



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



ESTRATÉGIAS DE ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL PARA PROMOÇÃO DE ESTADOS AFETIVOS POSITIVOS E DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DE LEITÕES DESMAMADOS

Lucas Rocha Valfré
Zootecnista

Dourados - MS
2026



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



ESTRATÉGIAS DE ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL PARA PROMOÇÃO DE ESTADOS AFETIVOS POSITIVOS E DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DE LEITÕES DESMAMADOS

Lucas Rocha Valfré

Orientador: Prof^a Dr^a Fabiana Ribeiro Caldara
Coorientadores: Prof. Dr. Luan Sousa dos Santos
Prof^a Dr^a Maria Fernanda de Castro Burbarelli

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

V149e Valfre, Lucas Rocha
ESTRATÉGIAS DE ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL PARA PROMOÇÃO DE
ESTADOS AFETIVOS POSITIVOS E DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DE LEITÕES
DESMAMADOS [recurso eletrônico] / Lucas Rocha Valfre. -- 2026.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Fabiana Ribeiro Caldara .
Coorientadores: Luan Sousa dos Santos, Maria Fernanda de Castro Burbarelli.
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. bioacústica. 3. valência emocional. 4. viés atencional. 5.
suínos. I. Caldara, Fabiana Ribeiro. II. Santos, Luan Sousa Dos. III. Burbarelli, Maria
Fernanda De Castro. 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

Estratégias de enriquecimento ambiental para promoção de estados afetivos positivos e desenvolvimento cognitivo de leitões desmamados

Lucas Rocha Valfré

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 25 de março de 2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof^a Dr^a Aline Cristina Sant'Anna
Universidade Estadual Paulista
(UNESP), Jaboticabal

Prof. Dr. Leandro Batista Costa
Pontifícia Universidade Católica do
Paraná (PUCPR)

Prof.^a Dr.^a Fabiana Ribeiro Caldara
Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
Orientador(a)

BIOGRAFIA DO AUTOR

Zootecnista formado pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), mestrando no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), na área de comportamento e bem-estar animal. Durante a graduação, realizei um intercâmbio acadêmico de seis meses na Universidade de Évora, em Portugal. Essa experiência contribuiu muito para minha formação e me permitiu conhecer diferentes formas de trabalho nas ciências animais. Nesse período participei de atividades acadêmicas e práticas em áreas como avicultura, suinocultura, bovinocultura de leite e manejo de resíduos na produção animal. Também participei de projetos de extensão em aldeias indígenas, colaborando com a difusão de conhecimento técnico e apoiando iniciativas de produção animal em comunidades tradicionais. Ao longo da minha trajetória acadêmica, atuei como representante discente por cinco anos durante a graduação e por um ano na pós-graduação. Também coordenei um projeto apoiado pelo Programa Centelha, iniciativa executada no estado de Mato Grosso do Sul pela Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul (FUNDECT), voltada ao incentivo à inovação e ao empreendedorismo científico. Recebi o Prêmio Joaquim Freire do Conselho Regional de Medicina Veterinária (CRMV), duas premiações Estudante Destaque Estudante 10 e, em 2023, uma Menção Honrosa em Brasília pelos serviços prestados à Zootecnia. Sou autor de materiais técnicos publicados em revistas do agronegócio, como Agrimídia, AviNews, SuíSite e AveSite. Também fui presidente da ABZ Jovem e atualmente atuo como diretor da Associação Brasileira de Zootecnistas (ABZ) no estado de Mato Grosso do Sul. Além disso, fui nomeado assessor para assuntos internacionais da Urmia Animal Science Association, ligada à Universidade de Urmia, no Irã. Meus interesses de pesquisa estão voltados para comportamento e bem-estar animal, ambiência, cognição e emoções dos animais, buscando entender como os processos cognitivos e os estados emocionais influenciam o comportamento e o desempenho em sistemas de produção animal

EPÍGRAFE

"Interpretar como um animal se sente exige empatia; é reconhecer que, para além do instinto, existem estados mentais que definem a qualidade de uma vida que vale a pena ser vivida"

Prof. Dr. Mateus Paranhos da Costa

AGRADECIMENTOS

Querido e gentil leitor, é com um espírito demasiadamente cansado, porém profundamente grato, que este autor chega às últimas linhas desta escrita. Cada página construída neste trabalho carrega muito mais do que resultados científicos e análises acadêmicas. Carrega noites de dedicação, dúvidas, aprendizados, superações e, principalmente, a presença de pessoas que caminharam comigo ao longo dessa jornada.

Antes de tudo, agradeço a Deus pela vida, pela saúde e pela força nos momentos em que o caminho parecia mais difícil. Em muitos momentos foi a fé que renovou minhas forças e me lembrou de que todo esforço tem um propósito.

À minha família, deixo minha gratidão mais profunda. Obrigado pelo amor, pelo apoio incondicional e pela compreensão nos momentos em que precisei estar distante para me dedicar aos estudos. Cada palavra de incentivo e cada gesto de carinho foram essenciais para que eu continuasse acreditando e avançando.

À Universidade Federal da Grande Dourados e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, agradeço a oportunidade de crescimento acadêmico e pessoal. Foi neste ambiente que pude amadurecer como pesquisador, aprender com grandes profissionais e construir este trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, agradeço pelos ensinamentos compartilhados ao longo dessa caminhada. Cada aula, cada conversa e cada orientação contribuíram para a construção do conhecimento que hoje carrego comigo. De forma especial, agradeço à professora Dra. Ana Carolina Amorim Orrico pela atenção, pelo apoio e pelos ensinamentos transmitidos durante essa trajetória.

À minha orientadora, professora Dra. Fabiana Ribeiro Caldara, deixo um agradecimento que dificilmente poderia ser traduzido apenas em palavras. Muito obrigado pela confiança depositada em mim, pela paciência nos momentos de dúvida e pelos ensinamentos que ultrapassam o campo científico. Sua forma humana, sensível e dedicada de conduzir a pesquisa e orientar seus alunos é algo que levarei para toda a minha vida profissional. Em muitos momentos, suas

palavras de incentivo e sua tranquilidade foram fundamentais para que eu não desistisse diante das dificuldades. Sou profundamente grato por ter tido a oportunidade de ser seu orientado.

Aos meus coorientadores, professor Dr. Luan Sousa dos Santos e professora Dra. Maria Fernanda de Castro Burbarelli, agradeço pelas contribuições científicas, pela disponibilidade em compartilhar conhecimento e pelas orientações que enriqueceram significativamente este trabalho. A participação de ambos foi essencial para o desenvolvimento desta pesquisa e para minha formação acadêmica ao longo desta trajetória.

Ao Núcleo de Estudos de Suinocultura, Avicultura e Aquicultura (NESAQ), deixo um agradecimento muito especial. Mais do que um grupo de pesquisa, o NESAQ foi um espaço de aprendizado, convivência e crescimento. Agradeço pelas discussões, pelas experiências compartilhadas e por tudo que contribuíram para minha formação.

Aos colegas da pós-graduação do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, agradeço a convivência, pelas conversas, pelas trocas de conhecimento e pelos desafios enfrentados juntos ao longo desta caminhada. De forma especial, agradeço à Jaqueline Murback Braz, que aqui representa todos os colegas que compartilharam comigo esta etapa tão importante da vida acadêmica.

À minha amiga e colega de grupo Jéssica Lucilene Cantarini Buchini, deixo um agradecimento muito especial. Sua presença foi fundamental durante essa caminhada. Obrigado pela amizade verdadeira, pela parceria no trabalho, pela ajuda nos momentos difíceis e por tantas vezes ter sido meu braço direito dentro do grupo. Aproveito também para agradecer ao Ricardo Buchini, pelo apoio, pela convivência e pela amizade demonstrada ao longo desse período, contribuindo de forma muito positiva para essa jornada.

Ao Yann Malini Ferreira, doutorando na University of Guelph, deixo também minha profunda gratidão. Mesmo estando em outro país, nunca deixou de me ajudar sempre que precisei. Sua disponibilidade, paciência e generosidade em compartilhar conhecimento foram fundamentais em diferentes

momentos deste trabalho. Como sempre digo, você é o meu estatístico favorito. Muito obrigado por toda a ajuda e pela parceria acadêmica.

Ao Lucas Gabriel Batista Domiciano, grande amigo, agradeço de coração pelo apoio, pela presença e pela amizade ao longo dessa caminhada. Nos momentos de maior pressão e cansaço, suas palavras de incentivo e sua disposição em ajudar foram essenciais para que eu continuasse seguindo em frente. Ter pessoas verdadeiras ao nosso lado faz toda a diferença, e sua amizade foi muito importante durante essa etapa da minha vida.

À Cláucia Aparecida Honorato da Silva, agradeço pelos momentos de conversa, pelas palavras sinceras e pelos cafés acompanhados de bolo que tantas vezes tornaram os dias mais leves. Esses momentos simples tiveram um valor enorme ao longo dessa caminhada.

Aos membros da banca examinadora, agradeço a disponibilidade em avaliar este trabalho e pelas contribuições que certamente irão enriquecer esta pesquisa.

Às agências de fomento, especialmente à CAPES e ao CNPq, agradeço o apoio à pesquisa e ao desenvolvimento científico no Brasil.

Agradeço também, de forma sincera, àqueles que em algum momento duvidaram, criticaram ou tentaram dificultar esta caminhada. De alguma forma, essas situações também me fortaleceram e aumentaram ainda mais minha determinação de seguir em frente.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma maneira, contribuíram para que este trabalho fosse possível. Cada gesto de apoio, cada palavra de incentivo e cada ajuda recebida fazem parte desta conquista.

Este trabalho não é fruto de uma caminhada solitária. Ele carrega um pouco de cada pessoa que esteve presente ao longo dessa trajetória.

E, como dizem, o diamante da temporada não nasce pronto ele é lapidado pela pressão, pelo tempo e pela persistência. Que esta etapa seja apenas mais uma faceta dessa lapidação.

Com gratidão,

.

SUMÁRIO

CONSIDERAÇÕES INICIAIS	3
CAPÍTULO 1	
REVISÃO SISTEMÁTICA	9
1. INTRODUÇÃO	11
2. METODOLOGIA	13
2.1 Estratégia de busca e seleção dos estudos	13
2.2 Critérios de elegibilidade, extração e organização dos dados	15
2.3 Avaliação do risco de viés	16
3. RESULTADOS	17
3.1 Seleção dos estudos	17
3.2 Caracterização dos estudos incluídos	18
3.3 Rede de coautoria e dinâmica de colaboração científica	25
3.4 Avaliação do risco de viés	26
4. DISCUSSÃO	28
4.1 Limitações metodológicas e implicações práticas	31
5. CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	34
CAPÍTULO 2	
MÉTRICAS DE RESILIÊNCIA EM SUÍNOS: O PAPEL DA NOVIDADE E DA COMPLEXIDADE NA MODULAÇÃO DO ESTADO AFETIVO	38
1. INTRODUÇÃO	40
2. MATERIAIS E MÉTODOS	43
2.1 Aprovação ética	43
2.2 Local do experimento	43
2.3 Animais e instalações	43
2.4 Delineamento experimental e tratamentos	44
2.5 Enriquecimento ambiental	45
2.5.1 Protocolo de rotação e higienização	46
2.6 Teste de Viés de Atenção (ABT)	46
2.6.1 Arena experimental e registros comportamentais	47
2.6.2 Preparação dos animais e estímulo positivo	48

2.6.3 Protocolo experimental e estímulo aversivo	49
2.6.4 Registro comportamental e coleta de dados	49
2.7 Análise bioacústica e inferência do estado emocional	53
2.8 Avaliação Qualitativa do Comportamento (QBA)	56
2.9 Classificação dos descritores segundo valência emocional	58
2.10 Amostras biológicas e análises laboratoriais	63
2.11 Análise estatística	63
3. RESULTADOS	65
3.1 Teste de Viés de Atenção (ABT)	65
3.2 Análise bioacústica e inferência emocional	70
3.3 Avaliação Qualitativa do Comportamento (QBA)	71
3.3.1 Confiabilidade entre avaliadores	71
3.3.2 Estrutura multivariada do comportamento	72
3.3.3 Efeito dos tratamentos nos componentes principais	74
3.4 Biomarcadores de bem-estar e neuroplasticidade	75
4. CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS	80
ANEXOS	85
CONSIDERAÇÕES FINAIS	87

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Fluxograma PRISMA 2020 que descreve o processo sistemático de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão de estudos experimentais sobre enriquecimento ambiental em leitões.....	18
Figura 2 . Rede de coautoria entre pesquisadores da área de impacto do enriquecimento ambiental no desenvolvimento cognitivo e na resiliência emocional de leitões.....	24
Figura 3. Qualidade metodológica e avaliação do risco de viés dos 12 estudos incluídos, com base nos domínios da ferramenta SYRCLE.....	26

CAPÍTULO 2

Figura 1. Objetos de enriquecimento utilizados. A. Corrente ramificada; B. EA1 (PVC e mangueiras); C. EA2 (Corda de sisal).....	55
Figura 2. Ilustração da arena utilizada no teste de Viés de Atenção (ABT).....	57
Figura 3. Espectrogramas representativos das vocalizações registradas durante o teste de viés de atenção: (A) Latido (<i>Bark</i>); (B) Grunhido; (C) <i>NoseGround</i>	62
Figura 4. Curva de sobrevivência da latência para início do consumo em leitões submetidos a diferentes estratégias de enriquecimento ambiental.....	78
Figura 5. Confiabilidade interavaliadores dos descritores do QBA, expressa pelo coeficiente de correlação intraclass ICC(3,k) e respectivos intervalos de confiança de 95%.....	79
Figura 6. Escores individuais dos leitões nos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) da análise de QBA.....	80
Figura 7. Escores individuais dos leitões nos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2).....	82
Figura S1. Médias dos escores atribuídos por cada avaliador para os descritores do QBA (considerando apenas dados completos).....	95
Figura S2. Distribuição global dos escores do QBA por avaliador (boxplots com pontos individuais), agregando todos os descritores.....	95

Figura S3. Scree plot da Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos descritores do QBA, mostrando a proporção de variância explicada por cada componente e a variância acumulada.....96

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Estratégia de busca detalhada: descritores e operadores booleanos.....	14
Tabela 2. Avaliação do risco de viés dos estudos incluídos de acordo com a ferramenta SYRCLE.....	16
Tabela 3. Caracterização metodológica e síntese dos resultados dos estudos incluídos.....	19

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Etograma e critérios de codificação comportamental utilizados no Teste de Viés de Atenção (ABT).....	51
Tabela 2. Parâmetros acústicos e critérios de categorização das vocalizações de suínos utilizados para inferência emocional.....	55
Tabela 3. Descritores da Avaliação Comportamental Qualitativa e definições operacionais utilizadas para avaliar leitões durante o Teste de Viés de Atenção.....	57
Tabela 4. Classificação dos descritores segundo valência emocional e nível de ativação.....	59
Tabela 5. Tabela 5. Médias seguidas dos desvios padrão das médias do número de eventos (n) e duração (s) dos diferentes comportamentos apresentados pelos suínos registrados durante o teste de viés de atenção nos tratamentos UNI, ALT e SIM.....	66
Tabela 6. Probabilidade de consumo (%) de alimento pelos leitões após estímulos aversivos realizados durante o teste de viés de atenção – latência para o consumo. Valores apresentados como média $\pm$ erro padrão para as probabilidades.	67
Tabela 7. Efeitos do tratamento, do estímulo aversivo e da interação entre esses fatores sobre a latência para consumo de leitões, avaliados por meio do modelo de riscos proporcionais de Cox.....	68
Tabela 8. Estatísticas descritivas da análise de Kaplan-Meier para latência de consumo de leitões submetidos a diferentes tratamentos (UNI, ALT e SIM), incluindo número de eventos, observações censuradas e estimativas de tempo até o consumo.....	69

Tabela 9. Parâmetros bioacústicos e indicadores comportamentais de estado emocional de leitões submetidos a diferentes tipos de enriquecimento ambiental.....	70
Tabela 10. Comparação entre o período pré-exposição (basal comum) e o período pós-exposição dos níveis séricos de serotonina e BDNF e da concentração de cortisol no pelo (ng/ml), por tratamento (UNI, ALT e SIM).....	75
Tabela 11. Comparação no período pós-exposição dos níveis séricos de serotonina e BDNF e da concentração de cortisol no pelo entre os tratamentos (UNI, ALT e SIM).....	76

LISTA DE ABREVIATURAS

- BDNF:** *Brain-derived neurotrophic factor* (Fator neurotrófico derivado do cérebro).
- BE:** *Barren Environment* (Ambiente pobre/estéril).
- DOPAC:** Ácido 3,4-diidroxifenilacético (metabólito da dopamina).
- EE:** *Enriched Environment* (Ambiente enriquecido).
- HR:** *High Responders* (Animais de alta reatividade).
- IGF-1:** *Insulin-like growth factor 1* (Fator de crescimento semelhante à insulina tipo 1).
- IL-6:** Interleucina 6.
- IL-10:** Interleucina 10.
- LR:** *Low Responders* (Animais de baixa reatividade).
- NGF:** *Nerve growth factor* (Fator de crescimento nervoso).
- OSF:** *Open Science Framework*.
- PICO:** *Population, Intervention, Comparison, Outcomes* (População, Intervenção, Comparação e Desfechos).
- PRISMA:** *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*.
- PVC:** Policloreto de vinila (material de fabricação de objetos/brinquedos).
- QBA:** *Qualitative Behavioural Assessment* (Avaliação Qualitativa do Comportamento).
- RoB:** *Risk of Bias* (Risco de viés).
- SYRCLE:** *Systematic Review Centre for Laboratory Animal Experimentation* (ferramenta de avaliação de risco de viés).
- TNF- α :** *Tumor necrosis factor alpha* (Fator de necrose tumoral alfa).
- 5-HIAA:** Ácido 5-hidroxi-indolacético (metabólito da serotonina).
- ABT** – Teste de Viés de Atenção (Attention Bias Test)
- ALT** – Enriquecimento Alternado
- ANOVA** – Análise de Variância
- AFT** – Modelo de Tempo de Falha Acelerado (Accelerated Failure Time)
- BDNF** – Fator Neurotrófico Derivado do Cérebro (Brain-Derived Neurotrophic Factor)
- CEUA** – Comissão de Ética no Uso de Animais
- CR** – Corrente Plástica
- DIC** – Delineamento Inteiramente Casualizado
- EA1** – Dispositivo de enriquecimento ambiental 1 (estrutura em PVC)
- EA2** – Dispositivo de enriquecimento ambiental 2 (corda de sisal)
- ELISA** – Enzyme-Linked Immunosorbent Assay

