturais, como poleiros e plataformas, favorecem o desempenho em tarefas espaciais, aceleram o aprendizado associativo e contribuem para a diminuição de comportamentos relacionados ao medo.

Em conclusão, a implementação de sistemas de criação mais complexos não deve ser vista apenas como uma medida de bem-estar, mas como uma estratégia de manejo. Aves com capacidades cognitivas aprimoradas exploram melhor os recursos disponíveis, apresentam menor incidência de comportamentos indesejáveis e lidam de forma mais eficiente com os desafios dos sistemas de produção modernos. Recomenda-se que pesquisas futuras busquem padronizar protocolos de avaliação cognitiva e investigar o impacto direto dessas alterações cognitivas na produtividade e na sustentabilidade econômica do setor avícola.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, M. G. et al. Environmental complexity positively impacts affective states of broiler chickens. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 16966, 2021. https://doi.org/10.1038/s41598-021-95280-4.

BACH, M. H. et al. Effects of environmental complexity on behaviour in fast-growing broiler chickens. Applied Animal Behaviour Science, v. 219, p. 104840, 2019. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.104840.

BARROS, W. et al. Can the effects of environmental enrichment modulate BDNF expression in hippocampal plasticity? A systematic review of animal studies. **Synapse**, v. 73, n. 8, p. e22103, 2019. https://doi.org/10.1002/syn.22103.

BARONCELLI, L. et al. Nurturing brain plasticity: impact of environmental enrichment. Cell Death & Differentiation, v. 17, n. 7, p. 1092-1103, 2010. https://doi.org/10.1038/cdd.2009.193.

BETHELL, E. J. A "how-to" guide for designing judgment bias studies to assess captive animal welfare. **Journal of Applied Animal Welfare Science**, v. 18, n. sup1, p. S18-S42, 2015. https://doi.org/10.1080/10888705.2015.1075833.

BOKKERS, E. A. M; KOENE, P. Behaviour of fast-and slow growing broilers to 12 weeks of age and the physical consequences. **Applied animal behaviour science**, v. 81, n. 1, p. 59-72, 2003. https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00251-4.

BOKKERS, E. A. M; KOENE, P. Motivation and ability to walk for a food reward in fast- and slow-growing broilers to 12 weeks of age. **Behavioural Processes**, v. 67, n. 2, p. 121-130, 2004. https://doi.org/10.1016/j.beproc.2004.03.015.

BROOM, D. M. Cognitive ability and awareness in domestic animals and decisions about obligations to animals. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 126, n. 1-2, p. 1-11, 2010. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2010.05.001.

BUSHBY, E. V. et al. Factors influencing individual variation in farm animal cognition and how to account for these statistically. **Frontiers in veterinary science**, v. 5, p. 193, 2018. https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00193.

CAMPBELL, D. L. M. et al. Spatial cognition and range use in free-range laying hens. **Animals**, v. 8, n. 2, p. 26, 2018. https://doi.org/10.3390/ani8020026.

CAMPBELL, D. L .M. et al. Rearing enrichments differentially modified hen personality traits and reduced prediction of range use. **Animal Behaviour**, v. 179, p. 97-109, 2021. https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2021.06.024.

DE HOUWER, J. et al. What is learning? On the nature and merits of a functional definition of learning. **Psychonomic bulletin & review**, v. 20, n. 4, p. 631-642, 2013. https://doi.org/10.3758/s13423-013-0386-3.

DUDAI, Y The neurobiology of consolidations, or, how stable is the engram?. **Annu. Rev. Psychol.**, v. 55, n. 1, p. 51-86, 2004. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.142050

DUDDE, A. et al. More than eggs–relationship between productivity and learning in laying hens. **Frontiers in Psychology**, v. 9, p. 2000, 2018. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02000.

DUKAS, R. Evolutionary biology of animal cognition. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, v. 35, n. 1, p. 347-374, 2004. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130152.

FERREIRA, V. H. B. et al. Social motivation and the use of distal, but not local, featural cues are related to ranging behavior in free-range chickens (Gallus gallus domesticus). **Animal Cognition**, v. 23, n. 4, p. 769-780, 2020. https://doi.org/10.1007/s10071-020-01389-w.

FORKMAN, B. et al. A critical review of fear tests used on cattle, pigs, sheep, poultry and horses. **Physiology & Behavior**, v. 92, n. 3, p. 340-374, 2007. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.03.016.

GOODMUTH, M. M. et al. Learned associations are retained over extended periods and memory performance is influenced by social rank and age in chickens (Gallus gallus domesticus). **Journal of Ethology**, v. 44, n. 1, p. 27-34, 2026. https://doi.org/10.1007/s10164-025-00861-9.

GUINEBRETIÈRE, M. et al. Structuring and enriching the rearing environment in conventional broiler chicken production: effects on behavioral indicators, emotional states, and cecal microbiota composition. **Poultry Science**, p. 105663, 2025. https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105663.

GUNNARSSON, S. et al. Rearing without early access to perches impairs the spatial skills of laying hens. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 67, n. 3, p. 217-228, 2000. https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00125-2.

HAAS, E. N. et al. Learning and judgment can be affected by predisposed fearfulness in laying hens. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 4, p. 113, 2017. https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00113.

HAN, Y. et al. The role of enriched environment in neural development and repair. **Frontiers in cellular neuroscience**, v. 16, p. 890666, 2022. https://doi.org/10.3389/fncel.2022.890666.

HOOIJMANS, C. R. et al. SYRCLE's risk of bias tool for animal studies. **BMC Medical Research Methodology**, v. 14, p. 43, 2014. https://doi.org/10.1186/1471-2288-14-43.

JACOBS, L. et al. Enhancing their quality of life: environmental enrichment for poultry. **Poultry science**, v. 102, n. 1, p. 102233, 2023. https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102233.

KASPEREK, K. et al. Investigation of structural and neurobiochemical differences in brains from high-performance and native hen breeds. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 224, 2023. https://doi.org/10.1038/s41598-023-27517-3.

KHALIL, M. H. Environmental enrichment: A systematic review on the effect of a changing spatial complexity on hippocampal neurogenesis and plasticity in rodents, with considerations for translation to urban and built environments for humans. **Frontiers in neuroscience**, v. 18, p. 1368411, 2024. https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1368411.

KEMPERMANN, G. et al. Milestones of neuronal development in the adult hippocampus. **Trends in Neurosciences**, v. 27, n. 8, p. 447-452, 2004. https://doi.org/10.1016/j.tins.2004.05.013.

KEMPERMANN, G. Environmental enrichment, new neurons and the neurobiology of individuality. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 20, n. 4, p. 235-245, 2019. https://doi.org/10.1038/s41583-019-0120-x.

KESTIN, S. C. et al. Relationships in broiler chickens between lameness, liveweight, growth rate and age. **Veterinary Record**, v. 148, n. 7, p. 195-197, 2001. https://doi.org/10.1136/vr.148.7.195.

KRAUSE, E. T. et al. The effects of short term enrichment on learning in chickens from a laying strain (Gallus gallus domesticus). **Applied Animal Behaviour Science**, v. 101, n. 3-4, p. 318-327, 2006. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.02.005.

KUMAR, A et al. Investigating the impact of nutritional insufficiency on parahippocampal neurons in domestic chickens, Gallus gallus domesticus. **Journal of Chemical Neuroanatomy**, v. 137, p. 102401, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2024.102401.

LOURENÇO-SILVA, M. I. et al. Social-pair judgment bias testing in slow-growing broiler chickens raised in low-or high-complexity environments. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 9393, 2023. https://doi.org/10.1038/s41598-023-36275-1.

MALENKA, R. C.; BEAR, M F. LTP and LTD: an embarrassment of riches. **Neuron**, v. 44, n. 1, p. 5-21, 2004. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.09.012.

MARTIN, S. J. Synaptic plasticity and memory: an evaluation of the hypothesis. **Annual review of neuroscience**, v. 23, n. 1, p. 649-711, 2000. https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.23.1.649.

MCGAUGH, J. L. Memory--a century of consolidation. **Science**, v. 287, n. 5451, p. 248-251, 2000. https://doi.org/10.1126/science.287.5451.248.

MEEHAN, C. L.; MENCH, J. A. The challenge of challenge: can problem solving opportunities enhance animal welfare?. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 102, n. 3-4, p. 246-261, 2007. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.05.031.

MENDL, M. et al. Cognitive bias as an indicator of animal emotion and welfare: Emerging evidence and underlying mechanisms. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 118, n. 3-4, p. 161-181, 2009. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.02.023.

MORANDI-RAIKOVA, A; MAYER, U. Active exploration of an environment drives the activation of the hippocampus–amygdala complex of domestic chicks. **Journal of Experimental Biology**, v. 225, n. 15, p. jeb244190, 2022. https://doi.org/10.1242/jeb.244190.

NAZAR, F. N. et al. Increasing environmental complexity by providing different types of litter and perches during early rearing boosts coping abilities in domestic fowl chicks. **Animals**, v. 12, n. 15, p. 1969, 2022. https://doi.org/10.3390/ani12151969.

NEUHAUSER, J. et al. Training for a cognitive judgement bias task does not affect fear or telomere shortening in laying hens. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 265, p. 105996, 2023. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.105996.

NEWBERRY, R. C. Environmental enrichment: Increasing the biological relevance of captive environments. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 44, n. 2-4, p. 229-243, 1995. https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)00616-Z.

NICOL, C. J. **The behavioural biology of chickens**. Cabi, 2015.

NICOL, C. J; ABEYESINGHE, S. M; CHANG, Y. An analysis of the welfare of fast-growing and slower-growing strains of broiler chicken. **Frontiers in Animal Science**, v. 5, p. 1374609, 2024. https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1374609.

NITHIANANTHARAJAH, J; HANNAN, A J. Enriched environments, experience-dependent plasticity and disorders of the nervous system. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 7, n. 9, p. 697-709, 2006. https://doi.org/10.1038/nrn1970.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **bmj**, v. 372, 2021. https://doi.org/10.1136/bmj.n71.

PATZKE, N. et al. Consequences of different housing conditions on brain morphology in laying hens. **Journal of Chemical Neuroanatomy**, v. 37, n. 3, p. 141-148, 2009. https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2008.12.005.

PEIXOTO, M. R. L. V et al. Effects of maternal stress on measures of anxiety and fearfulness in different strains of laying hens. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 7, p. 128, 2020. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00128.

RENTSCH, A. K. et al. Rearing laying hens: Environmental complexity and genetic strain affect pullet but not chick performance in a T-maze learning task. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 265, p. 105997, 2023. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.105997.

RIBER, A. B. et al. Review of environmental enrichment for broiler chickens. **Poultry science**, v. 97, n. 2, p. 378-396, 2018. https://doi.org/10.3382/ps/pex344.

RIBER, A. B.; WURTZ, K. E. Impact of growth rate on the welfare of broilers. **Animals**, v. 14, n. 22, p. 3330, 2024. https://doi.org/10.3390/ani14223330.

ROWE, C; HEALY, S. D. Measuring variation in cognition. **Behavioral Ecology**, v. 25, n. 6, p. 1287-1292, 2014. https://doi.org/10.1093/beheco/aru090.

SARTER, M. Animal cognition: defining the issues. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 28, n. 7, p. 645-650, 2004. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2004.09.005.

ŠEMROV, M. Z. et al. Assessment of positive experiences using associative learning in chickens. **Poultry Science**, v. 103, n. 12, p. 104282, 2024. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104282.

SON, J. et al. Effect of providing environmental enrichment into aviary house on the welfare of laying hens. **Animals**, v. 12, n. 9, p. 1165, 2022. https://doi.org/10.3390/ani12091165.

TAHAMTANI, F. M. et al. Effects of environmental complexity on fearfulness and learning ability in fast growing broiler chickens. **Applied animal behaviour science**, v. 207, p. 49-56, 2018. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.04.005.

TAMTA, K. et al. Neuronal plasticity in hippocampal neurons due to chronic mild stress and after stress removal in postnatal chicks. Journal of Anatomy, v. 244, n. 5, p. 831-860, 2024. https://doi.org/10.1111/joa.13997.

TICKLE, P. G. et al.whi Energy allocation and behaviour in the growing broiler chicken. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 4562, 2018. https://doi.org/10.1038/s41598-018-22604-2.

ULANS, A; BROOKS, G. C.; JACOBS, L. Environmental complexity impacts anxiety in broiler chickens depending on genetic strain and body weight. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 17535, 2024. https://doi.org/10.1038/s41598-024-67965-z.

VAN DE WEERD, H. A.; DAY, J. E. L. A review of environmental enrichment for pigs housed in intensive housing systems. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 116, n. 1, p. 1-20, 2009. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.08.001.

VAN DER SLUIS, M. et al. Early locomotor activity in broilers and the relationship with body weight gain. **Poultry science**, v. 101, n. 10, p. 102086, 2022. https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102086.

VAN POUCKE, E. et al. Enhancing Welfare in Commercially Hatched Chicks Through Naturalistic Environmental Enrichment. **Applied Animal Behaviour Science**, p. 106934, 2026. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2026.106934.

VANDEN HOLE, C. et al. The impact of early-life conditions on visual discrimination abilities in free-ranging laying hens. **Poultry science**, v. 103, n. 11, p. 104236, 2024. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104236.

VAS, J et al. Better welfare for broiler chickens given more types of environmental enrichments and more space to enjoy them. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 261, p. 105901, 2023. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.105901.

WEEKS, C. A. et al. The behaviour of broiler chickens and its modification by lameness. **Applied animal behaviour science**, v. 67, n. 1-2, p. 111-125, 2000. https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00102-1.

WHITTAKER, A. L.; BARKER, T. H. A consideration of the role of biology and test design as confounding factors in judgement bias tests. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 232, p. 105126, 2020. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105126.

YAN, C. Adaptive response to a future life challenge: Consequences of early-life environmental complexity in dual-purpose chicks. **Journal of Animal Science**, v. 98, n. 11, p. skaa348, 2020. https://doi.org/10.1093/jas/skaa348.