EPM – Erro Padrão da Média

ES1 – Primeiro estímulo aversivo (primeira exposição sonora)

ES2 – Segundo estímulo aversivo (reexposição sonora)

F0 – Frequência Fundamental

GLM – Modelo Linear Generalizado (Generalized Linear Model)

HNR – Harmonics-to-Noise Ratio

ICC – Coeficiente de Correlação Intraclass (Intraclass Correlation Coefficient)

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

LR – Teste de Razão de Verossimilhança (Likelihood Ratio)

OLS – Mínimos Quadrados Ordinários (Ordinary Least Squares)

PCA – Análise de Componentes Principais (Principal Component Analysis)

PROC MIXED – Procedimento de Modelos Mistos do SAS

PROC TTEST – Procedimento de Teste t do SAS

QBA – Avaliação Qualitativa do Comportamento (Qualitative Behaviour Assessment)

SIM – Enriquecimento Simultâneo

TR – Time Ratio

UNI – Enriquecimento Único

VAS – Escala Visual Analógica (Visual Analogue Scale)

Estratégias de enriquecimento ambiental para promoção estados afetivos positivos e desenvolvimento cognitivo de leitões desmamados

RESUMO. Sistemas intensivos de produção de suínos tendem a apresentar baixa complexidade ambiental, restringindo comportamentos motivados (exploração/manipulação oral) e podendo comprometer o bem-estar. O enriquecimento ambiental é promissor para favorecer estados afetivos mais positivos, cognição e resiliência ao estresse, porém ainda há lacunas quanto a evidências integradas entre medidas comportamentais, cognitivas, bioacústicas e biomarcadores. Esta dissertação avaliou, de forma complementar, os efeitos do enriquecimento ambiental em leitões por meio de uma revisão sistemática (Cap. 1) e de um experimento controlado em creche (Cap. 2). No Capítulo 1, a revisão seguiu o PRISMA 2020, com buscas na Web of Science e Scopus (2000–2025) e elegibilidade definida por PICO. Foram incluídos 12 estudos experimentais e, devido à heterogeneidade metodológica, realizou-se síntese narrativa. Predominou o enriquecimento físico ($\approx 80\%$), sobretudo na creche e crescimento. Em geral, os estudos relataram maior exploração/engajamento, redução de agressividade e comportamentos deletérios e melhorias em memória espacial e resolução de problemas; efeitos em tarefas cognitivas mais complexas foram variáveis e, por vezes, modulados por diferenças individuais (p. ex., estilo de enfrentamento). A revisão também evidenciou limitações recorrentes, especialmente a baixa integração de indicadores neurobiológicos/fisiológicos, reforçando a necessidade de abordagens multimodais. No Capítulo 2, 675 leitões foram distribuídos em três estratégias: UNI (um objeto contínuo), ALT (objeto contínuo + um segundo objeto alternado semanalmente) e SIM (três objetos simultâneos e contínuos). Uma subamostra ($n=32$) foi submetida ao Teste de Viés Atencional (ABT), integrando medidas comportamentais, bioacústicas, QBA e biomarcadores (cortisol no pelo, serotonina e BDNF séricos). Os tratamentos pouco diferiram no componente atencional do ABT e no uso do espaço; as diferenças concentraram-se em perfis de coping (ALT com maior tempo em pé parado; SIM com mais tentativas de fuga; UNI com maior excreção). A resposta alimentar pós-ameaça foi influenciada principalmente pelo estímulo (ES1 vs ES2), sem efeito consistente de tratamento. O repertório vocal no ABT foi restrito (sem gritos/guinchos e sem grunhidos claros); ALT apresentou maior tempo de vocalização (grunhidos ásperos), mas o índice vocal composto de estado afetivo não diferiu entre tratamentos. Na QBA, SIM apresentou expressão global mais compatível com valência positiva. Nos biomarcadores, UNI apresentou perfil menos favorável no pós (cortisol no pelo mais alto e BDNF mais baixo), enquanto ALT destacou-se por ser o único tratamento com aumento de BDNF do basal ao pós sem aumento de cortisol no pelo. Conclui-se que a complexidade e, sobretudo, a dinâmica temporal do enriquecimento modulam o bem-estar por vias parcialmente distintas, e que estratégias que combinem estabilidade com novidade controlada têm potencial para otimizar resultados em sistemas produtivos.

Palavras-chave: bem-estar animal; bioacústica; complexidade ambiental; valência emocional; viés atencional; suínos.

Environmental enrichment strategies to promote positive affective states and cognitive development in weaned piglets

ABSTRACT. Intensive pig production systems often provide low environmental complexity, restricting motivated behaviours (exploration/oral manipulation) and potentially compromising welfare. Environmental enrichment is promising for promoting more positive affective states, cognition, and resilience to stress; however, there remain gaps in integrated evidence combining behavioural, cognitive, bioacoustic, and biomarker measures. This dissertation assessed, in a complementary way, the effects of environmental enrichment in piglets through a systematic review (Chapter 1) and a controlled nursery experiment (Chapter 2). In Chapter 1, the review followed PRISMA 2020, with searches in Web of Science and Scopus (2000–2025) and eligibility defined by PICO. Twelve experimental studies were included and, due to methodological heterogeneity, a narrative synthesis was performed. Physical enrichment predominated ($\approx 80\%$), especially during the nursery and growing phases. Overall, studies reported increased exploration/engagement, reduced aggression and harmful behaviours, and improvements in spatial memory and problem solving; effects on more complex cognitive tasks were variable and sometimes modulated by individual differences (e.g., coping style). The review also highlighted recurring limitations, particularly the limited integration of neurobiological/physiological indicators, reinforcing the need for multimodal approaches. In Chapter 2, 675 nursery piglets were assigned to three strategies: UNI (one continuous object), ALT (one continuous object + a second object alternated weekly), and SIM (three simultaneous continuous objects). A subsample ($n=32$) underwent an Attention Bias Test (ABT), integrating behavioural measures, bioacoustics, QBA, and biomarkers (hair cortisol, serum serotonin, and serum BDNF). Treatments differed little in the ABT attentional component and space use; differences were concentrated in coping profiles (ALT with more time standing still; SIM with more escape attempts; UNI with more elimination events). Post-threat feeding responses were mainly influenced by the stimulus (ES1 vs ES2), with no consistent treatment effect. The vocal repertoire in the ABT was restricted (no screams/squeals and no clear grunts); ALT showed longer vocalisation time (harsh grunts), but the composite vocal affective-state index did not differ among treatments. In QBA, SIM showed an overall expression consistent with more positive valence. Regarding biomarkers, UNI showed a less favourable post-exposure profile (higher hair cortisol and lower BDNF), whereas ALT stood out as the only treatment with increased BDNF from baseline to post without an increase in hair cortisol. We conclude that enrichment complexity—and especially its temporal dynamics—modulates welfare through partially distinct pathways, and that strategies combining stability with controlled novelty have potential to optimise outcomes in commercial systems.

Keywords: animal welfare; attention bias; bioacoustics; emotional valence; environmental complexity; pigs.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A intensificação da produção animal foi decisiva para suprir a crescente demanda global por proteína. Contudo, esse avanço produtivo resultou na padronização e restrição dos ambientes de criação, características marcantes da suinocultura intensiva. Nesses sistemas, os animais são frequentemente alojados em altas densidades e em espaços restritos, com baixa complexidade estrutural, social e sensorial. Tal empobrecimento ambiental impõe severas limitações à expressão de comportamentos naturais da espécie, como explorar, fuçar e interagir socialmente, favorecendo o surgimento de condutas indesejáveis, como agressividade, estereotipias e caudofagia, além de impactar negativamente o estado emocional e elevar os níveis de estresse do plantel (D'Eath et al., 2014; Guy et al., 2013; Valros et al., 2016).

Paralelamente à evolução dos sistemas produtivos, o conceito de bem-estar animal também passou por transformações significativas. A visão clássica, centrada apenas na ausência de dor, doença e sofrimento, foi ampliada para incluir aspectos relacionados à cognição, às emoções e à capacidade adaptativa dos animais. Sob essa nova perspectiva, o bem-estar não se limita à redução de experiências negativas, mas envolve, sobretudo, a promoção de estados afetivos positivos e a possibilidade de interação funcional com o ambiente (Boissy et al., 2007a; Boissy et al., 2007b; Mendl et al., 2010; Mellor, 2014).

Nesse contexto, o enriquecimento ambiental consolidou-se como uma das principais estratégias de manejo voltadas à melhoria do bem-estar em sistemas intensivos. A introdução de modificações físicas ou sociais no ambiente busca ampliar as oportunidades de escolha, exploração e manipulação pelos animais (Van De Weerd et al., 2003; Buijs; Muns, 2019; Godyn; Nowicki & Herbut, 2019). Em suínos, a disponibilização de materiais manipuláveis e destrutíveis, como palha, cordas, madeira e correntes, tem demonstrado eficácia na estimulação do comportamento exploratório e na redução de interações agonísticas e lesivas (Studnitz et al., 2007; Foppa et al., 2018).

Apesar disso, a adoção do enriquecimento ambiental, embora recomendada por normativas (IN 113/2020, MAPA) e protocolos de avaliação de bem-estar animal (EFSA, 2007; Welfare Quality®, 2009) como forma de

prevenção de problemas comportamentais, como a caudofagia, não garante, por si só, resultados efetivos. A eficácia dessa estratégia depende diretamente das características dos estímulos ofertados, sendo fundamental que apresentem atributos como novidade, destrutibilidade e variabilidade. Na ausência desses fatores, os objetos perdem rapidamente seu valor motivacional, reduzindo sua efetividade ao longo do tempo (Trickett et al., 2009; Benard et al., 2014).

Mesmo diante dos avanços na área, a literatura científica ainda apresenta lacunas importantes. Muitos estudos concentram-se em respostas comportamentais ou produtivas isoladas, sem integrar dimensões fundamentais como cognição, estados emocionais, plasticidade neural e estresse crônico. Essa abordagem fragmentada limita a compreensão dos mecanismos pelos quais o enriquecimento ambiental influencia a adaptação e o bem-estar dos animais em sistemas intensivos (Buijs & Muns, 2019; Lippi et al., 2022).

Essa limitação torna-se ainda mais crítica quando se consideram as fases iniciais da vida dos suínos, como lactação, desmame e creche, períodos determinantes para o desenvolvimento fisiológico e comportamental. O desmame, em particular, representa um dos momentos mais desafiadores, envolvendo a combinação de múltiplos estressores, como separação materna, mudança abrupta de dieta, reagrupamento social e transição de ambiente (Cox & Cooper, 2001; Weary et al., 2007; Leeb et al., 2014). Em condições de baixa estimulação ambiental, é comum que a motivação exploratória dos leitões seja redirecionada para os próprios companheiros de baia, aumentando a incidência de lesões e comprometendo o bem-estar (D'Eath et al., 2014).

Por outro lado, evidências indicam que a exposição a ambientes mais complexos durante essas fases iniciais pode promover maior flexibilidade comportamental e resiliência frente a desafios futuros. A complexidade ambiental parece atuar diretamente na modulação da plasticidade neural e na regulação emocional, refletindo-se tanto em alterações comportamentais quanto em biomarcadores fisiológicos (Douglas et al., 2012; Ursinus et al., 2013; 2014; Boesch, 2021; Friggens et al., 2022; Colditz et al., 2024).

Diante dessa complexidade, a avaliação do bem-estar animal deve necessariamente assumir um caráter multidimensional. Testes comportamentais permitem avaliar padrões de reatividade e estilos de enfrentamento, enquanto testes de viés cognitivo e atenção possibilitam inferir estados afetivos a partir da resposta a estímulos ambíguos (Mendl et al., 2009; Carreras et al., 2015; Murphy et al., 2014; Horback, 2019). Essas abordagens são complementadas pela Avaliação Qualitativa do Comportamento (QBA), que integra a expressão corporal e emocional dos animais (Wemelsfelder et al., 2001; Morgan et al., 2014; Schmitt et al., 2019). Além disso, indicadores fisiológicos, como cortisol e serotonina, aliados a técnicas não invasivas, como a termografia infravermelha, contribuem para uma compreensão mais abrangente das respostas emocionais ao ambiente (Travain & Valsecchi, 2021; Budny-Walczak et al., 2024).

Dessa forma, os elementos apresentados nesta seção fundamentam diretamente a estrutura desta dissertação. O Capítulo 1 aprofunda a análise do estado da arte sobre enriquecimento ambiental em suínos, evidenciando os avanços, limitações e lacunas existentes na literatura científica. Já o Capítulo 2 avança nesse cenário ao propor uma abordagem experimental integrativa, investigando como diferentes estratégias de enriquecimento considerando sua complexidade e dinâmica modulam respostas comportamentais, cognitivas, fisiológicas e afetivas em leitões. Assim, ambos os capítulos se complementam, permitindo não apenas consolidar o conhecimento existente, mas também gerar evidências aplicadas que contribuem para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de promoção do bem-estar animal em sistemas intensivos de produção.

REFERÊNCIAS

- Benard, M., Schuitmaker, T. J., & De Cock Buning, T. (2014). Scientists and Dutch pig farmers in dialogue about tail biting: Unravelling the mechanism of multi-stakeholder learning. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, 27(3), 431–452. doi.org/10.1007/s10806-013-9471-x
- Boesch, C. (2021). Identifying animal complex cognition requires natural complexity. **iScience**, 24(3), 102195. doi.org/10.1016/j.isci.2021.102195
- Boissy, A., Arnould, C., Chaillou, E., Désiré, L., Duvaux-Ponter, C., Greiveldinger, L., ... & Veissier, I. (2007a). Emotions and cognition: A new approach to animal welfare. **Animal Welfare**, 16(S), 37–43.
- Buijs, S., & Muns, R. (2019). A review of the effects of non-straw enrichment on tail biting in pigs. **Animals**, 9(10), 824. doi.org/10.3390/ani9100824
- Budny-Walczak, A., Wilk, M., & Kupczyński, R. (2024). Infrared Thermography in Assessment of Facial Temperature of Racing Sighthound-Type Dogs in Different Environmental Conditions. **Animals**, 14(8), 1180. doi.org/10.3390/ani14081180
- Carreras, R., Mainau, E., Rodriguez, P., Llonch, P., Dalmau, A., Manteca, X., & Velarde, A. (2015). Cognitive bias in pigs: Individual classification and consistency over time. **Journal of Veterinary Behavior**, 10(6), 577–581. doi.org/10.1016/j.jveb.2015.09.001
- Coutellier, L., Arnould, C., Boissy, A., Orgeur, P., Prunier, A., Veissier, I., & Meunier-Salaun, M. C. (2007). Pig's responses to repeated social regrouping and relocation during the growing-finishing period. **Applied Animal Behaviour Science**, 105(1–3), 102–114. doi.org/10.1016/j.applanim.2006.05.007
- Cox, L. N., & Cooper, J. J. (2001). Observations on the pre- and post-weaning behaviour of piglets reared in commercial indoor and outdoor environments. **Animal Science**, 72, 75–86. doi.org/10.1017/S1357729800055570
- De Boyer Des Roches, A., Lussert, A., Marion, F., Herry, V., Rainard, P., Durand, D., Wemelsfelder, F., & Foucras, G. (2018). Dairy cows under experimentally-induced *Escherichia coli* mastitis show negative emotional states assessed through qualitative behaviour assessment. **Applied Animal Behaviour Science**, 206, 1–11. doi.org/10.1016/j.applanim.2018.06.004
- Douglas, C., Bateson, M., Walsh, C., Bédoué, A., & Edwards, S. A. (2012). Environmental enrichment induces optimistic cognitive biases in pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, 139(1–2), 65–73. doi.org/10.1016/j.applanim.2012.02.018
- EFSA—Panel on Animal Health and Welfare. (2007). The risks associated with tail biting in pigs and possible means to reduce the need for tail docking considering the different housing and husbandry systems. **EFSA Journal**, 5(611), 1–13.
- Foppa, L., Caldara, F. R., De Moura, R., Machado, S. P., Nääs, I. A., Garcia, R. G., Gonçalves, L. M. P., & De Oliveira, G. F. (2018). Pig's behavioral response in nursery and growth phases to environmental enrichment objects. Spanish

Journal of Agricultural Research, 16(3), e0507. doi.org/10.5424/sjar/2018163-12303

Friggens, N. C., Adriaens, I., Boré, R., Cozzi, G., Jurquet, J., Kamphuis, C., Leiber, F., Lora, I., Sakowski, T., Statham, J., & De Haas, Y. (2022). Resilience: Reference measures based on longer-term consequences are needed to unlock the potential of precision livestock farming technologies for quantifying this trait. **Peer Community Journal**, 2, e38. <https://peercommunityjournal.org/articles/10.24072/pcjournal.136/>

Godyn, D., Nowicki, J., & Herbut, P. (2019). Effects of environmental enrichment on pig welfare—A review. **Animals**, 9(6), 383. doi.org/10.3390/ani9060383

Guy, J. H., Meads, Z. A., Schiel, R. S., & Edwards, S. A. (2013). The effect of combining different environmental enrichment materials on enrichment use by growing pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, 144(1–2), 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.01.006>

Horback, K. M. (2019). The emotional lives of animals. In B. Fischer (Ed.), **The Routledge handbook of animal ethics** (pp. 55–70). Routledge.