YAN, C. et al. Learning Ability and Hippocampal Transcriptome Responses to Early and Later Life Environmental Complexities in Dual-Purpose Chicks. **Animals**, v. 12, n. 5, p. 668, 2022. https://doi.org/10.3390/ani12050668.

ZHAO, S. et al. Effects of different auditory environments on behavior, learning ability, and fearfulness in 4-week-old laying hen chicks. **Animals**, v. 13, n. 19, p. 3022, 2023. https://doi.org/10.3390/ani13193022.

ZIDAR, J. et al. Environmental complexity buffers against stress-induced negative judgement bias in female chickens. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 5404, 2018. https://doi.org/10.1038/s41598-018-23545-6.

CAPÍTULO 2- COMPLEXIDADE AMBIENTAL E USO DE PROBIÓTICOS SOBRE RESPOSTAS COGNITIVAS E FISIOLÓGICAS DE FRANGOS DE CORTE DE CRESCIMENTO RÁPIDO

RESUMO- A influência da complexidade ambiental associada ao uso de melhoradores de desempenho sobre os estados afetivos de frangos de corte de crescimento rápido ainda é pouco conhecida. Objetivou-se avaliar os efeitos da complexidade ambiental, dos aditivos melhoradores de desempenho e da interação entre esses fatores sobre os estados afetivos, a neuroplasticidade e o estresse crônico de frangos de corte. Foram alojados 960 pintinhos machos Ross TM4®, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 × 2, constituído por dois níveis de complexidade ambiental e dois tipos de aditivos. A alta complexidade ambiental incluiu recursos como plataforma, bolas metálicas e sacos com fenos, bolas coloridas, espelhos, correntes e fitas metálicas, enquanto a baixa complexidade correspondeu às condições convencionais de criação. As dietas continham antibiótico promotor de crescimento ou probiótico. Os estados afetivos foram avaliados pelo teste de viés de julgamento (JBT), a neuroplasticidade pelos níveis hipocampais do fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) e o estresse crônico pela concentração de corticosterona nas penas. Para o JBT, 62 aves foram treinadas em pares para discriminar pistas associadas à recompensa e à ausência de recompensa e, posteriormente, avaliadas diante de pistas ambíguas. Ao final do treinamento, 46,77% das aves (29/62) atingiram o critério de aprendizagem. Não houve efeito dos tratamentos sobre a latência de aproximação às pistas ambíguas ($p = 0,913$), nem interação entre tratamento e tipo de pista ($p = 0,151$). Entretanto, houve efeito do tipo de pista ($p < 0,0001$), com menores latências para a pista recompensada e para a pista ambígua mais próxima desta. Os níveis de BDNF não foram influenciados pela complexidade ambiental ($p = 0,696$), pelo tipo de aditivo ($p = 0,475$) ou pela interação entre esses fatores ($p = 0,888$). Da mesma forma, não houve efeito da complexidade ambiental ($p = 0,956$), do aditivo ($p = 0,723$) ou da interação ($p = 0,538$) sobre as concentrações de corticosterona nas penas. Conclui-se que, nas condições avaliadas, a complexidade ambiental, o tipo de aditivo melhorador de desempenho e a interação entre esses fatores não modificaram os estados afetivos, os níveis hipocampais de BDNF ou as concentrações de corticosterona nas penas de frangos de corte de crescimento rápido. Apesar desses resultados, o protocolo de teste de viés de julgamento permitiu a discriminação entre os estímulos, e o treinamento em pares

mostrou-se uma estratégia metodologicamente viável para sua aplicação em frangos de corte.

Palavras-chave: Aditivos nutricionais, Bem-estar animal, Enriquecimento ambiental, Viés de julgamento.

CHAPTER 2 – ENVIRONMENTAL COMPLEXITY AND PROBIOTIC USE ON COGNITIVE AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF FAST-GROWING BROILER CHICKENS

ABSTRACT- The influence of environmental complexity combined with the use of growth-promoting additives on the affective states of fast-growing broiler chickens is still poorly understood. This study aimed to evaluate the effects of environmental complexity, growth-promoting additives, and the interaction between these factors on affective states, neuroplasticity, and chronic stress in broiler chickens. A total of 960 one-day-old male Ross TM4® broiler chicks were housed in a completely randomized 2 × 2 factorial design, consisting of two levels of environmental complexity and two types of dietary additives. High environmental complexity was characterized by the provision of different enrichment resources, including platforms, metal balls, hay-filled bags, colored balls, mirrors, chains, and metallic ribbons, whereas low environmental complexity corresponded to conventional rearing conditions. The experimental diets contained either an antibiotic growth promoter or a probiotic. Affective states were assessed using a Judgment Bias Test (JBT), neuroplasticity was evaluated through hippocampal brain-derived neurotrophic factor (BDNF) levels, and chronic stress was assessed by feather corticosterone concentrations. For the JBT, 62 birds were trained in pairs to discriminate between cues associated with reward and absence of reward and were subsequently tested with ambiguous cues. At the end of training, 46.77% of the birds (29/62) met the learning criterion. There was no effect of treatment on approach latency to ambiguous cues ($p = 0.913$), nor was there an interaction between treatment and cue type ($p = 0.151$). However, cue type significantly affected approach latency ($p < 0.0001$), with shorter latencies observed for the rewarded cue and for the ambiguous cue closest to it. BDNF levels were not affected by environmental complexity ($p = 0.696$), additive type ($p = 0.475$), or the interaction between these factors ($p = 0.888$). Likewise, feather corticosterone concentrations

were not influenced by environmental complexity (p = 0.956), additive type (p = 0.723), or their interaction (p = 0.538). It was concluded that, under the conditions evaluated, environmental complexity, the type of growth-promoting additive, and the interaction between these factors did not alter affective states, hippocampal BDNF levels, or feather corticosterone concentrations in fast-growing broiler chickens.

Keywords: Animal welfare, Environmental complexity, Judgment bias, Nutritional additives.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a intensificação dos sistemas de produção avícola tem contribuído para atender à crescente demanda por proteína animal, mas também ampliou as discussões sobre seus impactos no bem-estar das aves (Mottet e Tempio, 2017). Nesse contexto, a ciência do bem-estar animal considera não apenas aspectos físicos, mas também os estados mentais decorrentes das condições de nutrição, ambiente, saúde e comportamento, conforme proposto pelo modelo dos Cinco Domínios (Mellor, 2016). Assim, práticas de manejo que reduzam experiências negativas e favoreçam comportamentos naturais são fundamentais para melhorar a qualidade de vida dos animais (Koknaroglu e Akunal, 2013).

Entre os componentes relacionados ao bem-estar, os estados afetivos têm recebido atenção por influenciarem a forma como os animais percebem e respondem ao ambiente. Esses estados podem apresentar valência positiva ou negativa e interferir em processos cognitivos, como aprendizagem, memória e tomada de decisão. Animais em estados afetivos mais positivos tendem a interpretar estímulos ambíguos de maneira mais otimista, enquanto estados negativos podem favorecer respostas mais pessimistas, fenômeno conhecido como viés cognitivo (Bethell, 2015). Essa relação constitui a base dos testes de viés de julgamento (*Judgment Bias Test* – JBT), utilizados para investigar estados afetivos por meio das respostas dos animais a estímulos previamente associados a consequências positivas ou negativas (Harding et al., 2004; Mendl et al., 2009).

Em sistemas intensivos de produção de frangos de corte, a baixa diversidade de estímulos ambientais pode limitar oportunidades de exploração e expressão de comportamentos naturais. Nesse sentido, o enriquecimento ambiental tem sido utilizado para aumentar a complexidade do ambiente e promover maior atividade e

engajamento comportamental (Newberry, 1995; Tahamtani et al., 2018; Bach et al., 2019). Além dos efeitos comportamentais, ambientes mais complexos podem influenciar funções cognitivas e estruturas cerebrais relacionadas à aprendizagem e à memória, como o hipocampo (Patzke et al., 2009). Consequentemente, essas alterações também podem se refletir nos estados afetivos das aves e em suas respostas a estímulos ambíguos (Anderson et al., 2021).

Paralelamente às estratégias relacionadas ao ambiente de criação, a indústria avícola tem buscado alternativas aos antibióticos promotores de crescimento, principalmente em razão das preocupações relacionadas à resistência antimicrobiana (Yang et al., 2025). Entre essas alternativas, os probióticos têm sido amplamente estudados por seus efeitos sobre o equilíbrio da microbiota intestinal, digestão, resposta imunológica e desempenho produtivo (Yang et al., 2009; Yosi e Metzler-Zebeli, 2023). Além disso, a microbiota intestinal participa da comunicação bidirecional entre intestino e cérebro, denominada eixo intestino–cérebro, podendo influenciar funções neurais e comportamentais por meio de mecanismos imunológicos, metabólicos e neuroendócrinos (Rhee et al., 2009; Carabotti et al., 2015). Dessa forma, a modulação da microbiota por meio de probióticos pode representar uma estratégia adicional para influenciar o bem-estar e os estados afetivos das aves.

Apesar desses avanços, ainda são limitadas as informações sobre os efeitos combinados da complexidade ambiental e de estratégias nutricionais sobre os estados afetivos, a neuroplasticidade e o estresse crônico de frangos de corte. A maioria dos estudos avalia essas abordagens de forma isolada, sendo reduzido o conhecimento sobre possíveis interações entre fatores ambientais e nutricionais. Assim, a hipótese do presente estudo foi de que a associação entre a maior complexidade ambiental e o uso de probióticos poderia favorecer estados afetivos mais positivos, aumentar indicadores relacionados à neuroplasticidade e reduzir o estresse crônico.

Diante disso, objetivou-se avaliar os efeitos da combinação entre aditivos melhoradores de desempenho e a complexidade ambiental sobre os estados afetivos e o bem-estar de frangos de corte de crescimento rápido, por meio do teste de viés de julgamento, dos níveis de BDNF hipocampal como indicador relacionado à neuroplasticidade e da corticosterona em penas como indicador de estresse crônico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no aviário experimental da Universidade Federal da Grande Dourados. Os procedimentos experimentais foram aprovados e seguiram as diretrizes estabelecidas pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da UFGD (número 38.2022/CEUA).

Aves, instalações e manejo

Um total de 960 pintinhos machos da linhagem Ross TM4®, com um dia de vida e peso médio de 39,26 ± 1,41 g foram adquiridos de um incubatório comercial localizado no município de Dourados -MS devidamente imunizados contra a doença de Marek por via *in ovo*.

As aves foram alojadas em um aviário experimental de 50 × 10 m, equipado com um sistema de ventilação de pressão negativa e contendo baias de 4,0 m², nas quais foram distribuídas 30 aves cada, e densidade e alojamento de 7,5 aves/ m^2. Cada compartimento possuía um bebedouro tipo pêndulo, um comedouro tubular e cama de maravalha.

O aquecimento inicial foi realizado com uma campânula e lâmpada infravermelhas de 250 W por baia. A temperatura do ambiente e o plano de iluminação seguiram as recomendações do manual de manejo da linhagem de frangos de corte (Aviagen, 2018). No primeiro dia, a temperatura do galpão foi ajustada para 30 °C, sendo reduzida cerca de 1,0 °C a cada três dias, conforme as diretrizes de manejo. O cronograma de iluminação era intermitente, com intensidade de 22 lúmens por m², e foi ajustado conforme a idade das aves, iniciando com 24 horas de luz no primeiro dia e reduzindo gradualmente o fotoperíodo ao longo dos primeiros 15 dias, a partir dessa idade, foi estabelecido um fotoperíodo de 16 horas de luz e 8 horas de escuro.

As dietas experimentais foram fornecidas *ad libitum* e formuladas conforme as fases de produção — pré-inicial, inicial, crescimento e final — para atender às necessidades nutricionais (Rostagno et al., 2017), sendo isonutritivas. As demais práticas de manejo seguiram as recomendações do manual da linhagem Ross.

Delineamento experimental e tratamentos

O estudo foi conduzido usando um delineamento inteiramente casualizado em um esquema fatorial 2X2. Os fatores considerados foram o tipo de aditivo na ração

(antibiótico ou probiótico) e a presença de complexidade ambiental (alta e baixa) (Figura 1), resultando em quatro tratamentos, cada um com oito repetições.

Os tratamentos foram: ANE (antibiótico e baixa complexidade ambiental), com aves alimentadas com ração contendo melhorador de desempenho à base de antibiótico (0,05%), com baixa complexidade ambiental; AEE (antibiótico com alta complexidade ambiental), com aves alimentadas com dietas contendo antibiótico (0,05%) e alta complexidade ambiental; PNE (probiótico e baixa complexidade ambiental), aves com dietas contendo probióticos (200 g/ton) com baixa complexidade ambiental; e PEE (probiótico e alta complexidade ambiental), dietas com probióticos (200 g/ton) e alta complexidade ambiental.

As rações experimentais (Tabela 1) foram formuladas para atender às exigências nutricionais para frangos de corte propostas por Rostagno et al. (2017), sendo isonutritivas entre os tratamentos. As dietas foram fornecidas *ad libitum* em um programa de alimentação de quatro fases: pré-inicial (1 a 7 dias), inicial (8 a 21 dias), crescimento (22 a 35 dias) e final (36 a 42 dias).

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	46,26	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 bicálcico	2,331	2,132	1,821	1,471
Calcário	0,762	0,721	0,557	0,424
Sal	0,489	0,473	0,449	0,42
DL-Metionina	0,351	0,327	0,286	0,228
L-Lisina	0,105	0,224	0,178	0,217
L-Treonina	0,06	0,058	0,064	0,058
Cloreto de colina	0,08	0,08	0,08	0,08
Premix vitamínico[1]	0,03	0,025	0,016	0,015
Premix mineral[2]	0,07	0,06	0,05	0,05
Porção Variável*	1,55	1,065	1,588	1,54
Atendimento das Exigências, %				
EM, kcal/kg	3.000	3.100	3.200	3.250
Proteína bruta	25,01	23,75	21,04	18,29
Cálcio	1,029	0,911	0,758	0,606
Fósforo disponível	0,553	0,525	0,458	0,383
Sódio	0,21	0,21	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

[1]Suplemento 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.