Leeb, C., Hegelund, L., Edwards, S., Mejer, H., Roepstorff, A., Rousing, T., Sundrum, A., & Bonde, M. (2014). Animal health, welfare and production problems in organic weaner pigs. **Organic Agriculture**, 4(2), 123–133. doi.org/10.1007/s13165-013-0054-y

Lippi, I. C. C., Caldara, F. R., & De Lima Almeida Paz, I. C. (2022). Global and Brazilian scenario of guidelines and legislation on welfare in pig farming. **Animals (Basel)**, 12(19), 2615. doi.org/10.3390/ani12192615

Mellor, D. (2014). Enhancing animal welfare by creating opportunities for positive affective engagement. **New Zealand Veterinary Journal**, 63(1), 3–8. doi.org/10.1080/00480169.2014.926799

Mendl, M., Burman, O. H., & Paul, E. S. (2010). An integrative and functional framework for the study of animal emotion and mood. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1696), 2895–2904. doi.org/10.1098/rspb.2010.0303

Mendl, M., Burman, O. H. P., Parker, R. M. A., & Paul, E. S. (2009). Cognitive bias as an indicator of animal emotion and welfare: Emerging evidence and underlying mechanisms. **Applied Animal Behaviour Science**, 118(3–4), 161–181. doi.org/10.1016/j.applanim.2009.02.023

Morgan, T., Pluske, J., Miller, D., Collins, T., Barnes, A. L., Wemelsfelder, F., & Fleming, P. A. (2014). Socialising piglets in lactation positively affects their post-weaning behaviour. **Applied Animal Behaviour Science**, 158, 23–33. doi.org/10.1016/j.applanim.2014.06.001

Murphy, E., Nordquist, R. E., & Van Der Staay, F. J. (2014). A review of behavioural methods to study emotion and mood in pigs (*Sus scrofa*). **Applied Animal Behaviour Science**, 159, 9–28. doi.org/10.1016/j.applanim.2014.08.002

- Schmitt, O., O'driscoll, K., Baxter, E., & Boyle, L. (2019). Artificial rearing affects the emotional state and reactivity of pigs post-weaning. **Animal Welfare**, 28(4), 433–442. doi.org/10.7120/09627286.28.4.433
- Studnitz, M., Jensen, M. B., & Pedersen, L. J. (2007). Why do pigs root and in what will they root? A review on the exploratory behaviour of pigs in relation to environmental enrichment. **Applied Animal Behaviour Science**, 107(3–4), 183–197. doi.org/10.1016/j.applanim.2006.11.013
- Travain, T., & Valsecchi, P. (2021). Infrared Thermography in the Study of Animals' Emotional Responses: A Critical Review. *Animals*, 11(9), 2510. doi.org/10.3390/ani11092510
- Trickett, S. L., Guy, J. H., & Edwards, S. A. (2009). The role of novelty in environmental enrichment for the weaned pig. **Applied Animal Behaviour Science**, 116(1), 45–51. doi.org/10.1016/j.applanim.2008.07.007
- Ursinus, W. W., Van Reenen, C. G., Reimert, I., & Bolhuis, J. E. (2014). Tail biting in pigs: Blood serotonin and fearfulness as pieces of the puzzle? **PLoS One**, 9(9), e107040. doi.org/10.1371/journal.pone.0107040
- Ursinus, W. W., Bolhuis, J. E., Zonderland, J. J., Rodenburg, T. B., De Souza, A. S., Koopmanschap, R. E., Kemp, B., Korte-Bouws, G. A., Korte, S. M., & Van Reenen, C. G. (2013). Relations between peripheral and brain serotonin measures and behavioural responses in a novelty test in pigs. **Physiology & Behavior**, 118, 88–96. doi.org/10.1016/j.physbeh.2013.05.018
- Valros, A., Munsterhjelm, C., Hänninen, L., Kauppinen, T., & Heinonen, M. (2016). Managing undocked pigs – On-farm prevention of tail biting and attitudes towards tail biting and docking. **Porcine Health Management**, 2, 2. doi.org/10.1186/s40813-016-0020-7
- Van De Weerd, H. A., Docking, C. M., Day, J. E. L., Avery, P. J., & Edwards, S. A. (2003). A systematic approach towards developing environmental enrichment for pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, 84, 101–118. doi.org/10.1016/S0168-1591(03)00150-3
- Weary, D. M., Jasper, J., & Hötzel, M. L. (2008). Understanding weaning distress. **Applied Animal Behaviour Science**, 110, 24–41. doi.10.1016/j.applanim.2007.03.025
- Welfare Quality® Consortium. (n.d.). Welfare Quality® assessment protocol for pigs (sows and piglets, growing and finishing pigs). Lelystad, Netherlands: Welfare Quality® Consortium.
- Weschenfelder, A. V., Saucier, L., Maldague, X., Rocha, L. M., Schaefer, A. L., & Faucitano, L. (2013). Use of infrared ocular thermography to assess physiological conditions of pigs prior to slaughter and predict pork quality variation. **Meat Science**, 95(3), 616–620. doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.06.003

CAPÍTULO 1

REVISÃO SISTEMÁTICA

Artigo submetido para publicação no periódico:

Applied Animal Behaviour Science (JIF 2024 – 2.0), sob o título “Impact of environmental enrichment on cognitive development and emotional resilience in piglets: a systematic review”

Impacto do enriquecimento ambiental no desenvolvimento cognitivo e na resiliência emocional em leitões: uma revisão sistemática

RESUMO. Em sistemas intensivos de produção, a baixa complexidade ambiental pode comprometer o desenvolvimento cognitivo e os estados afetivos de leitões, com implicações para a resiliência emocional frente a desafios. O enriquecimento ambiental tem sido investigado por seu potencial de modular aprendizagem/memória, valência afetiva e reatividade emocional. Assim, esta revisão sistemática, conduzida conforme PRISMA 2020, avaliou criticamente as evidências sobre os efeitos do enriquecimento no desenvolvimento cognitivo, nos estados afetivos e resiliência emocional de leitões. As buscas foram realizadas nas bases Web of Science e Scopus (2000–2025), com critérios de elegibilidade definidos por PICO. Foram incluídos 12 estudos experimentais, avaliados pela ferramenta SYRCLE RoB, com síntese narrativa devido à heterogeneidade metodológica. A maioria dos estudos (92%) foi conduzida na Holanda, com foco nas fases de creche e crescimento, predominando o enriquecimento físico (80%). Os resultados indicam melhora consistente na memória espacial e na resolução de problemas, além de redução de comportamentos deletérios e agressividade. Enriquecimentos sociais aumentaram a resiliência ao isolamento e reduziram a neofobia. Contudo, os efeitos em tarefas cognitivas complexas foram variáveis e influenciados pelo estilo de enfrentamento. O enriquecimento estrutural destacou-se como base para ganhos cognitivos e estabilidade emocional, embora com respostas individuais distintas. Persistem limitações metodológicas, como ausência de cegamento, uso restrito de indicadores fisiológicos e escassez de marcadores neurobiológicos. Conclui-se que o enriquecimento ambiental promove benefícios mensuráveis, mas avanços na área dependem de maior padronização e integração de abordagens multimodais mais sensíveis.

Palavras-chave: bem-estar animal; complexidade ambiental; estado afetivo; memória espacial; viés cognitivo.

Impact of environmental enrichment on cognitive development and emotional resilience in piglets: a systematic review

ABSTRACT. In intensive production systems, low environmental complexity may impair piglets' cognitive development and affective states, with implications for emotional resilience to challenges. Environmental enrichment has been investigated for its potential to modulate learning/memory, affective valence, and emotional reactivity. Accordingly, this systematic review, conducted under PRISMA 2020 guidelines, critically assessed evidence on the effects of enrichment on piglets' cognitive development and affective states/emotional resilience. Searches were performed in Web of Science and Scopus (2000–2025), with eligibility criteria defined using PICO. Twelve experimental studies were included, assessed using the SYRCLE Risk of Bias tool, and narratively synthesized due to methodological heterogeneity. Most studies were conducted

in the Netherlands (92%), focused on the nursery and growing phases, and primarily tested physical enrichment (80%). Overall, enrichment consistently improved spatial memory and problem solving and reduced harmful behaviors and aggression. Social enrichment increased resilience to isolation and reduced neophobia. However, effects on complex cognitive tasks were variable and influenced by animals' coping style. Structural enrichment emerged as a key basis for cognitive gains and emotional stability, although individual responses differed. Recurrent methodological limitations—such as lack of blinding, limited use of physiological indicators, and scarcity of neurobiological markers—highlight the need for more standardized and multimodal approaches. In conclusion, environmental enrichment yields measurable benefits, but progress in the field depends on improved experimental standardization and the integration of more sensitive multimodal measures.

Keywords: animal welfare; environmental complexity; affective state; spatial memory; cognitive bias

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas intensivos de produção de suínos são comumente caracterizados por condições de alojamento simplificadas, nas quais a ausência de complexidade ambiental restringe a expressão de comportamentos específicos da espécie e aumenta o risco de distúrbios comportamentais, como estereotípias, comportamentos orais redirecionados, agressividade e estados apáticos (van de Weerd and Day, 2009; Mkwanazi et al., 2019). Nesse contexto, o enriquecimento ambiental tem sido amplamente reconhecido como uma estratégia de manejo fundamental para mitigar os efeitos negativos do empobrecimento ambiental e promover o bem-estar animal.

O enriquecimento ambiental pode ser definido, de forma ampla, como qualquer modificação no ambiente de criação que amplie as oportunidades comportamentais relevantes às necessidades biológicas e às capacidades cognitivas da espécie. Em suínos, uma ampla gama de estratégias de enriquecimento tem sido investigada, incluindo substratos manipuláveis, objetos destrutíveis e interativos, brinquedos, materiais para fuçar, estímulos sensoriais e alterações na estrutura das baias ou na complexidade espacial. Essas intervenções têm sido consistentemente associadas à redução da agressividade e de comportamentos redirecionados, bem como ao aumento da exploração, do

comportamento lúdico e da flexibilidade comportamental, todos indicativos de melhores estados de bem-estar (Rosvold et al., 2024; Lee et al., 2025).

Além desses efeitos comportamentais, evidências crescentes sugerem que o enriquecimento ambiental também influencia processos cognitivos e a regulação emocional, destacando sua relevância não apenas na prevenção de estados negativos de bem-estar, mas também na promoção de experiências afetivas positivas. Do ponto de vista neurobiológico, ambientes enriquecidos são conhecidos por modular mecanismos subjacentes à plasticidade neural, incluindo neurogênese, sinaptogênese e a expressão de fatores neurotróficos, como o fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) (Falkenberg et al., 1992; Khalil, 2024). Embora grande parte dessas evidências provenha de modelos animais de laboratório, esses mecanismos são particularmente relevantes para suínos, uma espécie com elevada capacidade cognitiva e rápido desenvolvimento cerebral pós-natal (Gieling et al., 2011; Mudd and Dilger, 2017). Os períodos de lactação e creche representam janelas críticas de desenvolvimento, durante as quais as condições ambientais podem exercer efeitos duradouros sobre a cognição, a regulação emocional e a resiliência ao estresse (Bolhuis et al., 2004; Mudd and Dilger, 2017).

Diversos estudos demonstram que leitões expostos a ambientes enriquecidos apresentam maior resiliência a desafios de manejo, como o desmame, menor reatividade à novidade e melhores respostas adaptativas a mudanças sociais e ambientais. Esses benefícios, em alguns casos, são acompanhados por melhorias no desempenho de aprendizagem, memória e tomada de decisão, bem como por respostas afetivas mais adaptativas em paradigmas de viés cognitivo (Jong et al., 2000; Jansen et al., 2009; Douglas et al., 2012; Colditz and Hine, 2016; Grimberg-Henrici et al., 2016; Luo et al., 2019, 2020; Lee et al., 2025). Em contrapartida, a criação de leitões em ambientes pobres em estímulos tem sido associada a prejuízos no desenvolvimento cognitivo, maior reatividade emocional, vieses cognitivos pessimistas e indicadores de estresse crônico, comprometendo tanto o bem-estar quanto a capacidade adaptativa ao longo da vida (Luo et al., 2020).

Apesar do crescente volume de estudos sobre enriquecimento ambiental em suínos, ainda existem limitações importantes. Muitos trabalhos concentram-se predominantemente em desfechos comportamentais ou produtivos, com pouca integração entre indicadores cognitivos, afetivos e fisiológicos em um mesmo delineamento experimental. A avaliação fisiológica, por sua vez, frequentemente se restringe à mensuração de cortisol, o que pode fornecer uma representação incompleta ou dependente do contexto do estresse e do bem-estar. Além disso, a ausência de padronização nos protocolos de testes cognitivos e nos modelos de enriquecimento dificulta a comparação entre estudos e limita a extrapolação dos resultados para sistemas comerciais de produção.

Diante dessas lacunas, torna-se necessária uma síntese abrangente das evidências disponíveis sobre o desenvolvimento cognitivo e os estados afetivos em leitões. Assim, a presente revisão sistemática, conduzida de acordo com as diretrizes PRISMA 2020 (Page et al., 2021), tem como objetivo avaliar criticamente os efeitos do enriquecimento ambiental sobre a cognição e o funcionamento emocional de leitões. Ao integrar resultados de diferentes domínios comportamental, cognitivo e fisiológico, esta revisão busca identificar padrões consistentes, destacar limitações metodológicas e discutir implicações para o desenvolvimento de estratégias de enriquecimento aplicáveis aos sistemas modernos de produção suinícola.

2. METODOLOGIA

2.1 Estratégia de busca e seleção dos estudos

Esta revisão sistemática foi conduzida de acordo com as diretrizes PRISMA 2020. O protocolo metodológico foi registrado no Open Science Framework (OSF) sob o número 10.17605/OSF.IO/2BSDZ e está publicamente acessível em <http://www.openscienceframework.osf.com>. A questão de pesquisa norteadora foi: Em leitões, o enriquecimento ambiental, quando comparado ao alojamento convencional, melhora o desenvolvimento cognitivo e modula os estados afetivos?

Uma busca sistemática foi conduzida em 10 de agosto de 2025 nas bases Web of Science e Scopus, abrangendo publicações de 2000 a 2025. A estratégia foi ajustada após testes-piloto para maximizar a recuperação de estudos relevantes, equilibrando sensibilidade e especificidade. Os descritores foram organizados em três blocos população (suínos), intervenção (enriquecimento ambiental) e desfechos (indicadores cognitivos e/ou afetivos) combinados por operadores booleanos, com busca restrita aos campos de título, resumo e palavras-chave. Para ampliar a amostragem inicial, não foram aplicadas restrições de idioma ou tipologia documental.

Os critérios de elegibilidade foram definidos com base no PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcomes). Foram incluídos estudos experimentais com *Sus scrofa domesticus* nas fases iniciais do desenvolvimento que compararam enriquecimento ambiental com alojamento convencional ou condições sem estímulos, e avaliaram desfechos cognitivos e/ou afetivos. Para esta revisão, o enriquecimento foi considerado de forma multidimensional (físico/estrutural ou objetos manipuláveis, sensorial, cognitivo, social ou nutricional), desde que implementado continuamente durante o período de alojamento experimental.

A estratégia completa de busca, incluindo os descritores e as combinações booleanas, está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Estratégia de busca detalhada: descritores e operadores booleanos.

Concept	Search terms
Population	<i>pig OR pigs OR piglet OR piglets OR swine</i>
Intervention	<i>“Environmental enrichment” OR “enriched environment” OR “enrichment devices” OR “cognitive enrichment”</i>
Outcomes	<i>“Cognitive development” OR cognition OR learning OR memory OR “cognitive function” OR “attention bias” OR “judgment bias” OR “affective state” OR “brain-derived neurotrophic factor” OR BDNF</i>

2.2 Critérios de elegibilidade, extração de dados e organização

Os estudos deveriam avaliar ao menos um desfecho cognitivo e/ou afetivo, como aprendizagem, memória, comportamento exploratório, comportamento lúdico, viés de julgamento, viés de atenção ou indicadores de reatividade emocional. Também foram considerados elegíveis estudos que reportaram desfechos neurobiológicos ou fisiológicos relacionados à cognição ou ao estado afetivo, incluindo cortisol ou fatores neurotróficos. Foram excluídos artigos de revisão, editoriais, resumos de congressos e estudos publicados em idiomas diferentes do inglês.

Todas as referências recuperadas foram importadas para o software Rayyan (Qatar Computing Research Institute) para remoção de duplicatas e triagem dos estudos. A seleção dos estudos foi conduzida em duas etapas. Inicialmente, títulos e resumos foram avaliados de forma independente por dois revisores, utilizando o modo cego da plataforma Rayyan. Em seguida, os textos completos dos estudos potencialmente elegíveis foram analisados com base nos critérios de inclusão previamente definidos. Divergências em qualquer etapa foram resolvidas por meio de discussão e consenso entre os revisores. As razões para exclusão na etapa de leitura completa foram registradas e estão apresentadas no fluxograma PRISMA (Figura 1).

A extração de dados foi realizada de forma independente por dois revisores, utilizando um formulário estruturado e previamente testado. As informações extraídas incluíram: autores e ano de publicação, país, raça, linhagem e tamanho amostral, fase de desenvolvimento, tipo e duração do enriquecimento, delineamento experimental, desfechos cognitivos, comportamentais e fisiológicos avaliados, além dos principais resultados.

Após conferência cruzada e validação, todos os dados extraídos foram compilados em uma tabela-síntese utilizando o Microsoft Excel, com o objetivo de facilitar a comparação estruturada entre os estudos.

2.3 Avaliação do risco de viés

A qualidade metodológica e o risco de viés dos estudos incluídos foram avaliados de forma independente por três revisores, utilizando a ferramenta SYRCLE Risk of Bias (RoB) para estudos com animais (Hooijmans et al., 2014). Essa ferramenta foi especificamente desenvolvida para experimentos com animais de laboratório e de produção, permitindo uma avaliação estruturada de potenciais vieses relacionados ao delineamento, condução e relato dos estudos.

Os seguintes domínios foram avaliados: geração de sequência aleatória, características basais, ocultação da alocação, alojamento aleatório, cegamento de cuidadores e pesquisadores, avaliação aleatória dos desfechos, cegamento dos avaliadores de desfechos, dados incompletos, relato seletivo de resultados e outras fontes de viés. Cada domínio foi classificado como baixo risco, alto risco ou risco incerto, com base nas informações reportadas em cada estudo.