[2]Suplemento 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 areia como material inerte, substituído pelos aditivos experimentais (probiótico ou bacitracina de zinco) de acordo com as recomendações dos fabricantes.

Aditivos melhorador de desempenho e complexidade ambiental

O antimicrobiano utilizado como melhorador de desempenho foi a bacitracina de zinco na dosagem recomendada pelo fabricante (dosagem de 0,05%). O probiótico utilizado foi um *blend* comercial composto por cepas dos gêneros: *Bacillus subtilis*, *Bifidobacterium bifidum, Enterococcus faecium* e *Lactobacillus acidophilus* (dosagem de 0,02%).

A complexidade ambiental consistiu em uma combinação entre enriquecimentos permanentes e temporários. O enriquecimento permanente foi composto por uma rampa plástica construída com piso vazado (largura 29 cm, altura 25 cm e 150 cm de comprimento) (Figura 1). Seis enriquecimentos temporários foram rotacionados a cada 3 dias, sendo dois enriquecimentos em cada unidade experimental (box) por vez. Esses enriquecimentos eram divididos em três grupos, sendo o primeiro composto por fitas metálicas (cerca de 25 cm de comprimento) nas cores vermelha e dourado dispostos na altura dos olhos das aves em conjunto com dois espelhos retangulares (24 cm de altura x 18 cm de largura) fixados na lateral do box, na altura do campo de visão das aves (Figura 2).

O segundo grupo possuía em sua composição duas correntes de ferro (10 cm de comprimento) penduradas na altura das aves em conjunto com o feno de trigo fornecido em bolas de metal com aberturas e dispostos sobre o piso (Figura 3). Por fim, o terceiro grupo de enriquecimento temporário era composto por uma rede de malha preenchida com feno de trigo pendurada na altura dos animais em conjunto com bolas de plásticos coloridas (76 mm de diâmetro nas cores azul e vermelha) (Figura 4).

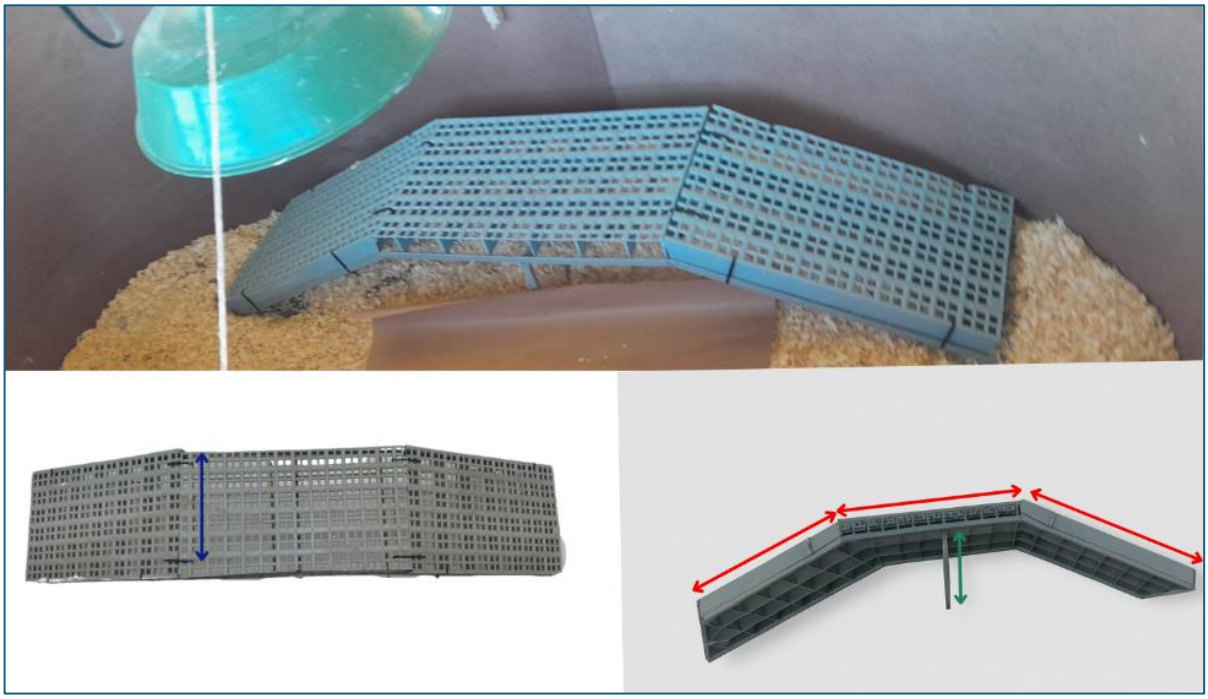


Figura 1. *Enriquecimento ambiental permanente utilizado nas unidades experimentais submetidas à alta complexidade ambiental. Dimensões da plataforma: 29 cm de largura (seta azul), 25 cm de altura (seta verde) e 150 cm de comprimento (setas vermelhas).*



Figura 2. *Grupo 1 de enriquecimentos temporários, composto por fitas metálicas (Figura A) e espelhos (Figura B), utilizados nas unidades experimentais submetidas a alta complexidade ambiental.*



Figura 3. Grupo 2 de enriquecimentos temporários utilizados nas unidades experimentais submetidas a alta complexidade ambiental, compostos por bola metálica preenchida com feno (figura A) e correntes penduradas (localizadas nas extremidades das setas azuis da imagem B).

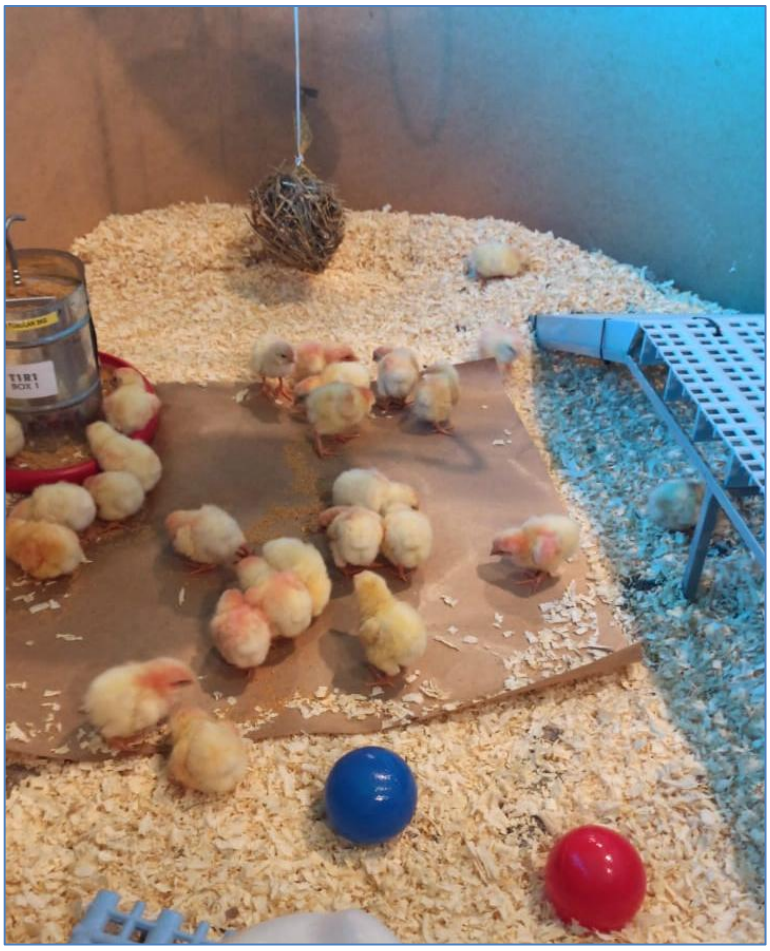


Figura 4. *Grupo 3 de enriquecimentos temporários utilizados nas unidades experimentais submetidas a alta complexidade ambiental, compostos por rede de malha preenchidas com feno de trigo em conjunto com bolas coloridas nas cores azul e vermelha.*

Arena de testes

Todos os procedimentos de treinamento e teste foram realizados em duas arenas confeccionadas de material compensado (91 cm de comprimento × 61 cm de largura), contendo piso de tapete de borracha amarela com ranhuras, duas barras de luz LED fixadas nas laterais da arena e uma área de espera (30 cm de comprimento × 61 cm de largura) com acesso à área de teste por uma porta do tipo guilhotina (Figura 5). Acima de cada arena, foi posicionada uma câmera de vídeo AHD (Maxcam®) conectada no DVR (Intelbras® MHDX 1008- C) para registrar e armazenar todos os procedimentos de julgamento durante a execução das análises. Todas as atividades foram realizadas entre 8h30min e 17h00min. Os procedimentos do teste de viés de julgamento, incluindo habituação, treinamento e teste, foram conduzidos ao longo de 21 dias. Desse período, dois dias foram destinados à habituação, conforme estabelecido no protocolo, e um dia adicional foi necessário para o boxe no qual

nenhuma das aves havia atingido o critério para avançar à fase de treinamento. As etapas de treinamento foram realizadas ao longo de 16 dias, enquanto os testes ocorreram em dois dias. Dessa forma, as aves foram avaliadas entre o terceiro e o 39º dia de idade.

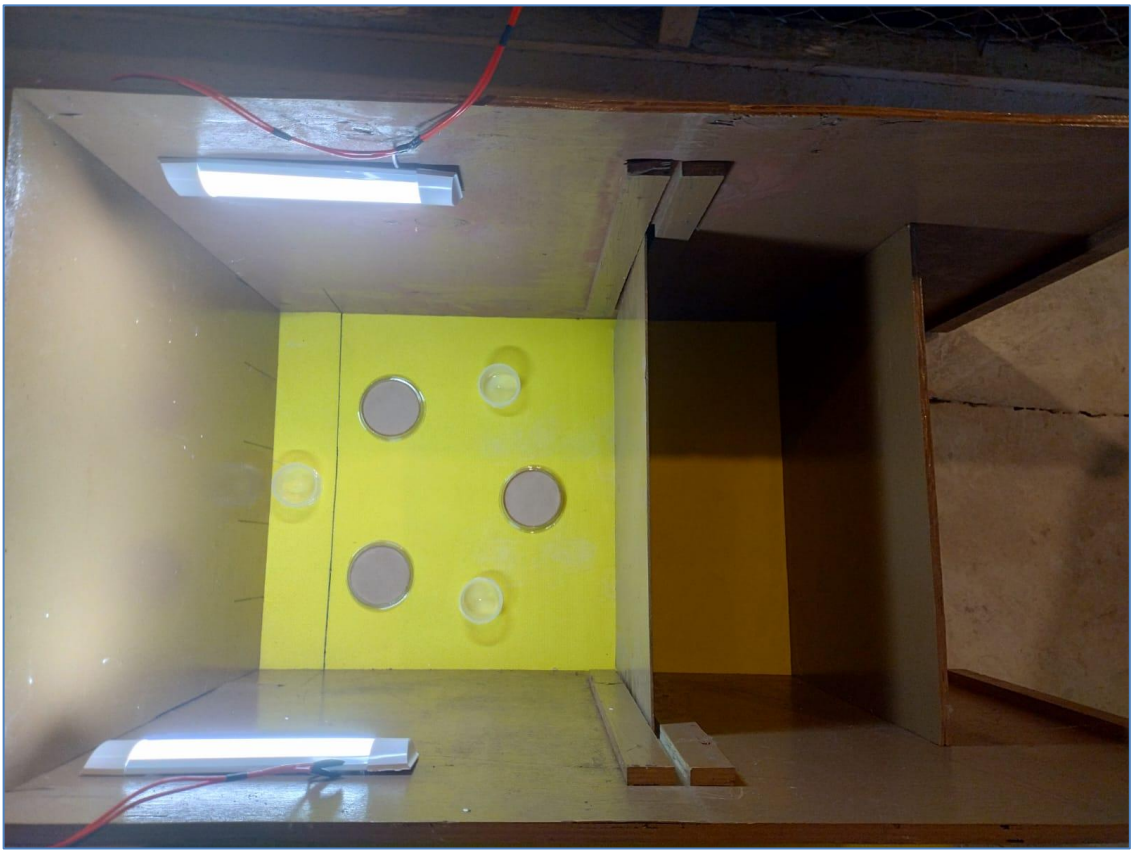


Figura 5. *Arena de testes utilizada pelas unidades experimentais durante os procedimentos do teste de viés de julgamento.*

Procedimentos do teste de viés de julgamento (JBT)

Os procedimentos e as etapas de habituação, treinamento e o teste de viés de julgamento foram adaptados da metodologia descrita por Lourenço-Silva et al. (2023).

Habituação

As aves foram submetidas a etapa de habituação aos 3º, 4º e 5º dia de idade. Nessa etapa, quatro aves por unidade experimental foram selecionadas aleatoriamente, identificadas com utilização de anilhas numeradas nas asas e marcadores de uso zootécnico (ZOOMARCPlus®) e habituadas juntas em quatro rodadas, sendo duas por dia de avaliação. Nas unidades experimentais onde

nenhuma das quatro aves atendesse ao critério da fase, essa etapa foi estendida por mais duas rodadas extras. A arena de habituação continha três comedouros de teste (recipientes plásticos com 86 mm de diâmetro e 10 mm de altura, revestidos com papel kraft) contendo tenébrios desidratados e três recipientes plásticos transparentes (43 mm de altura e 67 mm de diâmetro) vazios espalhados pela arena.

Na primeira e segunda rodada, as aves foram colocadas diretamente na arena com a porta de início fechada durante 5 minutos para se acostumarem ao ambiente e à recompensa. Nessas etapas, o observador deveria permanecer na linha de visão das aves. Nas terceiras e quartas rodadas, os frangos foram colocados na área de espera com a porta fechada. A porta era então aberta, permitindo que as aves se movessem livremente por 5 minutos, enquanto o observador permanecia na linha de visão das mesmas. As aves eram consideradas habituadas quando consumiram uma larva de tenébrio durante qualquer rodada de habituação. Após a habituação foram selecionadas duas aves que tiveram o melhor desempenho de cada unidade experimental.

Treinamento

A etapa de treinamento foi dividida em duas fases e foi realizado por 62 aves com idades entre 9 a 36 dias. Todas as etapas de treinamento foram realizadas com as aves em pares sociais, que permaneceram juntas durante as tentativas. As aves que foram aprovadas da fase de habituação foram treinadas em pares para associarem uma cor 100% preto ou branco e localização à direita ou esquerda contendo tenébrios desidratados como estímulo de recompensa. As cores e localizações com recompensas foram randomizadas e distribuídas entre os tratamentos.

Nessa etapa uma placa com papel colorido (12 cm de altura × 5,5 cm de largura aproximadamente) e um recipiente plástico (43 mm de altura e 67 mm de diâmetro) da mesma cor foram colocados sobre a parede da arena localizada atrás do recipiente, correspondente a cor sorteada, onde a placa e recipientes pretos sempre eram colocados à direita e os brancos sempre à esquerda. A cor e localização opostas representavam o estímulo neutro, que consistia em uma combinação semelhante de papel e recipiente sem a utilização de tenébrio como recompensa.

A primeira fase de treinamento foi subdividida em duas etapas, A e B, e foi condicionada à resposta. Dependendo do desempenho das aves no teste, elas foram

alocadas para a etapa B, ou fase de treinamento 2 (Figura 6). Nessa etapa de treinamento A, as aves foram treinadas a bicar uma pista positiva associada à recompensa alimentar. Cada rodada consistiu em seis tentativas de 30 segundos, nas quais as aves deveriam bicar o recipiente para acessar o tenébrio, após cada tentativa o observador pegava as aves com cuidado e as retornava para a área de espera para assim prosseguir com as próximas tentativas.

O observador poderia sacudir e inclinar o recipiente em caso de tentativas malsucedidas. O treinamento prosseguiu durante 17 rodadas ou até que ambas as aves do par apresentassem resposta positiva em 5 de 6 tentativas em uma única rodada, caracterizando a aprendizagem. As aves que não atingiram o desempenho mínimo inicial (bicar a recompensa pelo menos em 2 das 6 tentativas) foram direcionadas à fase 1B (modelagem comportamental).

A fase 1B foi realizada com as aves que falharam em bicar a pista positiva na etapa anterior. Nessa fase empregou-se um processo progressivo de modelagem do comportamento, incentivando a aproximação, orientação e bicada na pista por meio de técnicas como direcionamento visual, trilhas de alimento e reposicionamento do recipiente. O objetivo foi aumentar a probabilidade de resposta correta até que os frangos atingissem o critério mínimo de duas respostas corretas em seis tentativas, permitindo que voltassem à fase 1A. As aves que bicaram a recompensa em pelo menos 5 de 6 tentativas progrediram para o treinamento 2.

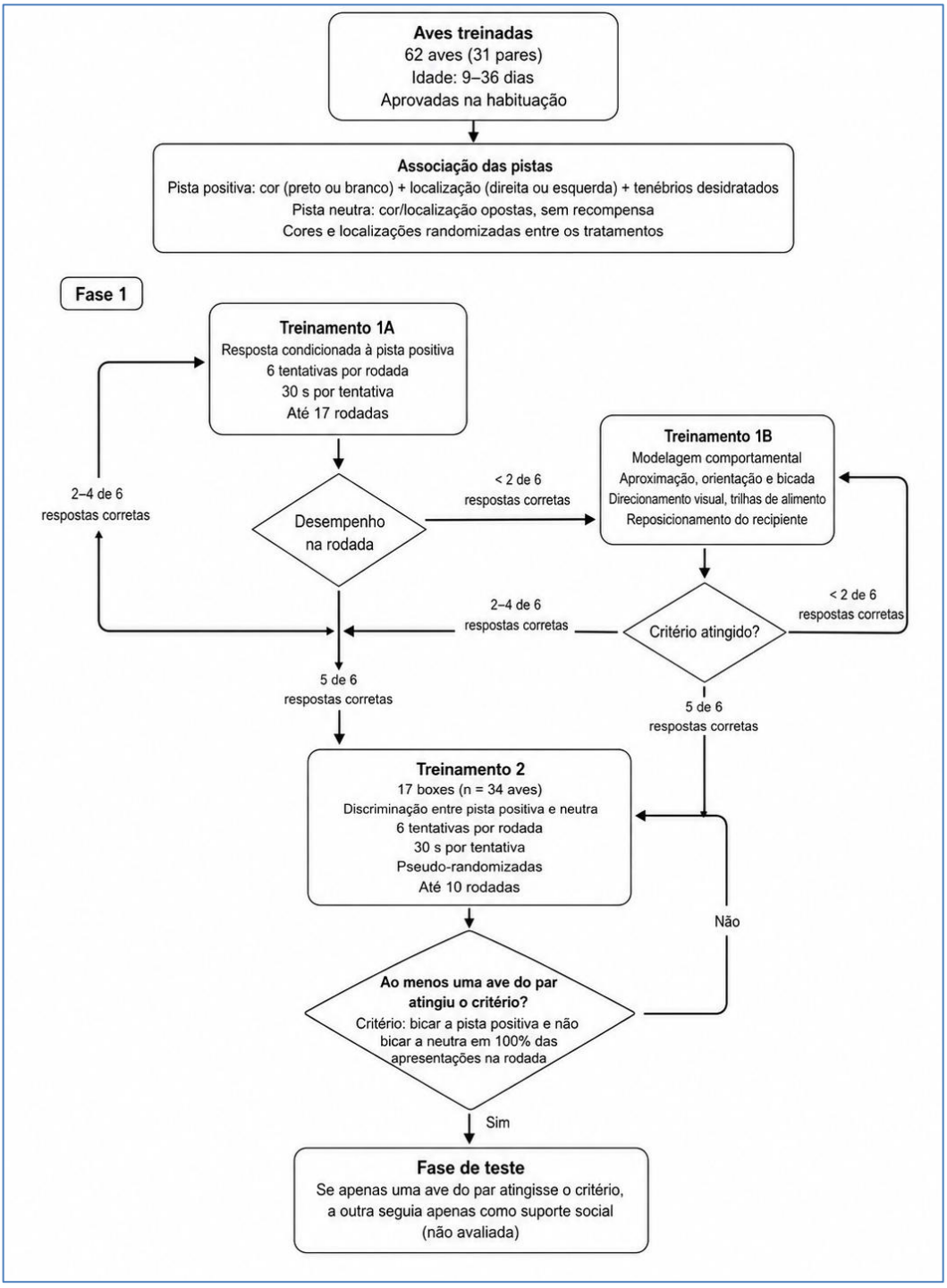


Figura 6. *Fluxograma das etapas de treinamento do teste de viés de julgamento, incluindo os critérios de aprendizagem e progressão entre as fases 1A, 1B e 2 em frangos de corte de crescimento rápido.*

A fase de treinamento 2 foi executada após as aves terem aprendido a bicar a pista positiva, essa fase foi realizada por aves de 17 unidades experimentais (n= 34 aves), nesta fase os frangos foram treinados a discriminar entre pista positiva (com recompensa) e neutra (sem recompensa). As tentativas foram pseudo-randomizadas

e mantidas em pares, com seis tentativas por rodada de 30 segundos de duração. Nessa fase, as aves tiveram até 10 rodadas para atingirem o critério de aprendizagem. O critério de aprendizagem foi a bicada correta na pista positiva e ausência de bicada na pista neutra em 100% das apresentações dentro de uma rodada. Essa fase foi realizada até que ao menos uma das aves atingisse o critério de aprendizado, a partir disso eram encaminhadas para a fase de teste. Caso apenas uma das aves atingisse o critério de aprendizado, a outra prosseguia para a fase de teste apenas como suporte social, ou seja, não era avaliada.

Fase de teste (viés de julgamento - JBT)

O teste de viés de julgamento tem como objetivo inferir os estados afetivos dos animais a partir da forma como interpretam e respondem a estímulos ambíguos. De modo geral, respostas de aproximação mais rápidas e maior propensão em responder às pistas ambíguas como se estivessem associadas a uma consequência favorável são interpretadas como indicativas de uma expectativa mais otimista, enquanto maior latência, hesitação ou menor resposta a esses estímulos podem indicar uma expectativa mais pessimista.

Nessa fase, as aves foram expostas à pista positiva, neutra, intermediária (50% preto) e às pistas ambíguas (75% preto, próxima à pista localizada à direita, e 25% preto, próxima à pista localizada à esquerda), conforme mostrado na Figura 7. A pista positiva correspondia ao estímulo previamente associado pelas aves à presença de recompensa alimentar, enquanto a pista neutra correspondia ao estímulo de cor e localização opostas, exibido sem recompensa. A pista intermediária configurava um estímulo de maior ambiguidade, uma vez que combinava características divididas de modo equilibrado entre os estímulos previamente aprendidos. Por sua vez, as pistas ambíguas de 25% e 75% apresentavam traços intermediários, mas semelhantes a uma das pistas previamente condicionadas, permitindo avaliar a resposta das aves diante de informações cuja consequência não havia sido previamente aprendida.

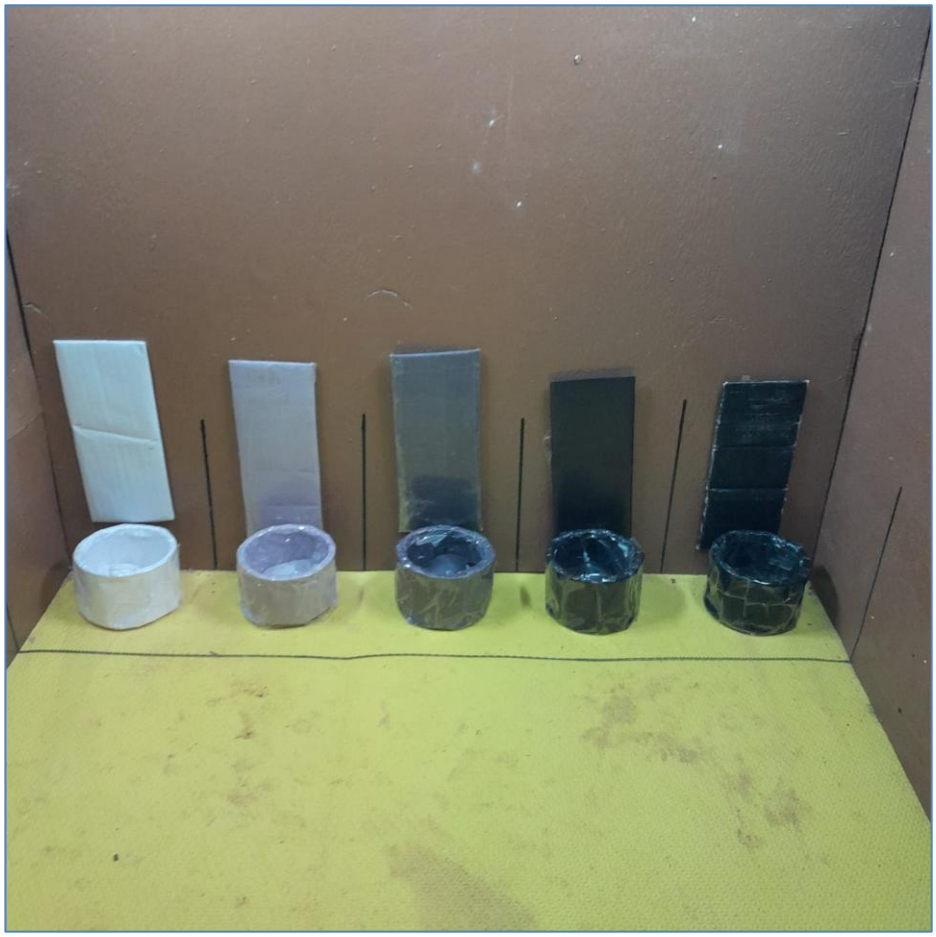


Figura 7. *Pistas ambíguas utilizadas durante a fase de teste de viés de julgamento (JBT). Pista 100% branca, pista 25% preta, pista 50% preta, pista 75% preta e pista 100% preta.*

A fase de teste foi realizada na 5ª semana de idade das aves (dias 38 e 39 de idade) em 17 unidades experimentais (N = 29 aves + 5 aves suporte) (Figura 08). Assim como nas etapas de treinamento, o teste foi conduzido com as aves em pares sociais, sendo a resposta de cada ave avaliada e registrada individualmente. Nos casos em que apenas uma ave do par havia atingido o critério de aprendizagem, a outra permaneceu durante o teste exclusivamente como suporte social, não sendo suas respostas consideradas nas análises.

Foram realizadas quatro rodadas em dois dias, iniciando e finalizando com a pista positiva para manter a motivação, sendo que a ordem das demais pistas foi randomizada. Cada rodada foi composta por 7 tentativas com duração de 1 minuto cada.

O observador registrou a latência e frequência para aproximação e decisão frente a cada estímulo, sendo a resposta às pistas ambíguas utilizada como indicador de viés de julgamento e estado afetivo das aves. Caso uma ou as duas aves não se

aproximassem de qualquer pista correspondente a cada tentativa era anotada a latência de 60 segundos.