Em consonância com uma abordagem conservadora, os domínios classificados como risco incerto devido à insuficiência de informações foram considerados como alto risco na determinação da classificação geral do risco de viés. A qualidade global dos estudos foi categorizada como baixo, moderado ou alto risco de viés, de acordo com critérios previamente definidos (Tabela 2). As avaliações de risco de viés foram explicitamente consideradas na interpretação dos resultados, sendo que os achados provenientes de estudos classificados como de alto risco foram interpretados com cautela.

Tabela 2. Avaliação do risco de viés dos estudos incluídos de acordo com a ferramenta SYRCLE.

Classificação	Critério
Baixo	Todos ou quase todos os domínios classificados como baixo risco.
Moderado	A maioria dos domínios classificada como baixo risco, com alguns domínios em alto risco.
Alto	≥ 3 domínios classificados como alto risco ou presença de problemas estruturais relevantes.

2.4 Métodos de síntese dos resultados

Os estudos incluídos apresentaram substancial heterogeneidade metodológica e conceitual, incluindo diferenças quanto ao tipo, duração e intensidade do enriquecimento, delineamento experimental, protocolos de avaliação cognitiva e comportamental, bem como nos desfechos analisados. As tarefas cognitivas variaram amplamente, incluindo testes de labirinto, paradigmas de *holeboard*, testes de viés de julgamento e de atenção, avaliações de risco e recompensa e testes de contraste negativo sucessivo. Os desfechos fisiológicos foram reportados de forma inconsistente, sendo predominantemente limitados à mensuração de cortisol.

Devido a essa heterogeneidade e à ausência de medidas comparáveis de tamanho de efeito entre os estudos, não foi possível realizar uma meta-análise quantitativa. Assim, foi conduzida uma síntese narrativa qualitativa, conforme recomendado pelo PRISMA 2020 para conjuntos de dados heterogêneos. Informações ausentes ou não reportadas foram codificadas como “não avaliadas”, e não foi realizada imputação de dados.

A síntese narrativa concentrou-se na identificação de padrões consistentes, divergências e possíveis mecanismos, por meio da comparação sistemática entre modalidades de enriquecimento, fases de desenvolvimento, tarefas cognitivas e domínios de desfecho entre os estudos.

3.RESULTADOS

3.1 Seleção dos estudos

O processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos, está apresentado no fluxograma de seleção (Figura 1). Um total de 117 registros foi identificado nas bases de dados Web of Science (n = 79) e Scopus (n = 38). Após a remoção de 25 duplicatas, 92 registros foram encaminhados para a triagem inicial.

Após a avaliação de títulos e resumos, 14 registros foram excluídos por não se tratarem de artigos originais (por exemplo, revisões ou capítulos de livro). Em seguida, 78 textos completos foram avaliados quanto à elegibilidade, dos quais 65 estudos foram excluídos por não atenderem aos critérios PICO. As principais

razões para exclusão incluíram: população fora do escopo ($n = 20$), como espécies não suínas ou faixas etárias incompatíveis; intervenção inadequada ($n = 23$), caracterizada pela ausência de enriquecimento ambiental contínuo; ausência de grupo comparador adequado ($n = 1$); e desfechos não relacionados ao desenvolvimento cognitivo ou ao estado afetivo ($n = 22$). Ao final do processo de seleção, 12 estudos atenderam a todos os critérios de inclusão e foram incorporados à síntese qualitativa.

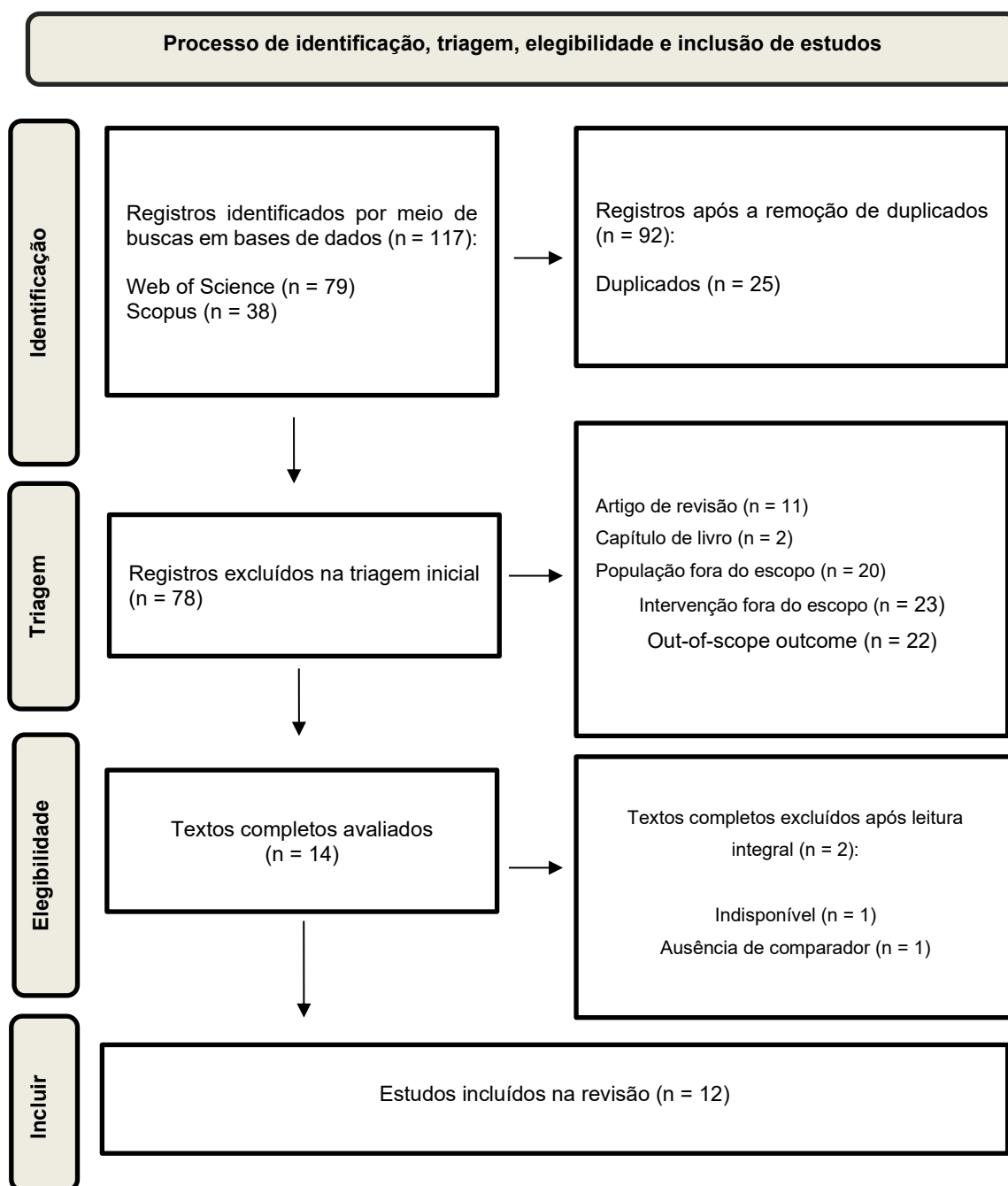


Figura 1. Fluxograma PRISMA 2020 que descreve o processo sistemático de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão de estudos experimentais sobre enriquecimento ambiental em leitões.

3.2 Características dos estudos

Os 12 estudos incluídos apresentaram diversidade metodológica, mas convergiram no objetivo de examinar como o enriquecimento ambiental modula comportamento, desempenho cognitivo e, em menor grau, indicadores fisiológicos de estresse em suínos (Tabela 3). A produção científica concentrou-se em poucos países, sobretudo na Holanda (92%) e um estudo na Austrália (8%). As avaliações abrangeram principalmente fases iniciais do desenvolvimento (lactação, creche e crescimento), com tamanhos amostrais entre 20 e 288 animais, majoritariamente de linhagens comerciais, envolvendo combinações de Large White, Landrace, Duroc e Piétrain. Em termos de fase produtiva, observou-se maior concentração na creche ($\approx 50\%$ dos estudos), seguida por delineamentos que acompanharam os animais em múltiplas fases ($\approx 40\%$, sobretudo creche + crescimento) e, em menor proporção, estudos mais amplos desde a lactação até o crescimento ($\approx 10\%$), indicando relativa escassez de desenhos verdadeiramente longitudinais ao longo de todo o desenvolvimento.

Tabela 3. Caracterização metodológica e síntese dos resultados dos estudos incluídos.

Autor (ano) – País	Nº de animais / Linhagem	Tipo de enriquecimento / Material	Tipo de teste	Indicadores cognitivos avaliados	Desfechos fisiológicos avaliados	Principais resultados
Jong et al. (2000) Netherlands	48 suínos / Large White × Dutch Landrace	Físico – palha	Teste de Novo Ambiente + Teste de Labirinto	Aprendizagem espacial; Memória de longo prazo	cortisol salivar	BE ¹ prejudicou a memória espacial de longo prazo e atenuou o ritmo circadiano do cortisol, indicando que EE ² melhora a cognição e o bem-estar
Bolhuis et al. (2004) Netherlands	64 suínos / Pietrain × (Large White × (Duroc × British Landrace))	Físico – palha e feno fornecidos em suporte (rack)	Teste retrospectivo (Backtest) e Teste de reversão em labirinto	Flexibilidade comportamental	Nenhum	A flexibilidade comportamental resultou da interação entre o ambiente de criação e o estilo de coping dos animais, demonstrando que fatores individuais moldam a capacidade de reversão.

Jansen et al. (2009) Netherlands	-	72 suínos / Large White × (Large White × Dutch Landrace)	Físico – palha utilizada como cama/substrato	Backtest e Teste de aprendizagem espacial latente/desvio	Aprendizagem espacial latente e resolução de problemas	Nenhum	Suínos em EE apresentaram melhor desempenho no teste de desvio (trajetórias mais curtas/rápidas). Não houve interação robusta com o estilo de coping.
Oostindjer et al. (2011a) - Netherlands		32 porcas (lactantes) e 256 leitões / cruzamento comercial holandês (Topigs)	Físico – palha e materiais de madeira disponíveis no ambiente	Observação comportamental direta	Adaptabilidade e resiliência pós-desmame	Nenhum	O EE e o alojamento solto de porcas aumentaram a exploração/forrageamento e reduziram comportamentos orais não nutritivos após o desmame, indicando melhor adaptação.
Bolhuis et al. (2013) Netherlands	-	32 suínos / cruzamento comercial holandês (Tempo-Topigs)	Físico – maravalha/serragem e turfa para escavação, combinados com baias maiores	Teste de discriminação espacial em holeboard	Memória de trabalho e memória de referência	Nenhum	O EE melhorou a memória de trabalho (manipulação de informações recentes), mas não afetou a memória de referência (longo prazo).

Grimberg-Henrici et al. (2016) - Netherlands	20 fêmeas / Duroc × (Terra × Finnish Landrace)	Estrutura física – baia ampliada com palha, turfa, área de escavação e brinquedos rotacionados diariamente	Teste de discriminação espacial em holeboard	Memória de trabalho e memória de referência	Cortisol salivar	O EE melhorou ligeiramente a memória de referência (aquisição) e a memória de trabalho (reversão), mas não alterou o cortisol salivar basal, sugerindo efeitos cognitivos modestos.
van der Staay et al. (2017) - Netherlands	20 leitões / Duroc × Large White e Duroc × Danish Landrace	Físico – palha espessa, bolas, bastões de madeira/plástico e área coberta	Tarefa de risco e recompensa	Tomada de decisão	Cortisol salivar e cortisol em pelos	Leitões em BE escolheram opções mais vantajosas na fase de aquisição (mais rapidamente), enquanto suínos em EE foram mais lentos para adquirir a estratégia ótima. Não houve diferença.
van Nieuwamerongen et al. (2017) - Netherlands	64 leitões / Tempo × Topigs 20	Físico e social – sistema de amamentação múltipla com várias porcas e	Teste de forrageamento informado; Teste de competição por alimento	Aprendizagem espacial e estratégias de forrageamento	Nenhum	O histórico em sistemas complexos resultou em diferenças sutis nas estratégias de busca e competição, porém com poucos efeitos

				leitegadas, baias maiores e palha				fortes ou consistentes sobre o desempenho pós-desmame.
Ralph (2018)	et al.	96 leitões / Large White × Landrace	Físico e alimentar – blocos de suplemento mineral/energético, 1 bloco/4 animais	Teste de campo aberto/objeto novo; Teste de labirinto; Teste de função executiva	Aprendizagem, habilidade cognitiva e disposição para explorar	Cortisol plasmático		O enriquecimento precoce modificou o comportamento (aumento da exploração/melhora da aprendizagem) nos três testes, mas não alterou o cortisol, sugerindo benefícios comportamentais sutis e duradouros.
Luo (2019)	et al.	128 suínos / Tempo × Topigs 20	Estrutura física – baias maiores, palha, serragem, turfa e brinquedos (correntes com parafusos, cordas, sacos de juta, bandejas de	Teste de viés de atenção e Backtest	Viés de atenção	Nenhum		Modulou o comportamento dependente da personalidade. Suínos reativos em baias enriquecidas apresentaram sinais de um estado afetivo mais negativo (maior

		ovos e objetos de plástico e borracha)				vigilância/atenção à ameaça).
Luo et al. (2020) - Netherlands	64 suínos / Tempo × Topigs 20	Estrutura física – palha, serragem, turfa e diversos brinquedos em baías maiores vs. baías empobrecidas com piso sólido/vazado	Teste de contraste negativo sucessivo; Backtest	Contraste negativo sucessivo (sensibilidade à perda de recompensa)	Nenhum	O BE precoce aumentou a sensibilidade à perda de recompensa. O BE mantido ao longo da vida resultou em menor motivação geral; o EE atual reduziu essa falta de motivação.
Parois et al. (2022) Netherlands	64 leitões / Tempo × Topigs 20	Físico e social – amamentação múltipla pré- desmame; pós- desmame com baías maiores, palha, serragem, turfa e brinquedos (madeira/PVC)	Teste de separação/isola- mento e Teste de viés de julgamento	Viés de julgamento	Cortisol salivar	O sistema pré- desmame aumentou a resiliência ao isolamento. O alojamento enriquecido (pós-desmame) melhorou indicadores de bem-estar e desempenho cognitivo após o desafio.

¹BE: Ambiente empobrecido; ²EE: Ambiente enriquecido

Quanto às intervenções, houve predomínio de estratégias materiais/ambientais, frequentemente combinadas no mesmo experimento. Considerando a presença de cada modalidade entre os 12 estudos (e, portanto, admitindo sobreposição), 8/12 (66,7%) incluíram substratos para forrageamento e exploração (p. ex., palha, maravalha/serragem, turfa) e 8/12 (66,7%) incorporaram componentes estruturais/físicos (p. ex., baias ampliadas, áreas adicionais, mudanças na configuração do espaço e/ou itens manipuláveis). Intervenções sociais foram menos frequentes (2/12; 16,7%) e, em geral, acopladas a ambientes fisicamente enriquecidos, enquanto o enriquecimento funcional/alimentar foi raro (1/12; 8,3%), tipicamente por meio de dispositivos/itens que associavam reforço nutricional e manipulação prolongada (p. ex., Ralph et al., 2018). Por esse motivo, a soma das proporções por categoria pode exceder 100%, já que vários estudos adotaram múltiplas estratégias simultâneas para elevar a complexidade ambiental. Importa destacar que nenhum estudo testou mecanismos de enriquecimento cognitivo propriamente dito, isto é, intervenções planejadas para oferecer desafios cognitivos progressivos ou treino estruturado (aprendizagem guiada, resolução de problemas como componente do enriquecimento), restringindo-se a enriquecimentos físicos/substrato, sociais e/ou funcionais. Entre os estudos com foco social, destacam-se aqueles que aumentaram deliberadamente a complexidade do ambiente (p. ex., alojamento solto na lactação associado a substrato: Oostindjer et al., 2011a; e multi-suckling com baias ampliadas e palha: van Nieuwamerongen et al., 2017).

Em conjunto, os estudos relataram efeitos relativamente consistentes do enriquecimento material sobre aumento de exploração/forrageamento e redução de comportamentos indesejáveis (incluindo estereotípias e agressividade). Em contraste, os desfechos em tarefas cognitivas mais complexas (p. ex., flexibilidade cognitiva, tomada de decisão, controle inibitório) foram mais heterogêneos e, em alguns casos, modulados por diferenças individuais, como estilo de enfrentamento. As intervenções sociais, embora menos frequentes, tenderam a associar-se a menor neofobia e maior resiliência frente a desafios, particularmente no contexto do pós-desmame.

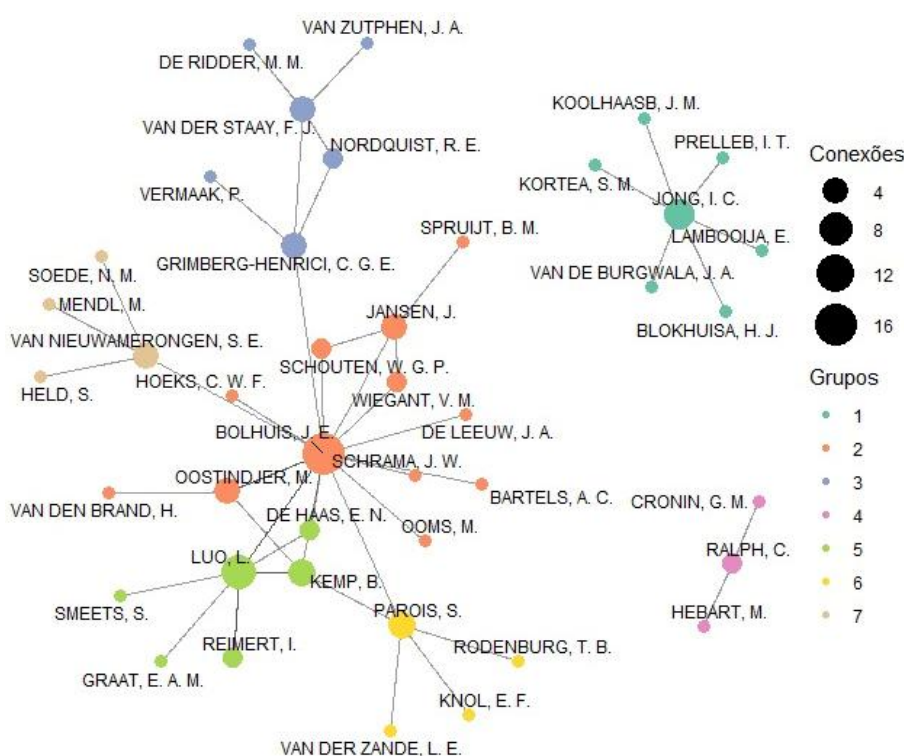
Os desfechos analisados concentraram-se em medidas comportamentais e cognitivas, com uso de paradigmas como labirintos e holeboard, tarefas de desvio (detour), risco–recompensa e testes de viés cognitivo (julgamento e atenção). De forma coerente com isso, a distribuição dos protocolos indicou predominância de avaliações de memória/aprendizagem espacial como principal domínio investigado, enquanto abordagens de julgamento/tomada de decisão e de personalidade/reatividade emocional apareceram com menor frequência. Entre os testes individuais, destacaram-se o Backtest e tarefas de labirinto com componentes de memória e/ou reversão, com os demais paradigmas distribuindo-se de maneira mais dispersa entre os estudos.