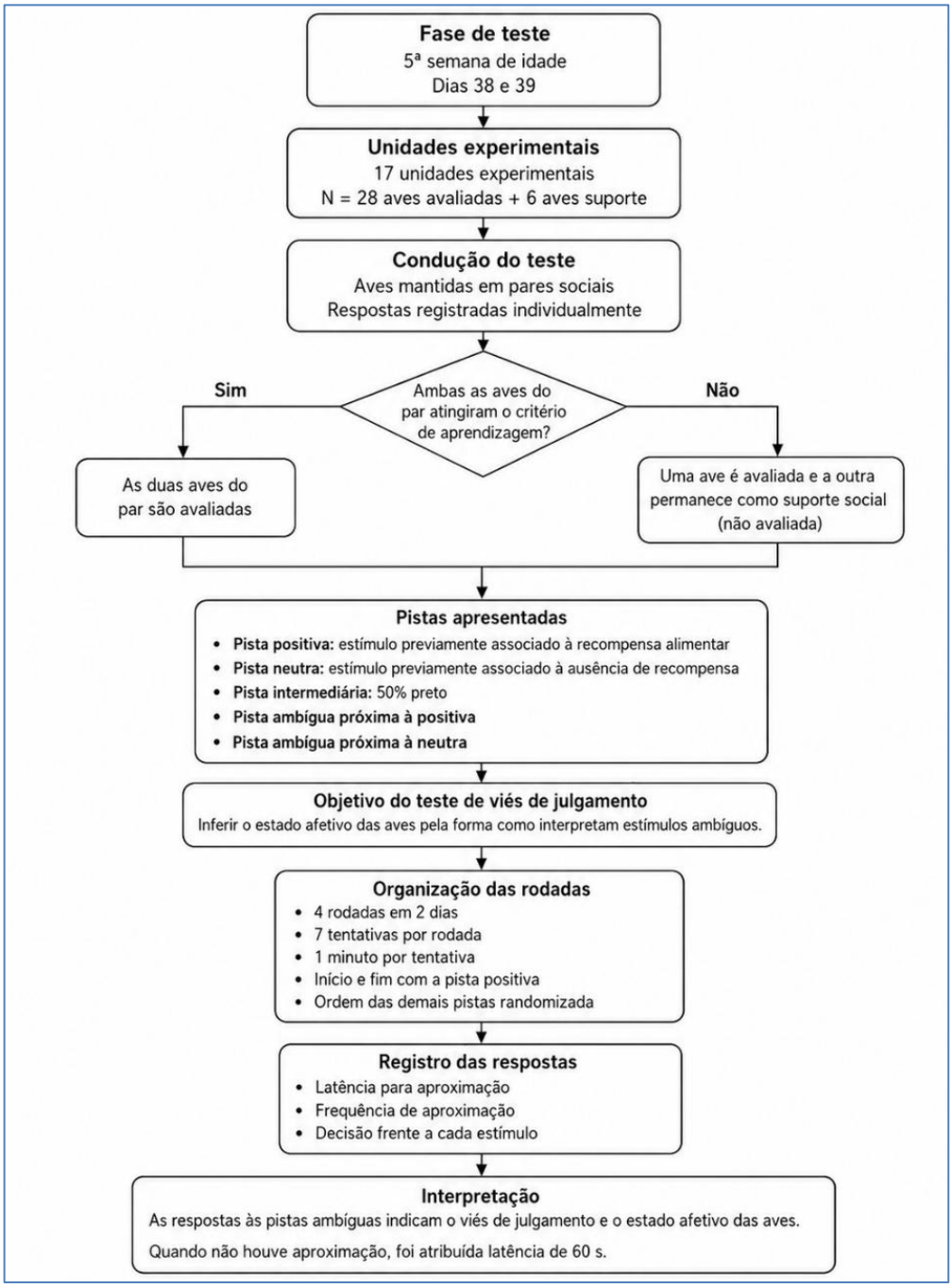


Figura 8. *Fluxograma da fase de teste de viés de julgamento em frangos de corte de crescimento rápido.*

Habilidade ao caminhar (fator de correção) pelo *Gait score*:

No 31º e 39º dia de vida das aves, um observador treinado avaliou *o gait score* de todas as aves submetidas ao teste. O objetivo era verificar se a capacidade de caminhar influenciava o desempenho durante o teste.

Para isso, foi utilizada uma escala de 6 escores, conforme descrito por Kestin et al. (1992): escore 0 (GS0), para as aves que não apresentavam nenhuma anormalidade ao caminhar; escore 1 (GS1), para aquelas que se moviam rapidamente, mas com leve dificuldade de locomoção; escore 2 (GS2), para as que também se moviam rápido, porém com dificuldade de locomoção mais evidente; escore 3 (GS3), para as aves que se movimentavam rápido, mas com uma dificuldade significativa na locomoção; escore 4 (GS4), para as aves que se deslocavam com muita dificuldade; escore 5 (GS5) foi dado as aves que quase não se moviam e, muitas vezes, usavam as asas para rastejar. Na análise estatística, o teste de *gait score* foi considerado como um fator aleatório.

Estresse crônico

Após a fase de teste (dia 41), três penas das asas de 61 aves que passaram pelo teste de viés de julgamento foram coletadas com a finalidade de avaliar as concentrações de corticosterona (ng/mL) das penas, conforme metodologia de Campbell et al. (2022). Após a preparação das amostras, a avaliação de corticosterona foi realizada utilizando um kit ELISA comercial (E-OSEL-Ch0002, Elabscience, EUA), conforme as diretrizes do fabricante para determinar a concentração de corticosterona nas penas.

Fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) hipocampal

Aos 41 dias, 1 ave por unidade experimental (n = 32 aves que passaram pelos procedimentos de JBT), foram eutanasiadas por deslocamento cervical e imediatamente foi realizada a coleta do cérebro. Amostras de cérebros foram imediatamente congeladas em nitrogênio líquido para preservar a estrutura morfológica até a crioseção, conforme descrito em Kadhim et al. (2019). As amostras de cérebro foram seccionadas em 100 µm com auxílio de um criostato. A concentração de BDNF hipocampal foi mensurada usando um kit ELISA comercialmente disponível (SEA011GA, Cloud-Clone Corp., TX, EUA).

Análise estatística

Os resultados foram analisados no software SAS Studio versão 3.8 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA). A homogeneidade das variâncias foi verificada por meio do teste de Levene, enquanto a normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro–Wilk. A latência de aproximação no teste de viés de julgamento foi submetida à análise por modelo linear misto, utilizando-se o procedimento MIXED, com estimação pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e estrutura de covariância do tipo componentes de variância. Foram considerados como efeitos fixos o tratamento, o tipo de pista e a interação tratamento × tipo de pista, enquanto os efeitos associados à baia e à identificação das aves, à rodada, à combinação entre cor e lado da pista, à arena e à idade foram incluídos na estrutura aleatória do modelo. Os efeitos fixos foram avaliados por meio de testes F do tipo III.

As concentrações de BDNF hipocampal e de corticosterona nas penas foram analisadas pelo procedimento GLIMMIX, considerando-se distribuição gaussiana, função de ligação identidade e estimação dos parâmetros pelo método REML. Para ambas as variáveis, o modelo incluiu os efeitos fixos da complexidade ambiental, do aditivo e da interação complexidade ambiental × aditivo. Na análise da corticosterona, a baia foi incluída como efeito aleatório, de modo a considerar a dependência entre as observações provenientes da mesma unidade experimental. Para o BDNF, foram utilizadas 47 das 48 observações obtidas, enquanto, para a corticosterona, foram utilizadas 59 das 62 observações. Os efeitos principais e as interações foram avaliados por testes F do tipo III, e as médias ajustadas pelo método dos quadrados mínimos foram comparadas pelo teste de Tukey-Kramer.

RESULTADOS

Teste de viés de julgamento

Habituação

Dois pares de aves da mesma unidade experimental (tratamento com baixa complexidade ambiental, com uso de antibiótico) não bicaram os tenébrios durante as quatro rodadas de habituação. Dessa forma, essa unidade experimental foi excluída das etapas de treinamento e de teste. Durante a primeira rodada de habituação, 40,4% das aves consumiram pelo menos uma larva de tenébrio (latência média de 173,4 ±

80,2 seg.); na segunda, 47,8% (105,6 ± 46,7 seg.); na terceira, 55,1% (79,7 ± 61,7 seg.); e na quarta, 69,1% (61,0 ± 64,1 s) (Tabela 1).

Tabela 2. *Percentual das aves que completaram o critério de aprendizado em cada rodada, latência média (seg.) e desvio padrão (seg.) durante a fase de habituação (n= 108).*

Rodada de habituação	Aves que responderam ao estímulo (%)	Latência média (seg)	Desvio-padrão (seg)
1ª	40,4	173,4	80,2
2ª	47,8	105,6	46,7
3ª	55,1	79,7	61,7
4ª	69,1	61,0	64,1

Treinamento

Na fase de treinamento 1A, as aves de uma unidade experimental do tratamento com baixa complexidade ambiental com uso de probiótico se tornou apto para a fase de treinamento 2 logo na primeira rodada (atenderam o critério de aprendizado para a fase de treinamento 2, pois bicaram a pista em 5 das 6 tentativas). Entretanto, apesar de já terem atendido ao critério de aprendizagem, as aves realizaram mais três rodadas da fase 1A, uma vez que o protocolo operacional padrão (POP) estabelecia a realização de quatro rodadas para essa etapa do treinamento. Assim, somente após o cumprimento das quatro rodadas previamente definidas no protocolo, as aves avançaram para a fase de treinamento 2.

Um par de aves do tratamento composto por antibiótico e alta complexidade ambiental, e um par de aves do tratamento composto por probiótico e alta complexidade ambiental permaneceram na mesma fase por terem bicado as recompensas em ao menos 2 de 6 tentativas e atingirem o critério mínimo exigido, e as demais aves dos outros tratamentos (n= 28) foram transferidos para a fase de treinamento 1B.

Atenderam ao critério de aprendizado 50,0% das aves submetidas a ambiente com alta complexidade com antibiótico como melhorador de desempenho, 37,5% das aves criadas em ambiente de baixa complexidade com antibiótico, 62,5% das aves de alta complexidade com probiótico e 71,4% do tratamento de baixa complexidade com probiótico.

As aves das 17 unidades experimentais aptas para a fase de treinamento 2 necessitaram entre 2 e 17 rodadas para atender ao critério de aprendizado da fase 1. Das 31 unidades experimentais que realizaram a fase de treinamento 1, 14 não

conseguiram progredir para a próxima fase de treinamento por não terem atendido aos critérios de aprendizagem.

Na fase de treinamento 2, que envolveu a distinção entre a pista associada à recompensa e a pista neutra, 12 das 17 unidades experimentais necessitaram de uma a quatro rodadas para que os frangos atingissem o critério de aprendizagem. Considerando as 62 aves inicialmente avaliadas como 100%, cinco aves do tratamento com alta complexidade ambiental e antibiótico foram aptas para o teste, correspondendo a 8,06% do total; seis aves do tratamento com baixa complexidade ambiental e antibiótico, correspondendo a 9,68%; dez aves do tratamento com alta complexidade ambiental e probiótico, representando 16,13%; e oito aves do tratamento com baixa complexidade ambiental e probiótico, correspondendo a 12,90%. Dessa forma, ao final dessa fase, 29 das 62 aves avaliadas, equivalentes a 46,77% do total, atenderam ao critério de aprendizagem e foram consideradas aptas para a realização do teste.

Teste de viés de julgamento (JBT)

O tipo de pista influenciou significativamente a latência de aproximação (p= <0,0001), demonstrando que as aves foram capazes de distinguir entre a pista ligada à recompensa, pistas intermediárias e pista neutra (Tabela 3). As aves se dirigiram mais rapidamente ao estímulo positivo e de forma mais lenta aos estímulos negativos e neutros, apresentando respostas intermediárias aos estímulos ambíguos (Figura 9).

Isso evidencia a aprendizagem e a generalização do significado das pistas. No entanto, não se verificou efeito dos tratamentos experimentais (p= 0,913) nem interação entre tratamento e tipo de pista (p= 0,151), indicando que os tratamentos não modificaram o viés cognitivo das aves. Assim, apesar do JBT ter sido validado pela diferenciação clara entre estímulos, os resultados sugerem que não houve diferenças no estado afetivo entre os grupos experimentais.

Tabela 3. *Testes de efeitos fixos para a variável de latência de aproximação no teste de viés de julgamento.*

Efeito	**Valor de F**	**p-valor**
Tratamentos	0,17	0,9138
Tipo de pista	189,61	<0,0001
Tratamento × Tipo de pista	1,42	0,1512

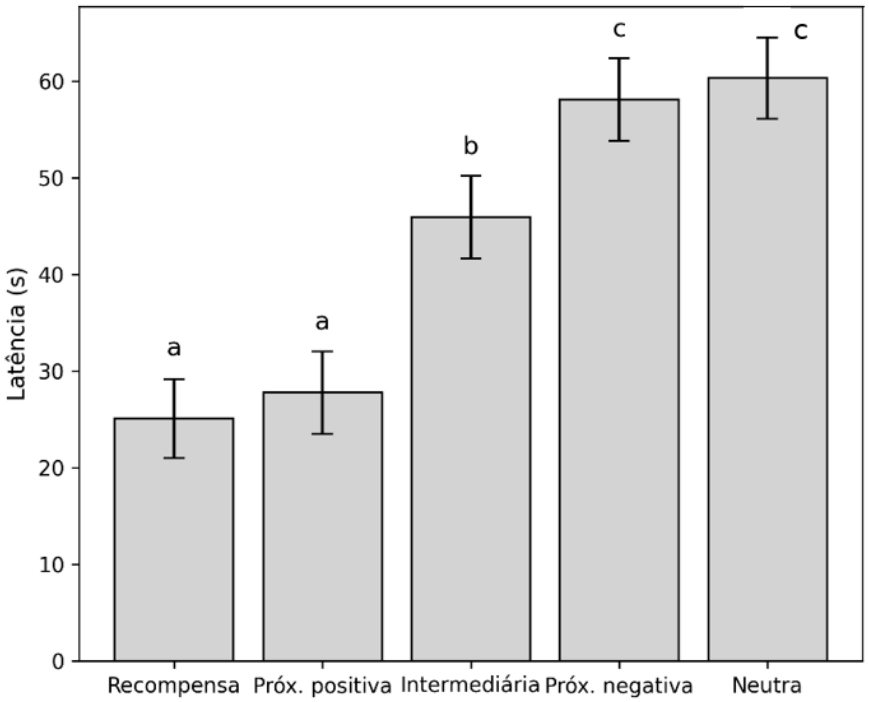


Figura 9. *Latência média (± SEM) para se aproximar (s) das cinco pistas (Recompensa; próxima à recompensa; Intermediária; Próxima à negativa; e Neutra) em 4 rodadas do teste de viés de julgamento (n = 12 pares sociais).*

Estresse Crônico

As concentrações de corticosterona (Tabela 4) nas penas não foram influenciadas pela complexidade ambiental (p = 0,696) nem pelo tipo de aditivo utilizado, probiótico ou antibiótico (p = 0,723). Também não foi observada interação entre esses fatores (p = 0,538).

Tabela 4. *Concentração de corticosterona (ng/mL) nas penas de frangos de corte submetidos a diferentes níveis de complexidade ambiental e aditivos nutricionais.*

Complexidade ambiental	Antibiótico	Probiótico
Alta complexidade	36,11 ± 1,78	36,59 ± 1,78
Baixa complexidade	37,33 ± 1,91	35,56 ± 1,74

Fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) hipocampal

Não foram identificadas diferenças relevantes nos níveis de BDNF (Tabela 5) do hipocampo entre aves criadas em ambientes complexos ou não (p=0,696), nem

entre aves alimentadas com dietas contendo antibiótico ou probiótico (p=0,475), além da interação desses fatores (p=0,888).

Tabela 5. *Concentração de BDNF no hipocampo (ng/g) de frangos de corte submetidos a diferentes níveis de complexidade ambiental e aditivos nutricionais*

Complexidade ambiental	Antibiótico	Probiótico
Alta complexidade	48,45 ± 1,42	46,54 ± 1,42
Baixa complexidade	48,12 ± 1,52	47,58 ± 1,42

DISCUSSÃO

A complexidade ambiental e a modulação da microbiota intestinal representam duas vias capazes de influenciar o bem-estar e as respostas neurobiológicas das aves. Ambientes complexos podem ampliar as oportunidades de exploração e estimulação cognitiva, enquanto probióticos e antibióticos podem modificar a microbiota intestinal por mecanismos distintos, com possíveis repercussões sobre o eixo microbiota–intestino–cérebro e, consequentemente, sobre respostas comportamentais, fisiológicas e relacionadas à neuroplasticidade (Zidar et al., 2018; He et al., 2019; Anderson et al., 2021; Zhang et al., 2021). Os probióticos podem favorecer o equilíbrio da comunidade microbiana, a integridade intestinal e a produção de metabólitos, como os ácidos graxos de cadeia curta, além de modular respostas imunológicas e inflamatórias envolvidas na comunicação com o sistema nervoso (Zhang et al., 2021). Essas alterações podem repercutir sobre neurotransmissores e vias neuroendócrinas relacionadas ao comportamento e à resposta ao estresse. Por outro lado, os antibióticos também modificam a composição e a atividade da microbiota intestinal, principalmente pela redução de populações bacterianas sensíveis, podendo alterar a produção de metabólitos e, consequentemente, a comunicação entre intestino e cérebro (Zhang et al., 2021). Dessa forma, probióticos e antibióticos podem promover diferentes perfis microbianos e exercer efeitos distintos sobre mecanismos relacionados aos estados afetivos. Huang et al. (2023), por exemplo, observaram que a disbiose induzida por antibióticos em galinhas esteve associada a alterações no metabolismo da serotonina e ao aumento da bicagem severa de penas, enquanto a suplementação probiótica contribuiu para restaurar a microbiota e o metabolismo serotoninérgico e reduzir esse comportamento.

Apesar dessas possíveis vias de modulação, no presente estudo não foram observadas diferenças entre os ambientes de alta e baixa complexidade. A ausência de efeito pode estar relacionada à intensidade, à duração e à dinâmica dos estímulos oferecidos. Embora o enriquecimento ambiental tenha como objetivo ampliar as oportunidades de exploração e proporcionar experiências positivas, seus efeitos dependem das características e da forma como os estímulos são disponibilizados ao longo do tempo (Tahamtani et al., 2020). Além disso, modificações no ambiente podem representar inicialmente um desafio para as aves, uma vez que as respostas fisiológicas ao enriquecimento podem variar de acordo com o período de exposição e com a adaptação aos estímulos (Fairhurst et al., 2011).

Nesse sentido, a diversidade de estímulos associada à rotação dos enriquecimentos utilizada no presente estudo pode ter mantido elevado grau de novidade ambiental, exigindo sucessivos processos de atenção, exploração e adaptação. Mudanças frequentes ou imprevisíveis podem aumentar a incerteza e reduzir a capacidade do animal de antecipar e controlar os eventos ambientais, favorecendo respostas relacionadas à ansiedade e ao estresse (Bassett e Buchanan-Smith, 2007). Assim, uma possível estimulação excessiva pode ter atenuado os benefícios esperados da alta complexidade ambiental e contribuído para a ausência de diferenças entre os tratamentos. Entretanto, essa interpretação deve ser considerada uma hipótese, uma vez que a superestimulação não foi avaliada diretamente no presente estudo.

Além das características do ambiente, aspectos sociais parecem ter exercido papel importante durante o processo de aprendizagem das aves. Na fase de habituação, observou-se que algumas aves consumiram o tenébrio já na primeira rodada e, nas rodadas seguintes, houve aumento progressivo no percentual de aves que interagiram com a recompensa. É possível que as aves que inicialmente exploraram e consumiram o tenébrio tenham influenciado o comportamento das demais. Em galinhas, a observação do comportamento de um indivíduo da mesma espécie pode direcionar a atenção para um alimento, objeto ou local específico, favorecendo processos de facilitação social e promoção do estímulo. Rutkauskaite e Jensen (2022) observaram resultado semelhante ao verificarem que galinhas que assistiram à interação de um coespecífico com um comedouro experimental aproximaram-se do objeto mais rapidamente e realizaram maior número de bicadas posteriormente. Dessa forma, a presença ou a observação de um coespecífico

interagindo com uma fonte de alimento pode estimular a exploração e o comportamento de bicagem das aves (Keeling e Hurnik, 1993; Rutkauskaite e Jensen, 2022).

Esse aspecto é particularmente relevante para o treinamento do teste de viés de julgamento, uma vez que grande parte dos protocolos utilizados em aves é conduzida individualmente. O isolamento, entretanto, pode atuar como um estressor adicional para uma espécie social e afetar a motivação, a exploração e a aprendizagem durante o teste. Lourenço-Silva et al. (2023) demonstraram que a presença de um coespecífico pode favorecer o desempenho por meio da facilitação social e da redução dos efeitos negativos associados ao isolamento e à novidade do ambiente experimental. No presente estudo, 46,77% das aves submetidas ao treinamento atingiram o critério estabelecido e avançaram para a fase de teste, percentual superior ao relatado por Anderson et al. (2021), no qual apenas 25% dos frangos de corte de crescimento rápido treinados atingiram o critério necessário para a realização do teste.

Uma possível explicação para essa diferença está relacionada à metodologia utilizada, pois, no presente estudo, as aves foram treinadas em pares sociais, enquanto Anderson et al. (2021) conduziram o protocolo individualmente. As aves apresentam comportamento social complexo, caracterizado por interações entre indivíduos e organização hierárquica (Marino, 2017). Dessa maneira, a condução do treinamento em pares pode ter reduzido o estresse decorrente do isolamento, favorecido a exploração da arena e aumentado a motivação para interagir com os estímulos apresentados. No entanto, a efetividade do treinamento também pode estar relacionada às diferenças entre linhagens e às características próprias dos protocolos empregados. Lourenço-Silva et al. (2023), ao treinarem frangos Hubbard Redbro de crescimento lento em pares sociais, observaram que 83% das aves atenderam aos critérios de aprendizagem após 13 dias de treinamento. Em contraste, Anderson et al. (2021), utilizando frangos Ross 708 de crescimento rápido e uma abordagem multimodal baseada na associação entre cor, localização e recompensa alimentar, observaram que apenas 25% das aves treinadas individualmente atingiram o critério para o teste, mesmo após período mais prolongado de treinamento.

Essas diferenças, contudo, não devem ser atribuídas exclusivamente à capacidade cognitiva das linhagens, uma vez que o desempenho em testes cognitivos também é influenciado pela motivação, pelo medo, pela resposta ao isolamento social

e pela aptidão física para executar a tarefa. O rápido ganho de peso de frangos de crescimento acelerado pode reduzir progressivamente a atividade e a disposição para se deslocar em direção aos estímulos, de modo que a ausência de resposta comportamental não representa necessariamente incapacidade de aprendizagem (Anderson et al., 2021). Em contrapartida, linhagens de crescimento mais lento, como a Hubbard Redbro, apresentam melhor capacidade locomotora e maior expressão de determinados comportamentos ativos quando comparadas às linhagens convencionais de crescimento rápido (Baxter et al., 2021).

Nesse contexto, a utilização de pares sociais no presente estudo representa uma alternativa metodológica relevante para a aplicação do teste em frangos de crescimento rápido, ao adaptar uma estratégia anteriormente empregada com sucesso em aves de crescimento lento. A presença de um coespecífico pode favorecer o desempenho diretamente, por meio de mecanismos de facilitação e aprendizagem social, e indiretamente, ao reduzir os efeitos negativos do isolamento durante o treinamento (Lourenço-Silva et al., 2023). Ainda assim, as características próprias das linhagens de crescimento rápido, especialmente o curto ciclo produtivo e as rápidas alterações corporais e comportamentais nas primeiras semanas de vida, podem limitar o período disponível para aquisição e consolidação da tarefa. Assim, as diferenças na eficácia do treinamento provavelmente refletem a interação entre genética, desenvolvimento corporal, motivação, capacidade locomotora e características do protocolo, e não apenas diferenças intrínsecas na capacidade cognitiva das aves.

Embora o protocolo tenha permitido a discriminação entre os estímulos apresentados, não foram detectadas alterações no estado afetivo decorrentes da complexidade ambiental ou dos aditivos utilizados na dieta. A ausência de diferenças entre os ambientes de baixa e alta complexidade pode indicar que, nas condições avaliadas, os enriquecimentos empregados não produziram alterações suficientemente intensas para serem detectadas pelo teste de viés de julgamento. Resultado semelhante foi relatado por Zidar et al. (2018), que não observaram diferenças nas respostas de aves mantidas em ambientes simples ou complexos. Segundo os autores, as diferenças entre os ambientes podem não ter sido suficientemente intensas para gerar alterações comportamentais mensuráveis na ausência de um fator de estresse adicional. Além disso, fatores relacionados ao

manejo e ao ambiente podem alterar o estado emocional das aves e, consequentemente, modular as respostas observadas no teste.

A idade das aves também pode ter contribuído para a ausência de diferenças entre os tratamentos. Frangos de crescimento rápido apresentam redução da atividade exploratória e maior limitação locomotora com o avanço da idade, fatores que podem reduzir a sensibilidade do teste de viés de julgamento (Knowles et al., 2008; Rasmussen et al., 2022). Paralelamente, condições potencialmente estressantes durante os procedimentos experimentais podem afetar processos de aprendizagem e memória, influenciando as decisões dos animais e dificultando a identificação de diferenças decorrentes dos tratamentos (Mendl, 1999).

Ao longo do experimento, algumas situações podem ter contribuído para aumentar a carga de estímulos e manejos sobre as aves. Durante determinados dias de treinamento, por exemplo, algumas aves selecionadas para o teste apresentaram episódios de espirros. Além disso, as aves foram submetidas a diferentes procedimentos relacionados ao treinamento, ao teste de viés de julgamento e às coletas de amostras. A repetição desses manejos pode ter atuado como uma fonte adicional de estresse e influenciado as respostas comportamentais observadas. Lourenço-Silva et al. (2023) destacaram que frangos expostos a estressores crônicos podem apresentar menor capacidade de enfrentar desafios adicionais, como novidades ambientais e separação social. Nessas condições, recursos fisiológicos e cognitivos podem ser direcionados para respostas de enfrentamento, com possíveis consequências sobre atenção, aprendizagem e tomada de decisão. Por essa razão, no presente estudo optou-se pela manutenção das aves em pares durante o treinamento e o teste, buscando reduzir os efeitos do isolamento social.

A influência das experiências prévias sobre o estado afetivo é particularmente relevante no contexto do teste de viés de julgamento. O acúmulo de experiências negativas pode favorecer estados afetivos mais negativos, levando os animais a interpretar estímulos ambíguos de maneira mais pessimista, enquanto estados afetivos mais positivos podem favorecer maior expectativa de recompensa (Deakin et al., 2016). Isso ocorre porque as condições de manejo e ambiente podem modificar o estado emocional e, consequentemente, a forma como informações incertas são processadas. Assim, a resposta a uma pista ambígua não depende exclusivamente do aprendizado prévio, mas também de processos como atenção, expectativa de recompensa, percepção de risco, motivação e tomada de decisão (Mendl et al., 2009).

Do ponto de vista neurobiológico, esses processos envolvem circuitos relacionados à emoção e à recompensa, com participação de sistemas neurotransmissores como o dopaminérgico. A sinalização da dopamina está relacionada à expectativa e à avaliação de recompensas e, portanto, alterações nesse sistema podem modificar a propensão do animal a se aproximar de estímulos ambíguos. Em aves, modificações nos receptores dopaminérgicos influenciaram tanto a latência quanto a probabilidade de aproximação no teste de julgamento, reforçando a participação desse sistema na interpretação de estímulos incertos (Pichová et al., 2022). Nesse sentido, Zidar et al. (2018) destacaram que experiências decorrentes do manejo e do ambiente podem alterar tanto o estado afetivo quanto mecanismos neurobiológicos relacionados à motivação e à expectativa de recompensa.