Os indicadores fisiológicos foram menos explorados e mais heterogêneos: 6/12 (46,15%) estudos reportaram cortisol (em saliva, plasma ou pelo), refletindo respostas ao estresse em diferentes escalas temporais. Em contraste, nenhum estudo avaliou diretamente marcadores neurobiológicos associados à neuroplasticidade ou ao estado afetivo (p. ex., BDNF, NGF, IGF-1, monoaminas e metabólitos, citocinas, neuropeptídeos ou marcadores de estresse oxidativo), limitando inferências mecanísticas sobre os caminhos biológicos subjacentes aos efeitos observados.

3.3. Análise da Rede de Coautoria e Dinâmica de Colaboração Científica

A análise da rede de coautoria identificou sete clusters (Grupos 1–7), evidenciando uma estrutura modular com predominância de conexões intragrupo e interações intergrupos mais restritas (Figura 2). Observa-se um núcleo mais central correspondente ao Grupo 2 (laranja), no qual Schrama, J. W. e Bolhuis, J. E. apresentam maior centralidade, sugerindo papel de intermediação na conexão entre comunidades. Esse padrão indica que uma parcela relevante das colaborações e do fluxo de conhecimento no campo se organiza em torno desse eixo, refletindo uma linha de pesquisa consolidada e coesa. Por outro lado, maior centralização tende a concentrar a conectividade em poucos autores, aumentando a dependência da rede em relação a esses conectores e podendo reduzir o intercâmbio direto entre clusters. Em contraste, clusters periféricos com poucas ligações ao núcleo, especialmente os Grupos 1 (verde-água) e 4 (rosa),

sugerem linhas de investigação mais independentes ou especializadas. Essas lacunas de conectividade (os chamados “buracos estruturais”) também podem ser interpretadas como oportunidades para fortalecer colaborações intergrupos e favorecer integração metodológica/conceitual. Por fim, a variação no tamanho dos nós (≈ 4 a 16 conexões) reforça a assimetria de influência, na qual poucos autores concentram maior número de coautorias, o que pode acelerar a consolidação do campo, mas reduzir sua robustez caso esses conectores diminuam a atividade científica.



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor utilizando o software estatístico R (versão 4.5.1)

Figura 2. Rede de coautoria entre pesquisadores da área de impacto do enriquecimento ambiental no desenvolvimento cognitivo e na resiliência emocional de leitões.

3.4 Risco de viés

A avaliação do risco de viés revelou que as principais limitações metodológicas se concentraram nos domínios D3, D4, D5 e D7, que foram classificados integralmente como alto risco (círculos vermelhos) em todos os estudos analisados. Essa uniformidade indica falhas críticas e generalizadas na

ocultação da alocação e no cegamento de cuidadores e avaliadores, refletindo tanto as dificuldades práticas do manejo animal quanto a falta de rigor no detalhamento desses procedimentos nos relatos científicos. Em contrapartida, os domínios D1, D6, D8 e D10 apresentaram predominantemente baixo risco de viés, sugerindo que a randomização e o relato de desfechos foram executados de maneira robusta na maioria dos experimentos.

Observou-se uma evolução na transparência metodológica ao longo dos anos, uma vez que os riscos incertos (círculos amarelos) nos domínios D2 e D9 ficaram restritos aos estudos mais antigos, como os de Jong et al. (2000) e Bolhuis et al. (2004, 2013). A partir de 2016, nota-se uma maior consistência nos indicadores de baixo risco para esses critérios. De modo geral, os estudos apresentam um risco de viés moderado, evidenciando que, embora os delineamentos experimentais sejam estruturados, ainda há uma necessidade urgente de maior transparência e controle sobre o cegamento para elevar a qualidade das evidências na área.

Author (Year)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Jong et al. (2000)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Bolhuis et al. (2004)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Bolhuis et al. (2013)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Grimberg-Henrici et al. (2016)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Van der Staay et al. (2017)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Van Nieuwamerongen et al. (2017)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ralph et al. (2018)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Luo et al. (2019)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Luo et al. (2020)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Parois et al. (2022)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Jansen et al. (2009)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Oostindjer et al. (2011)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Fonte: Elaborada pelo autor (2026). Os indicadores nas cores verde, amarelo e vermelho representam, respectivamente, baixo risco, risco incerto e alto risco de viés. D1: Geração aleatória da sequência; D2: Características basais dos grupos; D3: Ocultação da alocação; D4: Alojamento aleatório; D5: Cegamento de cuidadores e pesquisadores; D6: Avaliação aleatória dos desfechos; D7: Cegamento do avaliador de desfechos; D8: Dados incompletos (perdas/exclusões); D9: Relato seletivo de desfechos; D10: Outras fontes de viés.

Figura 3. Qualidade metodológica e avaliação do risco de viés dos 12 estudos incluídos, com base nos domínios da ferramenta SYRCLE.

4. DISCUSSÃO

A análise dos 12 estudos incluídos evidencia uma diversidade metodológica considerável na investigação dos efeitos do enriquecimento ambiental sobre comportamento, cognição e, em menor grau, fisiologia do estresse em suínos. Apesar das diferenças de delineamento e de protocolos, o conjunto das evidências converge para a ideia de que ambientes mais complexos favorecem indicadores de bem-estar e podem melhorar o desempenho em tarefas cognitivas, sobretudo quando aumentam oportunidades de exploração e de interação com o ambiente (Jansen et al., 2009; Bolhuis et al., 2013; Grimberg-Henrici et al., 2016). É importante, porém, qualificar essa conclusão: nos estudos desta revisão, o enriquecimento foi majoritariamente material/estrutural (substratos, objetos manipuláveis e alterações físicas da baia), enquanto o enriquecimento social foi menos frequente e o enriquecimento cognitivo (no sentido de desafios de aprendizagem planejados e progressivos/controlado contingente como componente do enriquecimento) esteve ausente.

De forma consistente, intervenções físicas, incluindo substratos exploráveis, materiais manipuláveis e aumento de complexidade espacial, estiveram associadas a maior exploração e a redução de comportamentos compatíveis com frustração, como estereotípias e agressividade (Ralph et al., 2018; Luo et al., 2019; Luo et al., 2020). Esses achados ajudam a explicar por que o enriquecimento estrutural domina a literatura: além de ser mais viável operacionalmente, tende a produzir efeitos comportamentais robustos e replicáveis. Em contrapartida, quando o foco se desloca para processos cognitivos de maior complexidade por exemplo, flexibilidade cognitiva, controle inibitório e tomada de decisão os resultados tornam-se mais heterogêneos. Essa variabilidade aparece em tarefas como holeboard, paradigmas de julgamento sob ambiguidade e testes de risco recompensa, nos quais os efeitos do enriquecimento nem sempre seguem um padrão uniforme (Bolhuis et al., 2013; Asher et al., 2016; van der Staay et al., 2017). Parte dessa inconsistência pode refletir diferenças no desenho experimental, na sensibilidade dos testes e na

própria natureza do construto avaliado (domínios cognitivos “de ordem superior” tendem a ser mais dependentes do contexto e do perfil individual).

Os componentes sociais, embora sub-representados, apresentaram efeitos particularmente relevantes quando aplicados para aumentar deliberadamente a complexidade social e o contato materno/interações entre leitegadas. Sistemas como multi-suckling e condições de alojamento que ampliam oportunidades de interação no período de lactação foram associados a menor neofobia e a estratégias de enfrentamento mais adaptativas, sugerindo contribuição importante para a modulação emocional e a resiliência em transições críticas (Oostindjer et al., 2011a; van Nieuwamerongen et al., 2017; Parois et al., 2022). Esses resultados fortalecem a interpretação de que, além de reduzir comportamentos-problema, o enriquecimento pode atuar em dimensões de bem-estar mais próximas de valência afetiva e capacidade de adaptação algo que intervenções puramente materiais nem sempre capturam plenamente.

Uma limitação recorrente na interpretação comparativa dos efeitos é que muitos protocolos são multicomponentes e, por vezes, os animais são expostos posteriormente a condições pós-desmame também enriquecidas. Quando há enriquecimento em fases subsequentes, o contraste experimental entre grupos pode diminuir, “achatando” diferenças e dificultando a atribuição de efeitos a um componente específico (Bolhuis et al., 2013; Parois et al., 2022). Assim, embora a predominância do enriquecimento estrutural seja compatível com sua praticidade e resultados comportamentais consistentes, as evidências apontam para a necessidade de delineamentos que permitam isolar efeitos e, ao mesmo tempo, testar combinações de forma mais sistemática especialmente integrando complexidade social e intervenções com maior potencial de afetar cognição de ordem superior.

No domínio cognitivo, os resultados mais consistentes foram observados em memória/aprendizagem espacial. Animais em condições enriquecidas tenderam a apresentar trajetórias mais eficientes e melhor desempenho em tarefas como labirintos de desvio (detour) e holeboard, com ganhos mais claros para memória de trabalho do que para memória de referência (Jansen et al., 2009; Bolhuis et al., 2013; Grimberg-Henrici et al., 2016). Já nos indicadores

mais diretamente ligados ao estado afetivo como viés de julgamento, viés de atenção e medidas de sensibilidade à perda de recompensa o enriquecimento mostrou efeitos dependentes de contexto e do indivíduo: em alguns cenários, associa-se a respostas mais “otimistas” ou a mudanças no processamento de ameaça/recompensa, mas sem uniformidade entre estudos (Asher et al., 2016; Luo et al., 2019; Luo et al., 2020; Parois et al., 2022). Em tomada de decisão sob risco, por exemplo, o enriquecimento pode alterar a velocidade de aquisição de estratégias ou padrões de escolha, mas os resultados não são consistentemente favoráveis ao grupo enriquecido (van der Staay et al., 2017), o que reforça que diferentes tarefas capturam facetas distintas de cognição/emoção e variam em sensibilidade.

A variabilidade individual, em particular o estilo de enfrentamento (coping style), aparece como um moderador central e ajuda a integrar parte das inconsistências. Em cinco estudos, o backtest foi utilizado para classificar animais como mais reativos (HR) ou menos reativos (LR), mostrando que esses perfis se associam a diferenças tanto em reatividade emocional quanto em desempenho cognitivo (Bolhuis et al., 2004, 2013; Jansen et al., 2009; Asher et al., 2016; Luo et al., 2019, 2020). Em termos gerais, indivíduos HR tendem a maior reatividade/vigilância e, em alguns contextos, maior rigidez comportamental, enquanto indivíduos LR podem apresentar maior flexibilidade em tarefas de reversão e maior estabilidade emocional. Do ponto de vista aplicado, isso implica que protocolos “padrão” de enriquecimento podem produzir benefícios desiguais, e que estratégias ajustadas ao perfil comportamental (tipo, intensidade, renovação e previsibilidade do enriquecimento) podem ser mais eficazes para maximizar bem-estar e desempenho em sistemas comerciais.

Por fim, os desfechos fisiológicos mostraram um quadro menos consistente. Aproximadamente metade dos estudos reportou cortisol (saliva, plasma ou pelo), com resultados heterogêneos: há indícios de desregulação em ambientes empobrecidos (Jong et al., 2000), mas outros trabalhos não detectaram diferenças basais claras entre condições (Grimberg-Henrici et al., 2016; Ralph et al., 2018). Essa variabilidade provavelmente reflete diferenças de

fase produtiva, matriz biológica, tipo/intensidade do estressor e duração da intervenção. Além disso, a ausência de medidas neurobiológicas (p. ex., marcadores de neuroplasticidade, monoaminas, citocinas) limita inferências mecanísticas, deixando uma lacuna importante entre os efeitos comportamentais/cognitivos observados e os processos biológicos subjacentes. Em síntese, as evidências sustentam o enriquecimento estrutural como base robusta para benefícios comportamentais e ganhos em memória espacial, enquanto apontam que avanços no campo dependem de maior exploração (e melhor isolamento) de componentes sociais, de abordagens com potencial cognitivo mais direto e de medidas multimodais mais sensíveis para capturar mecanismos e diferenças individuais.

4.1. Limitações metodológicas e aplicações práticas

Os estudos analisados apresentam limitações metodológicas recorrentes que reduzem a robustez das inferências e a generalização dos achados. Uma limitação central diz respeito a delineamentos com múltiplos componentes simultâneos e potenciais fatores de confusão, que dificultam atribuir efeitos específicos a cada modalidade de enriquecimento. Em Oostindjer et al. (2011a) e van Nieuwamerongen et al. (2017), por exemplo, o enriquecimento físico foi implementado em conjunto com mudanças substanciais na estrutura social (p. ex., alojamento solto e sistemas multi-suckling), o que limita a separação entre efeitos materiais e sociais. Em Bolhuis et al. (2013), o fato de os grupos enriquecidos serem mantidos em baias maiores introduz um componente espacial adicional, potencialmente confundindo o efeito do enriquecimento com o efeito do espaço disponível. Já em Ralph et al. (2018), o uso de um delineamento no qual cada animal realizou apenas um tipo de teste restringiu comparações intraindividuais entre domínios cognitivos e afetivos, reduzindo a integração entre desfechos.

Outra limitação importante refere-se à padronização e ao alcance das medidas fisiológicas, que foram pouco exploradas e aplicadas de forma heterogênea. Quando o cortisol foi mensurado (Jong et al., 2000; Grimberg-Henrici et al., 2016; Ralph et al., 2018; Parois et al., 2022), as avaliações

frequentemente se concentraram em níveis basais, sem controle consistente de variáveis críticas como horário de coleta, condições pré-coleta e, em vários casos, sem testes sistemáticos de reatividade ao estresse. Em diversos estudos, a ausência de indicadores fisiológicos foi reconhecida pelos próprios autores (Bolhuis et al., 2004; Oostindjer et al., 2011a; van Nieuwamerongen et al., 2017; Luo et al., 2019, 2020), de modo que parte substancial das inferências sobre bem-estar e resiliência dependeu principalmente de marcadores comportamentais. Além disso, nenhum estudo avaliou marcadores neurobiológicos de plasticidade neural, o que limita interpretações mecanísticas para diferenças cognitivas observadas.

Limitações relacionadas a tamanho amostral, poder estatístico e sensibilidade das tarefas também foram frequentes. Amostras reduzidas (p. ex., Grimberg-Henrici et al., 2016; van der Staay et al., 2017) diminuem a capacidade de detectar efeitos sutis e interações com variáveis moderadoras, como estilo de enfrentamento. Em alguns casos, os autores apontaram que os paradigmas empregados poderiam ser excessivamente complexos ou insuficientemente sensíveis para discriminar tratamentos, especialmente em tarefas de tomada de decisão (van der Staay et al., 2017) e em protocolos de holeboard (Grimberg-Henrici et al., 2016). Resultados interpretados com cautela também refletiram incertezas conceituais e efeitos de contexto, como nas discussões sobre contraste negativo sucessivo e sua relação com estados afetivos crônicos (Luo et al., 2019, 2020), e sobre perdas de desempenho que reduziram o número de sessões analisáveis (Asher et al., 2016).

Por fim, a avaliação da variabilidade individual e do histórico prévio dos animais introduz fontes adicionais de heterogeneidade. Embora o backtest tenha sido amplamente utilizado para classificar estilos de enfrentamento, alguns estudos destacaram limitações do método, seja por se basear em uma única medida comportamental (Bolhuis et al., 2004), seja pela ausência de interações claras com o enriquecimento em determinados desfechos (Luo et al., 2020). Adicionalmente, efeitos pré-natais não controlados podem ter contribuído para variações entre grupos; em Jong et al. (2000), por exemplo, o alojamento das

matrizes gestantes pode ter influenciado o desenvolvimento dos leitões antes da aplicação das intervenções experimentais.

Do ponto de vista aplicado, esse conjunto de limitações indica que a transposição direta dos resultados para sistemas comerciais deve ser feita com cautela. A heterogeneidade de delineamentos, a sobreposição entre componentes físicos e sociais, a escassez de biomarcadores fisiológicos padronizados e limitações de amostra sugerem que ainda não há um “pacote” universal de enriquecimento com validação ampla e comparável entre contextos. Assim, a implementação em campo tende a ser mais bem sustentada quando prioriza intervenções com evidência mais consistente como substratos exploráveis e oportunidades estruturadas de exploração/manipulação idealmente acompanhadas de monitoramento comportamental e, quando viável, fisiológico, permitindo ajustes conforme o sistema produtivo e o perfil dos animais.

5. CONCLUSÃO

As evidências disponíveis indicam que o enriquecimento ambiental, especialmente o enriquecimento físico baseado em substratos escaváveis, materiais manipuláveis e maior complexidade das baias, promove de forma consistente aumento do comportamento exploratório, redução de comportamentos indicativos de frustração e melhora no desempenho em tarefas de memória espacial em suínos. Estratégias de enriquecimento social e cognitivo, embora menos investigadas, demonstram efeitos expressivos na modulação emocional, incluindo redução da neofobia e desenvolvimento de estratégias de enfrentamento mais adaptativas.