A imprevisibilidade associada à rotação dos objetos de enriquecimento pode igualmente ter contribuído para esse processo. Segundo Bassett e Buchanan-Smith (2007), ambientes nos quais estímulos positivos ou recursos aparecem e desaparecem sem um padrão previsível podem gerar incerteza e frustração e aumentar respostas relacionadas à ansiedade, uma vez que o animal apresenta menor capacidade de antecipar ou controlar as mudanças ambientais. Essas experiências podem modificar tanto o estado emocional quanto os processos de avaliação de risco e recompensa, interferindo na interpretação das pistas ambíguas. Em aves, experiências estressantes e alterações fisiológicas associadas ao estresse já foram relacionadas a mudanças nas respostas em testes de viés de julgamento (Iyasere et al., 2017; Zidar et al., 2018; Hedlund et al., 2021).

Além da imprevisibilidade ambiental, o próprio procedimento experimental pode representar uma fonte de estimulação adicional. Oyeniran et al. (2025) observaram que aves submetidas ao teste de viés de julgamento apresentaram indicadores compatíveis com maior estresse em decorrência dos manuseios e realocações frequentes realizados durante os testes. Os autores também verificaram temperaturas superficiais oculares menores nas aves submetidas ao teste em comparação com aves não testadas, tanto entre 2 e 29 dias quanto entre 55 e 60 dias de idade, resultado associado à possibilidade de estresse residual decorrente dos procedimentos experimentais.

Fisiologicamente, diante de um estímulo estressor, as galinhas apresentam rápida ativação do sistema nervoso simpático e liberação de catecolaminas, seguida pela ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal e secreção de glicocorticoides

(Carsia, 2015; Ouyang et al., 2021). Essas respostas promovem ajustes cardiovasculares capazes de alterar a distribuição do fluxo sanguíneo, com redução da perfusão em regiões periféricas e maior direcionamento para estruturas centrais do organismo (Bolton e Bowman, 1969). Como consequência, pode ocorrer redução transitória da temperatura superficial, inclusive na região ocular, devido à menor irrigação dos tecidos periféricos (Edgar et al., 2013). Dessa forma, temperaturas oculares mais baixas podem ser compatíveis com respostas fisiológicas agudas ao estresse. Esse aspecto é importante para a interpretação dos testes cognitivos, pois o estresse pode modificar atenção, aprendizagem, motivação e tomada de decisão e, consequentemente, interferir nas respostas apresentadas durante o teste de viés de julgamento (Zidar et al., 2018; Campderrich et al., 2019).

Entretanto, respostas fisiológicas agudas não necessariamente se mantêm durante exposições prolongadas. Em situações de estresse crônico, a ativação repetida do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal pode resultar em processos de adaptação ou habituação fisiológica, modificando a intensidade da secreção de corticosterona ao longo do tempo. Consequentemente, concentrações elevadas desse hormônio não precisam permanecer constantes durante toda a exposição ao estressor (Pusch et al., 2018). Enquanto alterações na temperatura ocular refletem principalmente respostas autonômicas de curta duração, a corticosterona depositada nas penas tem sido utilizada como indicador retrospectivo da atividade do eixo HHA durante uma janela temporal mais prolongada, correspondente ao período de crescimento da pena (Bartels et al., 2021; Campbell et al., 2022).

No presente estudo, a ausência de diferenças significativas na corticosterona das penas entre os tratamentos pode estar relacionada, entre outros fatores, ao período relativamente curto de 41 dias. Lee et al. (2022), ao avaliarem galinhas poedeiras Hy-Line Brown de 47 semanas submetidas durante oito semanas a um cenário de múltiplos estressores, constituído pela combinação de altas temperaturas ambientais e redução da disponibilidade de espaço, observaram maiores concentrações de corticosterona nas penas das aves expostas ao desafio. Entretanto, as diferenças entre as condições de criação foram detectadas especificamente na segunda e na oitava semana, demonstrando que a resposta desse biomarcador pode depender tanto da duração da exposição quanto do momento de coleta. Diferentemente desse estudo, o presente experimento foi realizado com frangos de corte de crescimento rápido durante um ciclo produtivo de 41 dias e não envolveu a

aplicação direta de um desafio crônico de estresse, o que pode ter reduzido a magnitude das diferenças nas concentrações de corticosterona entre os tratamentos.

De forma semelhante, Campbell et al. (2022) observaram concentrações mais elevadas de corticosterona nas penas de aves com 43 semanas em comparação àquelas avaliadas às 29 semanas. Esse resultado reforça a importância da janela temporal de incorporação desse hormônio nas penas. Assim, a idade das aves e o curto período experimental podem ter dificultado a detecção de diferenças entre os tratamentos. Além disso, a interpretação da corticosterona nas penas deve considerar as particularidades temporais e biológicas desse biomarcador em frangos de corte de crescimento rápido. Embora tenha sido proposta como indicador retrospectivo da atividade do eixo HHA durante o período de crescimento da plumagem (Carbajal et al., 2014), sua interpretação depende da dinâmica de formação das penas e da janela temporal em que ocorre a incorporação hormonal (Soster et al., 2026a). Estudos recentes indicaram que as concentrações podem variar de acordo com o tipo de pena, a idade e o estágio de desenvolvimento da plumagem, uma vez que diferentes penas apresentam padrões próprios de crescimento e incorporação hormonal (Soster et al., 2026a).

Essas particularidades tornam-se ainda mais relevantes em frangos de crescimento rápido, devido ao curto ciclo produtivo e às intensas modificações corporais e da plumagem que ocorrem nas primeiras semanas de vida. Dessa maneira, alterações de menor magnitude na atividade do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, decorrentes da complexidade ambiental ou dos aditivos utilizados na dieta, podem não ter sido suficientemente refletidas nas concentrações de corticosterona das penas coletadas ao final do período experimental. Essa possibilidade é compatível com estudos recentes que apontam menor responsividade da corticosterona, principalmente quando avaliada em penas, diante de determinados desafios de bem-estar ou alterações ambientais em frangos de corte (Soster et al., 2026b), evidenciando limitações de sensibilidade e resolução temporal desse biomarcador para detectar respostas de pequena magnitude em aves jovens.

Além das respostas relacionadas ao estresse, buscou-se avaliar possíveis alterações associadas à neuroplasticidade por meio da concentração hipocampal de BDNF. Ambientes enriquecidos podem induzir a expressão do fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) e modificar outros fatores de crescimento associados à neurogênese e à recuperação neuronal (Young et al., 1999). O BDNF exerce papel

importante na plasticidade do sistema nervoso, especialmente no fortalecimento e na reorganização das conexões sinápticas. Sua atuação, particularmente por meio do receptor TrkB, participa de processos relacionados à plasticidade sináptica, aprendizagem e formação e consolidação da memória (Korte et al., 1995; Mizuno et al., 2000; Mizuno et al., 2003). Entretanto, essas respostas podem variar conforme a intensidade e a duração da exposição ao estímulo, de modo que o rápido crescimento e o curto ciclo produtivo dos frangos de corte podem dificultar a identificação de alterações neurobiológicas relacionadas à complexidade ambiental.

A interpretação do BDNF também deve considerar que sua expressão pode ser influenciada por diferentes fatores além do enriquecimento ambiental. Segundo Miranda et al. (2019), intervenções nutricionais, exercício físico e alterações hormonais também podem interferir em processos associados à neurogênese hipocampal e aos níveis de BDNF. Além disso, a relação entre estresse, glicocorticoides e BDNF depende da duração e da intensidade do desafio. Em situações de estresse agudo, glicocorticoides e BDNF podem apresentar aumentos transitórios associados a respostas adaptativas. Em contrapartida, durante situações de estresse crônico e prolongado, a exposição contínua aos glicocorticoides pode reduzir a expressão e a disponibilidade de BDNF, particularmente no hipocampo, comprometendo mecanismos relacionados à plasticidade neuronal, aprendizagem e memória (Smith et al., 1995; Jacobsen et al., 2006; Herhaus et al., 2024).

Nesse contexto, a ausência de diferenças nas concentrações hipocampais de BDNF observada no presente estudo pode refletir a interação entre o período relativamente curto de exposição aos tratamentos, a intensidade dos estímulos ambientais e as rápidas alterações fisiológicas características dos frangos de corte. Assim como observado para a corticosterona nas penas e para as respostas comportamentais no teste de viés de julgamento, os tratamentos avaliados podem não ter produzido alterações suficientemente intensas ou duradouras para gerar diferenças detectáveis nesse marcador neurobiológico.

Da mesma forma, embora os probióticos sejam amplamente reconhecidos por seus efeitos benéficos sobre a saúde intestinal (He et al., 2019; Naeem e Bourassa, 2025), o desempenho produtivo (Rehman et al., 2020; Opazo et al., 2025) e por seu potencial de modulação do eixo intestino–cérebro, sua inclusão no presente estudo não promoveu alterações significativas nos estados afetivos, nas concentrações de BDNF hipocampal ou na corticosterona das penas. Esses resultados indicam que, nas

condições experimentais avaliadas, a suplementação probiótica não foi suficiente para produzir mudanças detectáveis nos parâmetros comportamentais, fisiológicos e neurobiológicos avaliados.

A ausência dessas respostas pode estar relacionada a fatores como duração da suplementação, dosagem empregada, idade das aves e características de crescimento da linhagem utilizada. Além disso, os efeitos da modulação da microbiota sobre o sistema nervoso podem depender da magnitude e da persistência das alterações microbianas e metabólicas produzidas ao longo do tempo. Assim, embora o eixo microbiota–intestino–cérebro represente uma importante via de investigação para compreender as relações entre nutrição, bem-estar, estados afetivos e neuroplasticidade, os resultados obtidos demonstram a necessidade de novos estudos que avaliem diferentes estratégias de suplementação, períodos de exposição e indicadores complementares em frangos de corte de crescimento rápido.

CONCLUSÃO

Nas condições experimentais avaliadas, a combinação entre diferentes níveis de complexidade ambiental e aditivos melhoradores de desempenho não promoveu alterações significativas nas respostas das aves ao teste de viés de julgamento, nos níveis hipocampais de fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) ou nas concentrações de corticosterona nas penas. Esses resultados indicam que, dentro do período e das condições avaliadas, os tratamentos adotados não foram suficientes para produzir diferenças detectáveis nos indicadores comportamentais e neurobiológicos utilizados. A curta duração do ciclo produtivo, as características e a dinâmica de utilização dos enriquecimentos ambientais e as exigências metodológicas do teste de viés de julgamento podem ter limitado a detecção de possíveis efeitos.

Como contribuição metodológica, o treinamento em pares mostrou-se uma abordagem promissora para a aplicação do teste de viés de julgamento em frangos de corte de crescimento rápido. A proporção de 46,77% de aves que atingiram os critérios de aprendizagem, associada à discriminação entre os estímulos durante o teste, demonstra a viabilidade dessa estratégia sem a necessidade de isolamento social prolongado. Estudos futuros devem considerar períodos de exposição mais prolongados, a avaliação isolada dos diferentes componentes do enriquecimento e o aprimoramento dos protocolos de treinamento e teste, visando ampliar a sensibilidade das avaliações dos estados afetivos e da neuroplasticidade em frangos de corte

REFERÊNCIAS

ANDERSON, M. G. et al. Environmental complexity positively impacts affective states of broiler chickens. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 16966, 2021. https://doi.org/10.1038/s41598-021-95280-4.

AVIAGEN. **Manual de manejo de frangos de corte Ross.** São Paulo, 2018. 148p.

BACH, M. H. et al. Effects of environmental complexity on behaviour in fast-growing broiler chickens. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 219, p. 104840, 2019. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.104840.

BARTELS, T. et al. Research note: a sip of stress. Effects of corticosterone supplementation in drinking water on feather corticosterone concentrations in layer pullets. **Poultry science**, v. 100, n. 9, p. 101361, 2021. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101361.

BASSETT, L; BUCHANAN-SMITH, H. M. Effects of predictability on the welfare of captive animals. **Applied animal behaviour science**, v. 102, n. 3-4, p. 223-245, 2007. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.05.029.

BAXTER, M. et al. A comparison of fast growing broiler chickens with a slower-growing breed type reared on Higher Welfare commercial farms. **PloS one**, v. 16, n. 11, p. e0259333, 2021. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259333.

BETHELL, E. J. A "how-to" guide for designing judgment bias studies to assess captive animal welfare. **Journal of Applied Animal Welfare Science**, v. 18, n. sup1, p. S18-S42, 2015. https://doi.org/10.1080/10888705.2015.1075833.

BOLTON, T. B.; BOWMAN, W. C. Adrenoreceptors in the cardiovascular system of the domestic fowl. **European Journal of Pharmacology**, v. 5, n. 2, p. 121-132, 1969. https://doi.org/10.1016/0014-2999(69)90020-X.

CAMPBELL, A. et al. Effects of housing system on anxiety, chronic stress, fear, and immune function in bovan brown laying hens. **Animals**, v. 12, n. 14, p. 1803, 2022. https://doi.org/10.3390/ani12141803.

CAMPDERRICH, I. et al. Environmental complexity: A buffer against stress in the domestic chick. **PLoS One**, v. 14, n. 1, p. e0210270, 2019. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210270.

CARABOTTI, M. et al. The gut-brain axis: interactions between enteric microbiota, central and enteric nervous systems. **Annals of gastroenterology: quarterly publication of the Hellenic Society of Gastroenterology**, v. 28, n. 2, p. 203, 2015. PMID: 25830558.

CARBAJAL, A. et al. Feather corticosterone evaluated by ELISA in broilers: A potential tool to evaluate broiler welfare. **Poultry science**, v. 93, n. 11, p. 2884-2886, 2014. https://doi.org/10.3382/ps.2014-04092.

CARSIA, R. V. Adrenals. In: **Sturkie's avian physiology**. Academic press, 2015. p. 577-611. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407160-5.00026-9.

DEAKIN, A et al. A screen-peck task for investigating cognitive bias in laying hens. **PLoS One**, v. 11, n. 7, p. e0158222, 2016. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158222.

EDGAR, J. L. et al. Surface temperature changes in response to handling in domestic chickens. **Physiology & behavior**, v. 119, p. 195-200, 2013. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2013.06.020.

FAIRHURST, G. D. et al. Does environmental enrichment reduce stress? An integrated measure of corticosterone from feathers provides a novel perspective. **PLoS One**, v. 6, n. 3, p. e17663, 2011. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017663.

HARDING, E. J.; PAUL, E. S.; MENDL, M. Cognitive bias and affective state. **Nature**, v. 427, n. 6972, p. 312-312, 2004. https://doi.org/10.1038/427312a.

HE, T. et al. Effects of probiotics as antibiotics substitutes on growth performance, serum biochemical parameters, intestinal morphology, and barrier function of broilers. **Animals**, v. 9, n. 11, p. 985, 2019. https://doi.org/10.3390/ani9110985.

HEDLUND, L; PALAZON, T; JENSEN, P. Stress during commercial hatchery processing induces long-time negative cognitive judgement bias in chickens. **Animals**, v. 11, n. 4, p. 1083, 2021. https://doi.org/10.3390/ani11041083.

HERHAUS, B. et al. Dynamic interplay of cortisol and BDNF in males under acute and chronic psychosocial stress–A randomized controlled study. **Psychoneuroendocrinology**, v. 170, p. 107192, 2024. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2024.107192.

HUANG, C. et al. Restorative effects of Lactobacillus rhamnosus LR-32 on the gut microbiota, barrier integrity, and 5-HT metabolism in reducing feather-pecking behavior in laying hens with antibiotic-induced dysbiosis. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1173804, 2023. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1173804.

IYASERE, O. S. et al. Elevated levels of the stress hormone, corticosterone, cause 'pessimistic'judgment bias in broiler chickens. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 6860, 2017. https://doi.org/10.1038/s41598-017-07040-y.

JACOBSEN, J. P. R; MØRK, A. Chronic corticosterone decreases brain-derived neurotrophic factor (BDNF) mRNA and protein in the hippocampus, but not in the frontal cortex, of the rat. Brain research, v. 1110, n. 1, p. 221-225, 2006. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.06.077.

KADHIM, H. et al. Differential and temporal expression of corticotropin releasing hormone and its receptors in the nucleus of the hippocampal commissure and paraventricular nucleus during the stress response in chickens (Gallus gallus). **Brain Research**, v. 1714, p. 1–7, jul. 2019. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2019.02.018.

KEELING, L. J.; HURNIK, J. F. Chickens show socially facilitated feeding behaviour in response to a video image of a conspecific. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 36, n. 2-3, p. 223-231, 1993. https://doi.org/10.1016/0168-1591(93)90012-E.

KESTIN, S. C. et al. Prevalence of leg weakness in broiler chickens and its relationship with genotype. **The veterinary record**, v. 131, n. 9, p. 190–194, 1992. https://doi.org/10.1136/vr.131.9.190.

KNOWLES, Toby G. et al. Leg disorders in broiler chickens: prevalence, risk factors and prevention. **PloS one**, v. 3, n. 2, p. e1545, 2008. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001545.

KOKNAROGLU, H; AKUNAL, T. Animal welfare: An animal science approach. **Meat Science**, v. 95, n. 4, p. 821-827, 2013. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.030.

KORTE, M. et al. Hippocampal long-term potentiation is impaired in mice lacking brain-derived neurotrophic factor. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 92, n. 19, p. 8856-8860, 1995. https://doi.org/10.1073/pnas.92.19.8856.

LEE, C; KIM, J. H; KIL, D. Y. Comparison of stress biomarkers in laying hens raised under a long-term multiple stress condition. **Poultry Science**, v. 101, n. 6, p. 101868, 2022. https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101868.

LOURENÇO-SILVA, M. I. et al. Social-pair judgment bias testing in slow-growing broiler chickens raised in low-or high-complexity environments. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 9393, 2023. https://doi.org/10.1038/s41598-023-36275-1.

MARINO, L. Thinking chickens: a review of cognition, emotion, and behavior in the domestic chicken. **Animal cognition**, v. 20, n. 2, p. 127-147, 2017. https://doi.org/10.1007/s10071-016-1064-4.

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

MENDL, M. Performing under pressure: stress and cognitive function. **Applied animal behaviour science**, v. 65, n. 3, p. 221-244, 1999. https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00088-X.

MENDL, M. et al. Cognitive bias as an indicator of animal emotion and welfare: Emerging evidence and underlying mechanisms. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 118, n. 3-4, p. 161-181, 2009. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.02.023.

MIRANDA, M. et al. Brain-derived neurotrophic factor: a key molecule for memory in the healthy and the pathological brain. **Frontiers in cellular neuroscience**, v. 13, p. 472800, 2019. https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00363.

MIZUNO, M. et al. Involvement of brain-derived neurotrophic factor in spatial memory formation and maintenance in a radial arm maze test in rats. **Journal of Neuroscience**, v. 20, n. 18, p. 7116-7121, 2000. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.20-18-07116.2000.

MIZUNO, M. et al. Involvement of BDNF receptor TrkB in spatial memory formation. **Learning & memory**, v. 10, n. 2, p. 108-115, 2003. https://doi.org/10.1101/lm.56003.

MOTTET, A; TEMPIO, G. Global poultry production: current state and future outlook and challenges. **World's poultry science journal**, v. 73, n. 2, p. 245-256, 2017. https://doi.org/10.1017/S0043933917000071.

NAEEM, M; BOURASSA, D. Probiotics in poultry: unlocking productivity through microbiome modulation and gut health. **Microorganisms**, v. 13, n. 2, p. 257, 2025. https://doi.org/10.3390/microorganisms13020257.

NEWBERRY, R. C. Environmental enrichment: Increasing the biological relevance of captive environments. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 44, n. 2-4, p. 229-243, 1995. https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)00616-Z.

OPAZO, R; SALINAS, C; VILLASANTE, A. Formulation strategies of probiotics in broilers: systematic review and meta-analysis of their effects on production performance. **Frontiers in Animal Science**, v. 6, p. 1679614, 2025. https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1679614.
OUYANG, J. Q. et al. Infrared thermography is an effective, noninvasive measure of HPA activation. **Stress**, v. 24, n. 5, p. 584-589, 2021. https://doi.org/10.1080/10253890.2020.1868431.

OYENIRAN, V. J. et al. Judgment bias, fear, and stress responses of Red Junglefowl and Athens Canadian Random Bred chickens. **Frontiers in Animal Science**, v. 6, p. 1573847, 2025. https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1573847.

PATZKE, N. et al. Consequences of different housing conditions on brain morphology in laying hens. **Journal of Chemical Neuroanatomy**, v. 37, n. 3, p. 141-148, 2009. https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2008.12.005.

PAUL, E. S.; HARDING, E. J.; MENDL, M. Measuring emotional processes in animals: the utility of a cognitive approach. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 29, n. 3, p. 469-491, 2005. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2005.01.002.

PICHOVÁ, K; KUBÍKOVÁ, L; KOŠŤÁL, L. The Acute Pharmacological Manipulation of Dopamine Receptors Modulates Judgment Bias in Japanese Quail. **Frontiers in Physiology**, v. 13, p. 883021, 2022. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.883021.

PUSCH, E. A. et al. Behavioral phenotype predicts physiological responses to chronic stress in proactive and reactive birds. **General and Comparative Endocrinology**, v. 255, p. 71-77, 2018. https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2017.10.008.

RASMUSSEN, S. N.; ERASMUS, M; RIBER, A. B. The relationships between age, fear responses, and walking ability of broiler chickens. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 254, p. 105713, 2022. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105713.

REHMAN, A. et al. Dietary effect of probiotics and prebiotics on broiler performance, carcass, and immunity. **Poultry science**, v. 99, n. 12, p. 6946-6953, 2020. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.043.

RHEE, S. H.; POTHOULAKIS, C; MAYER, E. A. Principles and clinical implications of the brain–gut–enteric microbiota axis. **Nature reviews Gastroenterology & hepatology**, v. 6, n. 5, p. 306-314, 2009. https://doi.org/10.1038/nrgastro.2009.35.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. 4 ed. Viçosa, MG, 2017.

RUTKAUSKAITE, A; JENSEN, P. Domestication effects on social information transfer in chickens. Animal cognition, v. 25, n. 6, p. 1473-1478, 2022. https://doi.org/10.1007/s10071-022-01628-2.

SHETTLEWORTH, S. J. **Cognition, evolution, and behavior.** 2. ed. New York: Oxford University press, 2009. 720 p. DOI: 10.1093/oso/9780195319842.001.0001.

SMITH, M. A. et al. Stress and glucocorticoids affect the expression of brain-derived neurotrophic factor and neurotrophin-3 mRNAs in the hippocampus. Journal of Neuroscience, v. 15, n. 3, p. 1768-1777, 1995. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.15-03-01768.1995.

SOSTER, P. et al. Measuring feather and plasma corticosterone in male broiler chickens: uplc–ms/ms methodology and feather growth dynamics. **BMC Veterinary Research**, 2026a. https://doi.org/10.1186/s12917-025-05275-w.

SOSTER, P. et al. Re-evaluating Corticosterone as a Welfare Biomarker in Broilers using UPLC/MS-MS: Limited Responsiveness to Heat Stress, Disease Challenges, and Environmental Enrichment. **Poultry Science**, p. 107338, 2026b. https://doi.org/10.1016/j.psj.2026.107338.

TAHAMTANI, F. M. et al. Effects of environmental complexity on fearfulness and learning ability in fast growing broiler chickens. **Applied animal behaviour science**, v. 207, p. 49-56, 2018. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.04.005.

TAHAMTANI, F. M.; PEDERSEN, I. J.; RIBER, A. B. Effects of environmental complexity on welfare indicators of fast-growing broiler chickens. **Poultry Science**, v. 99, n. 1, p. 21-29, 2020. https://doi.org/10.3382/ps/pez510.

YANG, X. et al. The Application of Probiotics and Prebiotics in Poultry Production and Impacts on Environment: A Review. **Encyclopedia**, v. 5, n. 1, p. 35, 2025. https://doi.org/10.3390/encyclopedia5010035.

YANG, Y. et al. Dietary modulation of gut microflora in broiler chickens: a review of the role of six kinds of alternatives to in-feed antibiotics. **World's Poultry Science Journal**, v. 65, n. 1, p. 97-114, 2009. https://doi.org/10.1017/S0043933909000087.

YOUNG, D. et al. Environmental enrichment inhibits spontaneous apoptosis, prevents seizures and is neuroprotective. **Nature medicine**, v. 5, n. 4, p. 448-453, 1999. https://doi.org/10.1038/7449.

YOSI, F; METZLER-ZEBELI, B. U. 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**, v. 13, n. 12, p. 1970, 2023. https://doi.org/10.3390/ani13121970.

ZHANG, J.-M. et al. Different effects of probiotics and antibiotics on the composition of microbiota, SCFAs concentrations and FFAR2/3 mRNA expression in broiler chickens. **Journal of applied microbiology**, v. 131, n. 2, p. 913-924, 2021. https://doi.org/10.1111/jam.14953.

ZIDAR, J. et al. Environmental complexity buffers against stress-induced negative judgement bias in female chickens. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 5404, 2018. https://doi.org/10.1038/s41598-018-23545-6.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dois capítulos desta dissertação são complementares ao demonstrar que a relação entre ambiente, cognição e estados afetivos em aves é complexa e depende de múltiplos fatores, incluindo o tipo de estímulo, o período de exposição, a linhagem e a metodologia de avaliação, além da presença de enriquecimentos. O Capítulo 1 demonstra que ambientes mais complexos têm potencial para favorecer a aprendizagem, a orientação espacial e a redução de respostas relacionadas ao medo. No entanto, a diversidade de protocolos e o número ainda limitado de estudos com frangos de corte de crescimento rápido dificultam a generalização desses benefícios para condições comerciais.

No Capítulo 2, o principal avanço consistiu na aplicação do treinamento em pares no teste de viés de julgamento. Essa abordagem possibilitou que as aves aprendessem a discriminar os estímulos sem a necessidade de isolamento social prolongado, representando uma adaptação metodológica relevante para uma espécie gregária. Embora a complexidade ambiental e os aditivos nutricionais não tenham alterado o julgamento das aves, o BDNF hipocampal ou a corticosterona nas penas, esses resultados não excluem a possibilidade de influência dessas estratégias sobre o bem-estar. Os dados sugerem que, nas condições avaliadas, a duração, a intensidade ou a forma de aplicação das intervenções podem não ter sido suficientes para produzir alterações detectáveis.

Para pesquisas futuras, recomenda-se avaliar separadamente os diferentes tipos de enriquecimento, evitando a utilização simultânea de múltiplos recursos, o que dificulta a identificação dos elementos responsáveis pelas respostas observadas. É igualmente relevante quantificar a frequência e a duração do uso dos

enriquecimentos, aumentar o número de aves destinadas aos testes e realizar avaliações em diferentes fases do ciclo produtivo. A inclusão de grupos que não participem do treinamento e do teste de viés de julgamento permitiria distinguir os efeitos dos tratamentos daqueles relacionados à manipulação e à exposição repetida à arena.

Para o avanço da pesquisa, é imprescindível associar a análise da microbiota intestinal e de seus metabólitos a diferentes testes comportamentais e cognitivos, como objeto novo, medo, aprendizagem espacial e motivação social. Devem ser incluídos também indicadores fisiológicos e neurobiológicos, como a relação heterófilo:linfócito, marcadores inflamatórios, expressão gênica e proteica de BDNF e avaliações da morfologia hipocampal. Assim, a principal implicação desta dissertação é a necessidade de uma abordagem multidimensional, capaz de integrar ambiente, nutrição, microbiota, comportamento, cognição, estresse e neuroplasticidade para uma compreensão mais abrangente do bem-estar emocional de frangos de corte.