Entretanto, a significativa heterogeneidade metodológica, a predominância do uso de indicadores comportamentais indiretos e a limitada inclusão de medidas fisiológicas e neurobiológicas restringem a comparabilidade entre estudos e dificultam uma compreensão mais aprofundada dos mecanismos subjacentes aos efeitos do enriquecimento. Essas limitações evidenciam a necessidade de um arcabouço de pesquisa mais integrado e padronizado.

Dessa forma, estudos futuros devem priorizar: (i) a padronização e a descrição transparente dos protocolos de enriquecimento; (ii) o desenvolvimento e a validação de tarefas cognitivas com maior sensibilidade ao estado emocional; (iii) a adoção de abordagens multimodais que integrem medidas comportamentais, cognitivas e fisiológicas; e (iv) a inclusão de biomarcadores neurobiológicos capazes de capturar alterações na plasticidade neural e no processamento afetivo. O avanço nessas áreas será fundamental para fortalecer a inferência causal, aprofundar a compreensão mecanística e subsidiar estratégias de enriquecimento baseadas em evidências, aplicáveis aos sistemas modernos de produção suinícola, promovendo melhorias mais robustas, mensuráveis e sustentáveis no bem-estar animal.

REFERÊNCIAS

- Asher, L., Friel, M., Griffin, K., Collins, L.M., 2016. Mood and personality interact to determine cognitive biases in pigs. *Biol. Lett.* 12, 1–4. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0402>
- Bolhuis, J.E., Oostindjer, M., Hoeks, C.W.F., De Haas, E.N., Bartels, A.C., Ooms, M., Kemp, B., 2013. Working and reference memory of pigs (*Sus scrofa domesticus*) in a holeboard spatial discrimination task: The influence of environmental enrichment. *Anim. Cogn.* 16, 845–850. <https://doi.org/10.1007/s10071-013-0646-7>
- Bolhuis, J.E., Schouten, W.G.P., de Leeuw, J.A., Schrama, J.W., Wiegant, V.M., 2004. Individual coping characteristics, rearing conditions, and behavioral flexibility in pigs. *Behav. Brain Res.* 152, 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2003.10.024>
- Colditz, I.G., Hine, B.C., 2016. Resilience in farm animals: Biology, management, breeding and implications for animal welfare. *Anim. Prod. Sci.* 56, 1961–1978. <https://doi.org/10.1071/AN15297>
- Douglas, C., Bateson, M., Walsh, C., Bédoué, A., Edwards, S.A., 2012. Environmental enrichment induces optimistic cognitive biases in pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 139, 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.02.018>
- Ede, T., Parsons, T.D., 2023. Cognitive tasks as measures of pig welfare: A systematic review. *Front. Vet. Sci.* 10, 1–23. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1251070>

Falkenberg, T., Mohammed, A.K., Henriksson, B., Persson, H., Winblad, B., Lindefors, N., 1992. Increased expression of brain-derived neurotrophic factor mRNA in rat hippocampus is associated with improved spatial memory and enriched environment. *Neurosci. Lett.* 138, 153–156. [https://doi.org/10.1016/0304-3940\(92\)90494-R](https://doi.org/10.1016/0304-3940(92)90494-R)

Gieling, E.T., Nordquist, R.E., van der Staay, F.J., 2011. Assessing learning and memory in pigs. *Anim. Cogn.* 14, 151–173. <https://doi.org/10.1007/s10071-010-0364-3>

Grimberg-Henrici, C.G.E., Vermaak, P., Bolhuis, J.E., Nordquist, R.E., van der Staay, F.J., 2016. Effects of environmental enrichment on cognitive performance of pigs in a spatial holeboard discrimination task. *Anim. Cogn.* 19, 271–283. <https://doi.org/10.1007/s10071-015-0932-7>

Hooijmans, C.R., Rovers, M.M., de Vries, R.B., Leenaars, M., Ritskes-Hoitinga, M., Langendam, M.W., 2014. SYRCLE's risk of bias tool for animal studies. *BMC Med. Res. Methodol.* 14, 43–52. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-14-43>

Jansen, J., Bolhuis, J.E., Schouten, W.G.P., Spruijt, B.M., Wiegant, V.M., 2009. Spatial learning in pigs: Effects of environmental enrichment and individual characteristics on behavior and performance. *Anim. Cogn.* 12, 303–315. <https://doi.org/10.1007/s10071-008-0191-y>

Jong, I.C., Prelle, I.T., van de Burgwal, J.A., Lambooij, E., Korte, S.M., Blokhuis, H.J., Koolhaas, J.M., 2000. Effects of environmental enrichment on behavioral responses to novelty, learning, and memory, and the circadian rhythm in cortisol in growing pigs. *Physiol. Behav.* 68, 571–578. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(99\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(99)00212-7)

Khalil, M.H., 2024. 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. *Front. Neurosci.* 18, 1368411. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1368411>

Lee, J., Oh, S., Kim, M., 2025. Impact of environmental enrichment on growth, behavior, and welfare of weanling piglets from pre-weaning to 6 weeks of age. *J. Anim. Sci. Technol.* 67, 152–163. <https://doi.org/10.5187/jast.2024.e1>

Luo, L., Reimert, I., de Haas, E.N., Kemp, B., Bolhuis, J.E., 2019. Effects of early and later life environmental enrichment and personality on attention bias in pigs (*Sus scrofa domestica*). *Anim. Cogn.* 22, 959–972. <https://doi.org/10.1007/s10071-019-01287-w>

Luo, L., Reimert, I., Middelkoop, A., Kemp, B., Bolhuis, J.E., 2020. Effects of early and current environmental enrichment on behavior and growth in pigs. *Front. Vet. Sci.* 7, 268. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00268>

Martin, J.E., Ison, S.H., Baxter, E.M., 2015. The influence of neonatal environment on piglet play behavior and post-weaning social and cognitive development. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 163, 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.12.009>

Mkwanazi, M.V., Ncobela, C.N., Kanengoni, A.T., Chimonyo, M., 2019. Effects of environmental enrichment on behavior, physiology, and performance of pigs: A review. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 32, 1–13. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0138>

Mudd, A.T., Dilger, R.N., 2017. Early-life nutrition and neurodevelopment: Use of the piglet as a translational model. *Adv.in Nutr.*, 8(1), 92–104. <https://doi.org/10.3945/an.116.013243>

Oostindjer, M., van den Brand, H., Kemp, B., Bolhuis, J.E., 2011a. Effects of environmental enrichment and loose-housing of sows on piglet performance before and after weaning. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 134, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.06.011>

Oostindjer, M., Bolhuis, J.E., Mendl, M., van den Brand, H., Kemp, B., 2011b. Maternal presence and environmental enrichment affect food neophobia in piglets. *Biol. Lett.* 7, 19–22. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0430>

Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., 2021. The *PRISMA* 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Parois, S., Middelkoop, A., Luo, L., van Schaik, G., Kemp, B., Bolhuis, J.E., 2022. Multi-suckling and enriched housing promote resilience and emotional functioning in piglets. *Front. Vet. Sci.* 9, 868149. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.868149>

Ralph, C.R., Henderson, S., Mann, J., Ralph, R.W., 2018. Environmental enrichment during suckling and weaning improves cognitive and stress-related outcomes in pigs. *Animals* 8, 74. <https://doi.org/10.3390/ani8050074>

Rosvold, E.M., Ocepek, M., Andersen, I.L., 2024. Effects of different rooting materials on behavior and welfare of finishing pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 277, 106344. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2024.106344>

Sneddon, I.A., Beattie, V.E., Dunne, L., Neil, W., 2000. The effect of environmental enrichment on learning in pigs. *Anim. Welf.* 9, 373–383. <https://doi.org/10.1017/S096272860002296X>

van de Weerd, H.A., Day, J.E.L., 2009. A review of environmental enrichment for pigs housed in intensive housing systems. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 116, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.08.001>

van der Staay, F.J., Raaijmakers, M.E.J., Baars, A.M., Pippel, E., Bolhuis, J.E., 2017. Effects of environmental enrichment on decision-making in pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 187, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.05.006>

van Nieuwamerongen, S.E., Bolhuis, J.E., Jansen, J., Reimert, I., Bédúe, A., Kemp, B., 2017. Environmental enrichment during weaning affects behavior and cognition in piglets. *Anim. Cogn.* 20, 767–777. <https://doi.org/10.1007/s10071-017-1110-x>

Zebunke, M., Puppe, B., Langbein, J., 2013. Effects of cognitive enrichment on behavioral and physiological reactions of pigs. *Physiol. Behav.* 118, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2013.05.005>

Zhao, J., Li, X., Liu, W., Gao, Y., Lei, M., Tan, H., Yang, D., 2020. Dnn-Hmm Based Acoustic Model for Continuous Pig Cough Sound Recognition. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 13, 186–193. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201303.45>

CAPÍTULO 2

MÉTRICAS DA RESILIÊNCIA EM SUÍNOS: O PAPEL DA NOVIDADE E DA COMPLEXIDADE NA MODULAÇÃO DO ESTADO AFETIVO

Métricas da resiliência em suínos: o papel da novidade e da complexidade na modulação do estado afetivo

RESUMO. Este estudo avaliou como diferentes estratégias de enriquecimento ambiental na creche modulam o estado afetivo, o coping comportamental e respostas neurobiológicas de leitões, por meio de uma abordagem integrativa. Foram utilizados 675 leitões, alocados em três tratamentos (5 baias/tratamento; 45 leitões/baia): enriquecimento único (UNI), alternado com rotação semanal (ALT) e simultâneo/estável (SIM). Uma subamostra de 32 leitões ($\approx 10-11$ /tratamento) foi submetida ao Teste de Viés Atencional (ABT), baseado no conflito entre alimentação e uma ameaça sonora (latidos de cão) aplicada em duas exposições. Foram analisados indicadores comportamentais do ABT, bioacústicos, qualitativos (QBA) e biomarcadores (cortisol no pelo, serotonina e BDNF séricos). A maioria das variáveis de uso do espaço e atenção à ameaça no ABT não diferiu entre tratamentos. Contudo, observaram-se diferenças em respostas de enfrentamento: ALT apresentou maior tempo em pé parado, SIM maior frequência de tentativas de fuga e UNI maior excreção. A probabilidade e a latência para retomar o consumo foram influenciadas pelo estímulo (ES1 vs ES2), mas não pelo tratamento. O repertório vocal foi restrito (ausência de gritos/guinchos e de grunhidos claros), com maior tempo de grunhidos ásperos e vocalização total em ALT, sem diferença entre tratamentos para o índice vocal composto de estado afetivo. Na QBA, SIM apresentou escores compatíveis com valência global mais positiva. Nos biomarcadores, ALT foi o único tratamento com aumento de BDNF do basal ao pós, sem aumento de cortisol no pelo; UNI apresentou maior cortisol no pelo e menor BDNF no pós, e SIM apresentou serotonina sérica inferior no pós. Conclui-se que a forma de implementação do enriquecimento (estável vs rotacional) modula o bem-estar por vias distintas, destacando a importância de estratégias que considerem simultaneamente complexidade e dinâmica temporal.

Palavras-chave: Avaliação Qualitativa do Comportamento; Bioacústica; Fator neurotrófico derivado do cérebro; Serotonina; Viés de Atenção

Resilience Metrics in Pigs: The Role of Novelty and Environmental Complexity in Modulating Affective State

ABSTRACT. This study evaluated how different nursery environmental enrichment strategies modulate piglets' affective state, behavioural coping, and neurobiological responses using an integrative approach. A total of 675 piglets were allocated to three treatments (5 pens/treatment; 45 piglets/pen): single

enrichment (UNI), alternating enrichment with weekly rotation (ALT), and simultaneous/stable enrichment (SIM). A subsample of 32 piglets ($\approx 10-11$ /treatment) underwent the Attention Bias Test (ABT), based on the conflict between feeding and a sound threat (dog barks) presented in two exposures. ABT behavioural indicators, bioacoustic measures, qualitative assessments (QBA), and biomarkers (hair cortisol, serum serotonin, and serum BDNF) were analysed. Most ABT variables related to space use and attention to the threat did not differ among treatments. However, coping responses differed: ALT showed more time standing still, SIM showed a higher frequency of escape attempts, and UNI showed more elimination events. The probability of feeding and the latency to resume feeding were influenced by the stimulus (ES1 vs ES2), but not by treatment. The vocal repertoire was restricted (no screams/squeals and no clear grunts), with longer harsh-grunt and total vocalisation time in ALT, while the composite vocal affective-state index did not differ among treatments. In the QBA, SIM showed scores consistent with a more positive overall valence. Regarding biomarkers, ALT was the only treatment showing an increase in BDNF from baseline to post-exposure without an increase in hair cortisol; UNI showed higher hair cortisol and lower post-exposure BDNF; and SIM showed lower post-exposure serum serotonin. We conclude that how enrichment is implemented (stable vs rotational) modulates welfare through distinct pathways, highlighting the importance of strategies that simultaneously consider environmental complexity and temporal dynamics.

Keywords: Qualitative Behaviour Assessment; Bioacoustics; Brain-derived neurotrophic factor; Serotonin; Attention bias

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a ciência do bem-estar animal deixou de se orientar quase exclusivamente por produtividade e ausência de sofrimento e passou a incorporar, de modo mais explícito, as experiências subjetivas dos animais e a promoção de estados afetivos positivos, com o objetivo de viabilizar uma “vida que valha a pena ser vivida” (Mellor, 2016). Esse deslocamento conceitual reconhece que animais de produção expressam estados afetivos multidimensionais, geralmente descritos por componentes de valência (positiva/negativa) e ativação, com repercussões diretas sobre fisiologia, cognição e comportamento (Boissy et al., 2007; Paul et al., 2005; Mendl et al., 2010). Assim, a avaliação do

bem-estar deve ir além de indicadores pontuais de estresse agudo e incluir padrões mais estáveis de reatividade, adaptação e capacidade de enfrentamento ao longo do tempo.

Essa perspectiva é particularmente relevante na fase de creche, quando o desmame e a reorganização social impõem desafios simultâneos (nutricionais, ambientais e sociais) capazes de alterar vigilância, motivação e repertório exploratório. Evidências recentes mostram que condições pós-desmame podem modular a suscetibilidade a estados emocionais negativos persistentes, com impacto sobre atenção a ameaças, responsividade a mudanças e estratégias de enfrentamento (Luo et al., 2019; Luo et al., 2020; Lucas et al., 2024). Em ambientes com baixa estimulação, a restrição de comportamentos altamente motivados, como atividades orais, investigação e exploração, tende a aumentar frustração e a favorecer alterações de responsividade, incluindo mudanças em padrões de vocalização e outros sinais comportamentais associados à experiência afetiva (Leliveld et al., 2017; Friel et al., 2019; Briefer et al., 2019).

No plano regulatório, esse entendimento também vem sendo incorporado. A Instrução Normativa nº 113 estabelece diretrizes para o bem-estar de suínos no Brasil e inclui o fornecimento obrigatório de materiais que permitam a expressão de comportamentos naturais, como exploração e investigação. Ao reconhecer o enriquecimento ambiental como componente preventivo de comportamentos anormais e como melhoria das condições de alojamento, a norma aproxima práticas nacionais das recomendações sustentadas pela literatura científica.

Entretanto, as respostas ao enriquecimento não dependem apenas de “ter ou não ter” objetos. A efetividade está ligada a propriedades do estímulo e do manejo, como complexidade, estabilidade e previsibilidade temporal. Ambientes mais estáveis podem aumentar sensação de segurança e reduzir incerteza, enquanto variação e novidade podem elevar a demanda exploratória e cognitiva, intensificando o monitoramento do ambiente (De Jong et al., 2000; Van de Perre et al., 2011; Machado et al., 2017). Essa interação ajuda a explicar por que, embora amplamente recomendado, o enriquecimento nem sempre produz

efeitos consistentes em indicadores emocionais e cognitivos: diferentes “estratégias” (p. ex., estável/previsível versus dinâmico/variável) podem gerar perfis distintos de resposta, reforçando a importância de comparar modalidades de implementação, e não apenas contrastar condições “com” versus “sem” enriquecimento (Godyń et al., 2019; Mkwanzazi et al., 2019).

Para captar essas mudanças, abordagens baseadas em cognição e emoção têm se mostrado particularmente informativas. O Teste de Viés Atencional (ABT) permite inferir estados afetivos quantificando a priorização de atenção a estímulos potencialmente ameaçadores em conflito com estímulos positivos, como alimento (Paul et al., 2005; Luo et al., 2019; Neary et al., 2024). Em suínos, esse viés pode se expressar como maior vigilância, alterações de orientação e maior latência para retomar a alimentação após uma ameaça (Luo et al., 2019; Neary et al., 2024). Em paralelo, medidas bioacústicas oferecem uma via não invasiva para relacionar parâmetros temporais e espectrais das vocalizações à valência e ao nível de ativação (Briefer, 2012; Briefer et al., 2019). Complementarmente, a Avaliação Comportamental Qualitativa (ACQ/QBA) integra a expressão global do animal (isto é, “como o animal se comporta”) e pode discriminar estados afetivos mesmo quando medidas quantitativas são semelhantes (Wemelsfelder et al., 2001; Rutherford et al., 2012; Czycholl et al., 2025).

Apesar desses avanços, ainda são escassos estudos que integrem ABT, QBA e bioacústica em leitões submetidos a estratégias contrastantes de enriquecimento, especialmente quando o foco está em distinguir ambientes mais complexos e estáveis daqueles mais dinâmicos e imprevisíveis. Além disso, a inclusão de biomarcadores pode fortalecer a interpretação: o cortisol capilar reflete atividade do eixo HPA em uma escala temporal mais longa (Meyer & Novak, 2012; Heimbürge et al., 2019), enquanto serotonina e BDNF estão associados a mecanismos neurobiológicos de regulação, plasticidade e adaptação ao ambiente (Lucki, 1998; Nithianantharajah & Hannan, 2006; Castrén & Rantamäki, 2010; Lesch & Waider, 2012; Park & Poo, 2013; Rault et al., 2018; Arroyo et al., 2020).

Diante disso, este estudo teve como objetivo investigar, de forma integrada, os efeitos de diferentes estratégias de enriquecimento ambiental durante

a fase de creche sobre o estado afetivo, respostas neurobiológicas, comportamentais e acústicas de leitões submetidos ao Teste de Viés Atencional (ABT). A hipótese foi que estratégias que diferem em complexidade e dinâmica temporal (maior estabilidade/previsibilidade versus maior variação/novidade) modulam de forma diferenciada o estado afetivo e a reatividade ao desafio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Aprovação ética

Todos os procedimentos adotados nesta pesquisa foram conduzidos em estrita conformidade com as diretrizes nacionais e internacionais de bem-estar animal e de boas práticas em experimentação. O estudo foi previamente aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal da Grande Dourados (CEUA/UFGD), sob o protocolo nº 25/2025.

2.2. Local do Experimento

O experimento foi realizado em uma unidade comercial de produção de suínos de ciclo completo localizada no distrito de Anhanduí, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil (20°53'05,9" S; 54°33'10,6" O; 532 m). De acordo com a classificação climática de *Köppen–Geiger*, o clima regional é do tipo savana tropical (Aw) (Alvares et al., 2013). As condições meteorológicas do período experimental (abril a maio de 2025) foram obtidas a partir da estação automática A702, em Campo Grande–MS, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). No período, a temperatura média das máximas diárias foi de 23,66°C e a temperatura média das mínimas diárias foi de 22,46°C. A umidade relativa média das máximas diárias foi de 73,60% e a das mínimas diárias, de 68,46%.

2.3. Animais e instalações

Foram utilizados 675 leitões (machos castrados e fêmeas) da linhagem comercial *Topigs Norsvin*, desmamados aos 25 dias de idade, com peso corporal inicial médio de $6,65 \pm 0,75$ kg. Os animais foram alojados em uma unidade de creche composta por baias suspensas com piso ripado de plástico 3,0 m × 4,5

m, equipadas com comedouros automáticos e bebedouros de aço inoxidável com válvula de boia. Ração e água foram fornecidas *ad libitum* durante todo o período experimental. O manejo térmico da instalação foi realizado por meio de ajustes manuais nas cortinas laterais, permitindo a regulação da ventilação natural em função das condições climáticas diárias.

2.4. Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, adotando-se a baia como unidade experimental primária. Após a padronização do peso médio inicial dos leitões entre os grupos, os tratamentos foram alocados aleatoriamente às baias, visando reduzir a variabilidade basal e minimizar potenciais fatores de confundimento associados ao desempenho inicial.

Foram utilizadas 15 baias, distribuídas igualmente entre os tratamentos ($n = 5$ baias/tratamento). Cada baia alojou 45 leitões, mantidos sob condições padronizadas de densidade ($0,30 \text{ m}^2/\text{animal}$), nutrição, manejo sanitário e rotina de trato, garantindo controle das variáveis não experimentais ao longo do período experimental.

Os tratamentos foram definidos de acordo com o nível de complexidade e a dinâmica temporal do enriquecimento ambiental ofertado:

- T1 – Enriquecimento Único (UNI): fornecimento contínuo de correntes plásticas ramificadas ao longo de todo o período experimental, caracterizando o menor nível de complexidade ambiental.
- T2 – Enriquecimento Alternado (ALT): fornecimento contínuo de correntes plásticas associado a um segundo dispositivo (EA1 ou EA2), alternado a cada sete dias, promovendo variação temporal do estímulo e um nível intermediário de complexidade ambiental.
- T3 – Enriquecimento Simultâneo (SIM): fornecimento concomitante e contínuo de correntes plásticas, EA1 e EA2, ao longo de todo o período experimental, o que representa o maior nível de complexidade ambiental.

2.5. Enriquecimento ambiental

Os dispositivos de enriquecimento ambiental (Figura 1) foram selecionados com base em suas propriedades físicas e funcionais, com o objetivo de estimular comportamentos exploratórios, manipulativos e orais, compatíveis com o repertório comportamental natural de leitões. Em todas as baias, os objetos foram instalados de forma padronizada, em altura e posicionamento, de modo a assegurar acesso equitativo e a reduzir o viés associado à localização.

- Correntes Plásticas (CR). Confeccionadas em polietileno de alta resistência, constituídas por seis ramificações, e suspensas à altura da cabeça/linha dos olhos dos leitões. O formato ramificado e a mobilidade do conjunto favoreceram a manipulação oral, incluindo puxar, mastigar e interações dinâmicas durante o período de alojamento.
- EA1 – Dispositivo em PVC. O EA1 consistiu em uma estrutura cilíndrica rígida de PVC, com haste metálica central e quatro mangueiras plásticas flexíveis, com possibilidade de deslizamento axial. Essa configuração proporciona estímulo tátil e resposta mecânica variável ao contato, favorecendo interação manipulativa prolongada. O dispositivo foi fixado às grades laterais da baia, visando estabilidade e segurança durante o uso.
- EA2 – Corda de Sisal. O EA2 foi composto por uma corda de sisal (fibra natural) trançada, com quatro ramificações terminais, suspensa no eixo central da baia. A textura fibrosa e a deformabilidade do material favoreceram os comportamentos de mastigação, tração e manipulação oral.

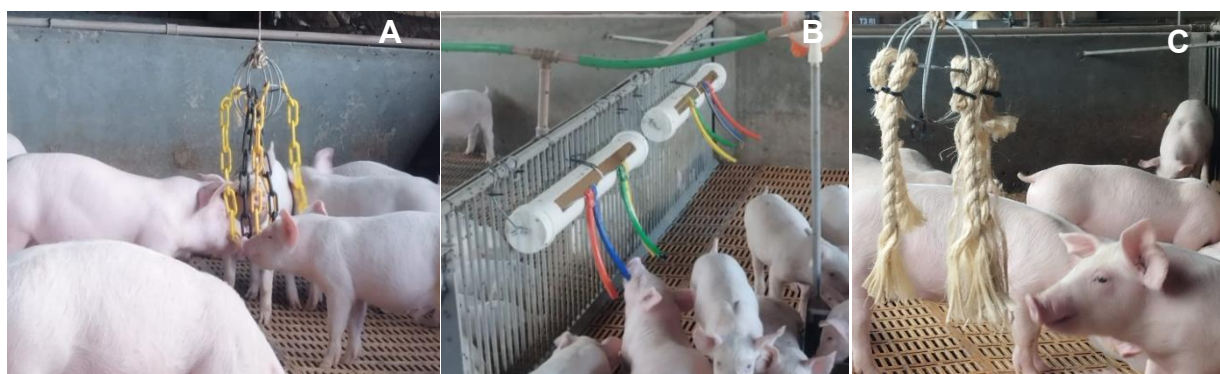


Figura 1. Objetos de enriquecimento utilizados. A. Corrente ramificada; B. EA1 (PVC e mangueiras); C. EA2 (Corda de sisal).

2.5.1. Protocolo de Rotação e Higienização

No tratamento ALT, os dispositivos adicionais de enriquecimento (EA1 e EA2) foram rotacionados a cada 7 dias (um ciclo). Antes de cada reinstalação, os dispositivos eram lavados com detergente neutro e desinfetados com etanol 70%, permanecendo em secagem ao ar até a completa evaporação. As cordas de sisal (EA2), devido à natureza fibrosa e à maior suscetibilidade ao desgaste, foram substituídas por novas unidades ao final de cada ciclo.

Nos tratamentos UNI e SIM, não foi implementado um protocolo de higienização periódica, com o propósito de preservar a estabilidade/constância ambiental ao longo do período experimental. No SIM, as cordas de sisal foram substituídas apenas quando apresentavam desgaste estrutural evidente ou risco de comprometimento funcional e/ou de segurança.

Em todos os tratamentos, os dispositivos foram posicionados de forma padronizada dentro das baias, mantendo distanciamento entre objetos para evitar sobreposição espacial e assegurando acesso equitativo aos leitões, minimizando a competição e o viés associado à localização (ex.: correntes e corda no eixo central; EA1 fixado às grades laterais, conforme descrito na Seção 2.5).

2.6 Teste de Viés de Atenção (ABT)

Foi selecionada uma subamostra de 32 leitões ($\approx 10\text{--}11$ por tratamento), proveniente do total de 675 animais do experimento, para realização do Teste de Viés de Atenção (ABT). Cada leitão foi submetido a uma única sessão (unidade experimental: 1 animal/teste; 32 avaliações). A ordem de testagem foi aleatorizada, com restrição para evitar repetição de tratamentos em sequência, reduzindo possíveis efeitos de ordem (cronologia, fadiga do avaliador/animais e aprendizagem). O tamanho amostral e o protocolo foram definidos com base em Luo et al. (2019) e Neary et al. (2024).

2.6.1. Arena, contexto e registros comportamentais

O ABT foi conduzido em uma arena de madeira (2,10 × 2,10 m; 1,10 m de altura), com piso ripado plástico, contendo uma ante-arena/caixa de entrada (1,00 × 0,70 m) separada da área de teste por uma porta guilhotina (Figura 2). Para manter consistência com o contexto de criação e minimizar respostas associadas à novidade do ambiente, a arena foi montada no interior de uma baia de alojamento localizada em outra sala de creche, fisicamente separada das baias experimentais, preservando condições de piso, iluminação e odores semelhantes (Paul et al., 2005; Mendl et al., 2009). Essa disposição evitou que os leitões do experimento tivessem contato auditivo prévio com os estímulos aversivos, de modo que a exposição ao som ocorreu apenas durante a sessão de teste. Um comedouro padrão foi posicionado lateralmente na arena, em localização equivalente à utilizada nas baias de origem, para que as respostas observadas fossem predominantemente atribuídas ao estímulo aversivo apresentado durante o teste.

As sessões foram gravadas continuamente por sistema fixo de câmeras digitais de alta resolução (ângulos zenital e lateral, cobrindo toda a arena). Adicionalmente, foi realizada gravação individual de cada sessão com dispositivo móvel, principalmente para captação de áudio e organização/identificação de arquivos.

Antes de cada teste, o leitão era identificado com spray marcador em região corporal (cabeça/dorso/flanco). Imediatamente antes do início, um quadro de identificação era exibido à câmera contendo data/hora, tratamento, repetição e marcação corpo, assegurando rastreabilidade e evitando testagem duplicada.

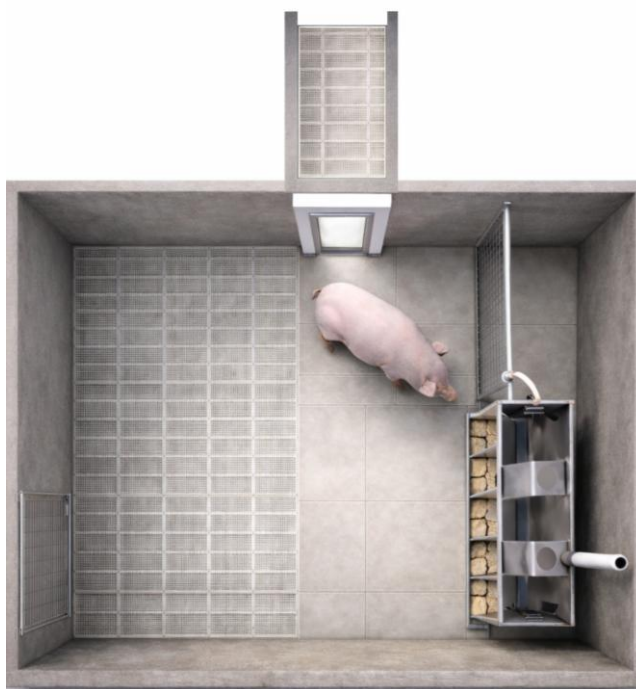


Figura 2. Ilustração da arena utilizada no teste de Viés de Atenção (ABT). Elaborado pelo autor (2026) via IA *ChatGPT*.

2.6.2. Preparação dos animais e estímulo positivo

O procedimento ocorreu em duas etapas: no 33º dia de experimentação, os leitões passaram por adaptação à arena e ao manejo (5 minutos/animal); no 34º dia, foi aplicado o ABT, seguindo o protocolo adaptado de Luo et al. (2019) e Neary et al. (2024). Cada leitão foi conduzido individualmente até uma baia de descanso por 2 minutos antes do teste, para reduzir excitação associada ao deslocamento e evitar exposição prévia ao estímulo aversivo (contágio social/aprendizagem por observação).

O comedouro foi abastecido antes de cada sessão com ração pré-inicial e itens altamente palatáveis (pepino e biscoitos doces de coco) para induzir motivação ao alimento. Entre os testes, a arena foi submetida à limpeza mecânica para remoção de fezes/urina, reduzindo pistas químicas do animal anterior.

2.6.3. Protocolo do ABT e estímulo aversivo

O teste foi desenhado para avaliar o conflito motivacional entre a alimentação (estímulo positivo) e uma ameaça sonora. Cada leitão permaneceu 10 s na ante-arena e, em seguida, teve acesso à arena. A sessão foi acompanhada por monitoramento remoto, com o observador fora do campo visual do animal, reduzindo interferências.

O protocolo adotou uma dupla exposição ao estímulo aversivo para inferir o estado afetivo e a persistência do estado de alerta. A aplicação dos estímulos ocorreu da seguinte forma:

- ES1 (primeira ameaça): após 10 s de exploração inicial na arena, reproduziu-se um áudio de latidos agressivos de cão (10,3 s; 72 dB), emitido por caixa de som portátil Eco Power EP-2315, posicionada de forma padronizada.
- ES2 (reexposição): o mesmo estímulo (10,3 s; 72 dB) foi reapresentado somente após o leitão apresentar ou retomar efetivamente o comportamento alimentar após o ES1, permitindo avaliar a recuperação e a manutenção da vigilância frente à ameaça.

2.6.4. Registro Comportamental e Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada em duas etapas: durante o teste (em tempo real) e após o teste (análise de vídeo). Em tempo real, imediatamente após o término de cada estímulo aversivo (ES1 e ES2), registraram-se: (i) latência para consumo (s), definida como o intervalo até o primeiro contato físico do leitão com o alimento, e (ii) consumo (sim/não), codificado de forma binária. Essas medidas foram empregadas como indicadores do efeito do estímulo sobre a motivação alimentar e da persistência do estado de alerta, inferida pela inibição alimentar.

Após as sessões, as gravações foram analisadas por um avaliador treinado e cego aos tratamentos, utilizando o software Solomon Coder (Beta, versão DSPack 2.3.4). Os comportamentos foram codificados por amostragem contínua, com resolução temporal de 0,2 s. Variáveis do tipo estado foram

quantificadas como duração (s), enquanto variáveis do tipo evento (p. ex., fuga, excreção e vocalizações) foram quantificadas como frequência (n).

O etograma operacional (Tabela 1) foi estruturado por categorias e incluiu medidas de uso do espaço da arena, viés atencional, respostas defensivas e autonômicas, atividade geral e motivação/recuperação. A atenção dirigida à ameaça e o freezing (imobilidade defensiva) foram definidos como os principais indicadores de viés atencional negativo. Já a interação com o comedouro/consumo foi utilizada como medida de recuperação pós-estímulo e de motivação alimentar.

Tabela 1. Etograma e critérios de codificação comportamental utilizados no Teste de Viés de Atenção (ABT)

Categoria	Variável	Descrição Operacional	Registro
Uso do espaço	Periferia	Tempo (s) em que o leitão permanece na zona periférica previamente demarcada (área adjacente às paredes da arena).	Duração (s)
	Centro	Tempo (s) em que o leitão permanece na zona central previamente demarcada (região interna da arena, excluindo a periferia).	Duração (s)
Viés Atencional	Atenção a Ameaça	Orientação da cabeça/olhar direcionada à fonte sonora (alto-falante) após o término do ES1 e ES2.	Duração (s)
	Atenção ao Ambiente	Monitoramento visual do entorno sem orientação específica à fonte sonora e sem exploração com o focinho, na ausência de <i>freezing</i>	Duração (s)
Respostas defensivas	<i>Freezing</i>	Imobilidade sustentada com postura rígida, geralmente com cabeça elevada e/ou orelhas eretas, sem locomoção e sem exploração ativa.	Duração (s)
	Fuga	Tentativas de fuga, caracterizadas por arranque/ corrida brusca e/ou investida contra paredes/porta, com tentativa de afastamento rápido do local.	Frequência (n)
	Excreção	Episódios de micção e/ou defecação durante a sessão	Frequência (n)

Atividade geral	Explorando	Comportamento investigativo do ambiente com uso ativo do focinho (ex.: cheirar/tocar o piso, paredes, comedouro), com ou sem deslocamento lento.	Duração (s)
	Andando	Locomoção contínua (passos regulares), sem caracterizar corrida/fuga e sem exploração com o focinho.	Duração (s)
	Em pé (parado)	Em estação, sem locomoção e sem engajamento exploratório (sem farejar/manipular).	Duração (s)
	Fora de Vista	Animal localizado em área da arena que não permite a visualização pelas câmeras, impossibilitando a identificação de sua postura ou atividade	Duração (s)
Motivação/ recuperação	Interação com o comedouro/ Consumo	Contato e manipulação do comedouro/alimento (ex.: focinho na borda, cheirar, lamber, mastigar), com ou sem ingestão.	Duração (s)
Vocalização	Grito / Guincho	Vocalização aguda, de alta intensidade, típica de excitação ou aversão.	Frequência (n) e duração (s)
	Latido (Bark)	Vocalização abrupta, curta e intensa, associada à estado de alerta	Frequência (n) e duração (s)
	Grunhido	Vocalização grave, contínua ou intermitente, de menor intensidade relativa.	Frequência (n) e duração (s)

Fonte: Luo et al., 2019 e Neary et al., 2024.

2.7 Análise Bioacústica e Inferência Emocional

As análises bioacústicas foram realizadas a partir de vídeos gravados durante o teste de viés atencional (ABT), os quais registraram simultaneamente o comportamento dos leitões e suas vocalizações ao longo de cada sessão. As vocalizações emitidas durante o teste foram utilizadas como indicadores de ativação (arousal) e valência emocional, complementando a classificação comportamental com critérios bioacústicos objetivos. A identificação inicial dos tipos vocais seguiu os critérios descritos por Luo et al. (2019) e Neary et al. (2024), com refinamento a partir de descritores e parâmetros de qualidade do sinal propostos por Diana et al. (2019) e Leliveld et al. (2017).

As gravações foram analisadas no software Praat (v. 6.4.48), a partir do qual foram extraídos os parâmetros acústicos: frequência fundamental (F0), duração, intensidade e razão harmônico–ruído (HNR) (Figura 3). Vocalizações de alta frequência foram relacionadas a estados de maior reatividade/estresse, refletindo valência negativa e alta ativação (Illmann et al., 2013; Ferrari et al., 2013). Já os latidos distinguiram-se por um início abrupto e caráter mais explosivo, sendo tratados como uma categoria funcionalmente distinta dentro do repertório vocal (Chan et al., 2011). Já nas vocalizações de baixa frequência, a inferência de variações no estado afetivo baseou-se principalmente em parâmetros como duração e descritores espectrais (Briefer et al., 2019; Friel et al., 2019). Além disso, a relação harmônico–ruído (HNR) foi empregada como indicador da qualidade do sinal e, por extensão, como marcador indireto de reatividade emocional (Leliveld et al., 2017; Nicolaisen et al., 2025).

Com base nesses pressupostos, gritos e guinchos foram agrupados em uma única categoria (distinta de latidos), por apresentarem um perfil acústico convergente (F0 elevada, alta intensidade e baixa HNR) (Ferrari et al., 2013; Illmann et al., 2013; Leliveld et al., 2017; Briefer et al., 2019; Neary et al., 2024). Por sua vez, os grunhidos foram subdivididos em grunhido áspero e grunhido claro, considerando diferenças na qualidade do sinal e associações descritas entre esses padrões e estados como frustração/desconforto em comparação a condições basais (Briefer et al., 2012; Leliveld et al., 2016, 2017; Friel et al., 2019).

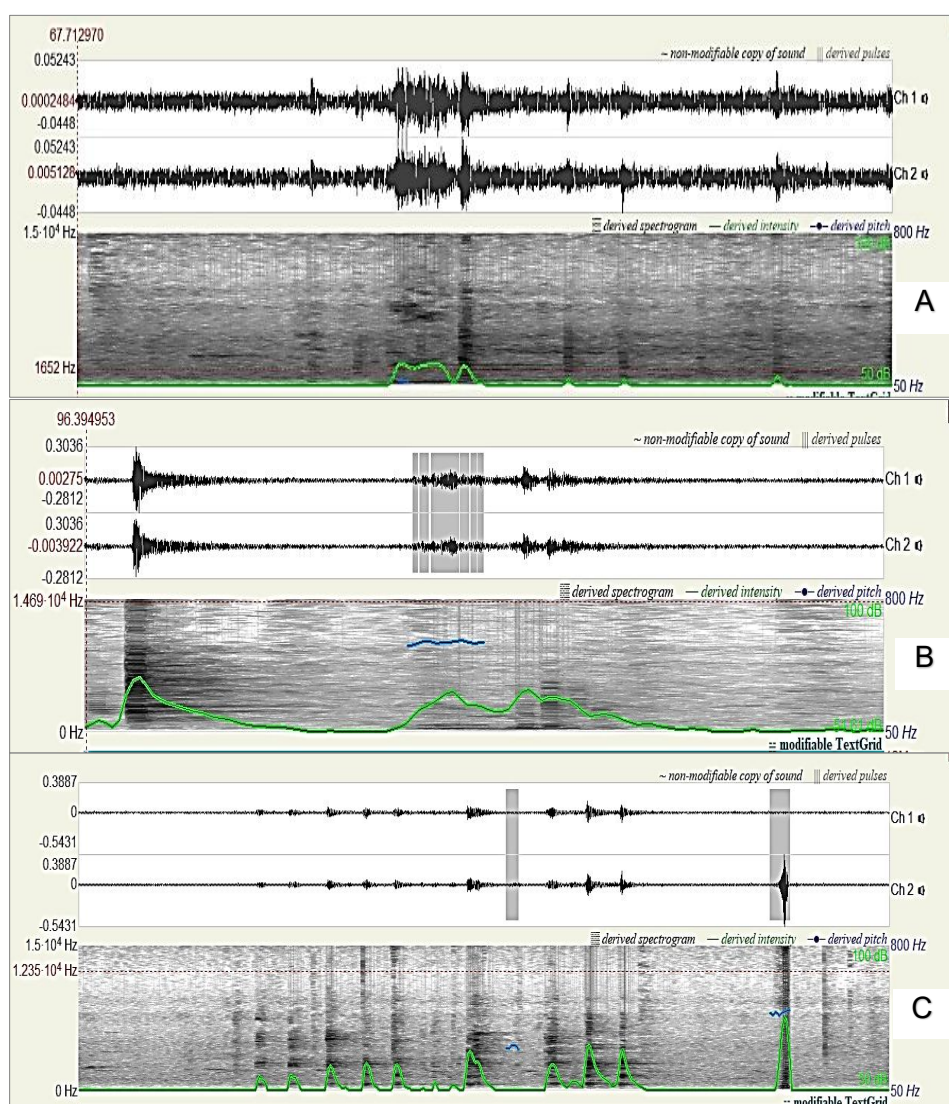


Figura 3. Espectrogramas representativos das vocalizações registradas durante o teste de viés de atenção: (A) Latido (*Bark*); (B) Grunhido; (C) *NoseGround*. Os espectrogramas foram gerados no *software Praat*.

A integração entre categorias vocais e parâmetros acústicos resultou em uma matriz de inferência afetiva, baseada no modelo bidimensional de valência–ativação (Mendl et al., 2010), permitindo interpretar a variação entre sinais mais tonais versus ruidosos e mudanças na duração das vocalizações de baixa frequência ao longo do desafio do ABT. Os valores médios por categoria vocal, bem como os critérios de classificação adotados, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros acústicos e critérios de categorização das vocalizações de suínos utilizados para inferência emocional

Vocalização	Estado afetivo	Frequência de Pico/F0 (Hz)	Duração (s)	Intensidade (dB) / HNR	Dimensão qualitativa	Referência
Grito/ Guincho	Medo, Dor, Ansiedade	≥ 1000	$\geq 0,55$	≥ 65 / < 5	Ruidoso Atonal	Ferrari et al. (2013); Illmann (2013); Leliveld et al. (2017); Neary et al. (2024)
Latido (Bark)	Medo, Ansiedade, Alerta	50–800	$\leq 0,55$	≥ 65 / < 5	Ruidoso Abrupto	Chan et al. (2011); Leliveld et al. (2017); Diana et al. (2019)
Grunhido Áspero	Frustração, Desconforto	≤ 250	$\leq 0,60$	≤ 65 / < 5	Instável Áspero	Leliveld et al. (2016, 2017); Briefer et al. (2019); Friel et al. (2019)
Grunhido Claro	Basal, Calmo	≤ 250	$\leq 0,50$	≤ 65 / > 15	Claro Modal	Briefer et al. (2012, 2019); Nicolaisen et al. (2025)

Elaborado pelos autores (2026). F0 = frequência fundamental; HNR = Harmonics-to-Noise Ratio. Valores de duração e intensidade refletem média ou faixa observada para cada vocalização. Grito e latido foram separados por diferenças de frequência, duração e contexto emocional, conforme a literatura.

Durante a triagem das gravações para a análise bioacústica, foi identificado um evento acústico não categorizado previamente (“*NoseGround*”), caracterizado por uma sucessão de pulsos atonais de banda larga (0–14 kHz), sem frequência fundamental definida e com HNR negativo (médias entre –2,20 e –3,44 dB); por se tratar de um ruído associado ao comportamento exploratório (contato/atrito do focinho com o substrato), e não de uma vocalização específica, e por ter ocorrido em baixíssima frequência, esse evento não foi incluído nas análises de vocalizações.

2.8 Avaliação Qualitativa do Comportamento (QBA)

A QBA foi utilizada para caracterizar a expressão emocional global dos leitões durante o ABT. A avaliação foi realizada para todos os leitões submetidos ao teste, com base nos vídeos registrados (180 s por animal). Três avaliadores previamente treinados, cegos aos tratamentos, atribuíram escores com base na impressão global do comportamento ao longo de todo o período do vídeo, sem contagem de eventos isolados (Wemelsfelder et al., 2001; Rutherford et al., 2012). O treinamento incluiu alinhamento conceitual, discussão dos descritores e sessões-piloto para padronização interpretativa. Na fase de pontuação, os avaliadores assistiram aos vídeos na mesma sala, mantendo-se sem contato visual entre si e sem qualquer comunicação verbal ou não verbal, a fim de assegurar independência das avaliações. Cada vídeo foi exibido integralmente e, imediatamente após sua exibição, os avaliadores dispuseram de 180 s para registrar os escores; para minimizar a fadiga e preservar a consistência ao longo da sessão, foi adotado um intervalo de 15 min após cada bloco de cinco vídeos.

Foram utilizados 17 descritores expressivos adaptados para suínos com base em Rutherford et al. (2012), apresentados na Tabela 3. A seleção dos descritores foi ajustada ao contexto experimental, sendo excluídos aqueles com baixa aplicabilidade à avaliação individual no Teste de Viés de Atenção, especialmente termos associados a interações sociais (*sociável*) ou a estados emocionais positivos tipicamente observados em contextos grupais (*contente*, *feliz*). Adicionalmente, descritores com sobreposição conceitual (*indiferente*, *letárgico*) ou de difícil distinção em testes de curta duração (*irritado*, *frustrado*)

foram removidos, visando maior consistência entre avaliadores e precisão na caracterização dos estados afetivos.

Cada descritor foi pontuado por meio de uma escala visual analógica contínua (0–100 mm), na qual 0 representou a ausência e 100 a intensidade máxima percebida do estado comportamental. As marcações foram posteriormente mensuradas e convertidas em valores numéricos para análise estatística.

Tabela 3. Descritores da Avaliação Comportamental Qualitativa e definições operacionais utilizadas para avaliar leitões durante o Teste de Viés de Atenção

Descritor	Definição Operacional
Calmo	Baixa reatividade, movimentos suaves e postura corporal estável.
Relaxado	Ausência de tensão muscular visível e comportamento fluido.
Confiante	Postura firme e exploração proativa sem hesitação.
Curioso	Interesse ativo e direcionado em relação aos estímulos ambientais.
Atento	Vigilância equilibrada com foco ambiental claro.
Ativo	Alto nível geral de movimento e envolvimento comportamental.
Brincalhão	Movimentos rápidos e vigorosos, sem sinais de tensão ou agressão.
Apático	Baixa capacidade de resposta e atividade geral reduzida.
Entediado	Comportamento monótono com interação ambiental limitada.
Temeroso	Respostas de evitação, congelamento ou fuga.
Ansioso	Comportamento inquieto e antecipatório, com frequentes mudanças de postura.
Nervoso	Alta reatividade e instabilidade comportamental.
Tenso	Postura rígida e movimentos restritos.
Estressado	Expressão global persistente de desconforto.
Agitado	Movimentos rápidos, repetitivos ou desorganizados.

Retraído	Postura corporal baixa e exploração limitada.
Inseguro	Comportamento hesitante e respostas inconsistentes.

Adaptado de Rutherford et al., (2012).

2.9 Classificação dos descritores segundo valência emocional

Para padronizar a interpretação, os descritores comportamentais, bioacústicos e qualitativos utilizados no ABT foram classificados *a priori* quanto à valência emocional (positiva/negativa) e ao nível de ativação (*arousal*), conforme sistematizado na Tabela 4. Essa classificação subsidiou uma inferência afetiva multimodal, na qual a convergência entre indicadores de naturezas distintas (comportamentais, acústicas e QBA) foi utilizada para fortalecer a consistência interpretativa.

Tabela 4. Classificação dos descritores segundo valência emocional e nível de ativação

Variável	Métrica/ Indicador	Direção/ Critério	Valência	Ativação	Interpretação Funcional	Referência
ABT						
Atenção à Ameaça (Pós- ES1 e ES2)	Duração (s)	↑ duração	Negativa	Alta	Viés atencional negativo (orientação para ameaça)	Paul et al., (2005); Mendl et al., (2009); Mendl et al., (2010); Neary et al., (2024)
<i>Freezing</i>	Duração (s)	↑ duração	Negativa	Alta	Resposta defensiva hipervigilância	Mendl et al., (2010); Neary et al., (2024)
Fuga	Frequência (n)	↑ frequência	Negativa	Alta	Reatividade defensiva ativa	Mendl et al., (2010); Neary et al., (2024)
Excreção	Frequência (n)	↑ frequência	Negativa	Alta	Ativação autonômica	Mendl et al., (2010)
Latência para consumo	Latência (s)	↓ latência = mais positiva; ↑ latência = mais negativa	Dependente da direção	Moderada	Resiliência/recuperaç ão pós-ameaça	Paul et al., (2005); Mendl et al., (2010); Neary et al., (2024)
Permanência na periferia	Duração (s)	↑ duração	Negativa	Moderada	Evitação espacial	Luo et al., (2019)

Permanência no centro	Duração (s)	↑ duração	Neutro-positiva	Baixa-Moderada	Uso do espaço compatível com maior segurança	Luo et al., (2019); Mendl et al., (2010)
Exploração	Duração (s)	↑ duração	Neutro-positiva	Baixa-Moderada	Engajamento exploratório/retomada	Luo et al., (2019); Mendl et al., (2010)
Atenção ao Ambiente	Duração (s)	↑ duração (sem <i>freezing</i>)	Neutro-positiva	Baixa-Moderada	Monitoramento não defensivo	Luo et al., (2019); Mendl et al., (2010)
Interação com comedouro/consumo	Duração (s)	↑ duração	Positiva	Baixa	Motivação, recuperação pós-estímulo	Luo et al., (2019)
Andando / em pé (Parado)	Duração (s)	↑ duração	Neutra–Contextual	Baixa–Moderada	Atividade basal (interpretar com contexto)	Paul et al., (2005); Mendl et al., (2010); Luo et al., (2019)
BIOACÚSTICA						
Grito/ Guincho	HNR, F0, intensidade	Perfil ruidoso/ atonal (ex.: HNR baixo)	Negativa	Alta	Alta ativação negativa (medo, dor, aversão)	Ferrari et al. (2013); Illmann (2013); Leliveld et al. (2017); Neary et al. (2024)
Latido (Bark)	HNR + morfologia	Abrupto/ explosivo + ruidoso	Negativa	Moderada	Alerta reatividade	Chan et al. (2011); Leliveld

						et al. (2017); Diana et al. (2019)
Grunhido Áspero	HNR	HNR baixo/instável	Negativa	Baixa– Moderada	Frustração desconforto	Leliveld et al. (2016, 2017); Briefer et al. (2019); Friel et al. (2019)
Grunhido Claro	HNR	HNR alto/“modal”	Neutra–Positiva	Baixa	Estado basal mais calmo	Briefer et al. (2012, 2019); Nicolaisen et al. (2025)
QBA						
Calmo; Relaxado	Escore VAS	↑ escore	Positiva	Baixa	Regulação/estado positivo de baixa ativação	Wemelsfelder et al., (2001)
Confiante; Curioso; Atento; Brincalhão	Escore VAS	↑ escore	Positiva	Moderada	Engajamento positivo	Rutherford et al., (2012)
Temeroso; Ansioso; Nervoso; Tenso; Estressado; Agitado	Escore VAS	↑ escore	Negativa	Alta	Alta ativação negativa	Rutherford et al., (2012); Wemelsfelder et al., (2001)
Apático; Entediado; Retraído	Escore VAS	↑ escore	Negativa	Baixa	Estado negativo de baixa ativação	Mendl et al., (2010)

Inseguro	Escore VAS	↑ escore	Negativa	Moderada	Hesitação / instabilidade	Rutherford et al., (2012)
Ativo	Escore VAS	↑ escore	Neutro/Contextual	Variável	Atividade geral dependente do contexto	Rutherford et al., (2012)

Elaborado pelos autores (2026). Nota: A classificação fundamenta-se no modelo bidimensional de emoção (valência × ativação), conforme Mendl et al. (2010), e cada variável foi categorizada segundo os autores específicos indicados na coluna “Referências”.

2.10 Amostras biológicas e dosagens

O cortisol no pelo foi utilizado como um indicador integrado da atividade do eixo hipotálamo–hipófise–adrenal (HPA) ao longo do período experimental. As amostras foram coletadas por corte na região dorsal (aprox. 35 cm × 10 cm), evitando-se a inclusão de material cutâneo, em dois momentos: no início do estudo (pré-exposição) e imediatamente após o ABT (pós-exposição). Na coleta inicial, o pelo foi removido com tesoura (amostra basal) e, na coleta final, com máquina de tosquia, mantendo-se o mesmo local anatômico para padronização.

No início, a estimativa basal foi obtida a partir de 10 leitões selecionados ao acaso; esses mesmos indivíduos também foram utilizados para a coleta basal de sangue destinada às análises de BDNF e serotonina, sem estratificação por tratamento. No período pós-exposição, as amostras de pelo foram coletadas de todos os leitões submetidos ao ABT, com as análises estratificadas por tratamento.

O processamento do pelo seguiu protocolos descritos na literatura (Davenport et al., 2006; Casal et al., 2017; Casal-Plana et al., 2017) e a concentração de cortisol foi quantificada por ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*) utilizando-se kit comercial (*Porcine Cortisol ELISA Kit, Elabscience®*), conforme instruções do fabricante.

Para BDNF e serotonina, amostras de sangue foram coletadas nos mesmos momentos. As amostras foram coletadas em tubos para obtenção de soro, mantidas para coagulação em temperatura ambiente por ~1 h, centrifugadas (20 min a 1400 × g, 4 °C), e o soro foi armazenado em criotubos identificados a -80 °C até as análises. As concentrações séricas de BDNF e serotonina foram determinadas por ELISA (*Porcine BDNF Brain Derived Neurotrophic Factor – Fine Test®* e *Serotonin/5-Hydroxytryptamine, Elabscience®*, respectivamente), conforme instruções dos fabricantes.

2.11 Análise Estatística

As análises estatísticas dos resultados do teste de viés de atenção (ABT), abrangendo medidas comportamentais e vocais/bioacústicas, foram conduzidas por meio do procedimento GLIMMIX do SAS (versão 9.4, SAS

Institute Inc., Cary, NC, EUA). Para variáveis que não atenderam ao pressuposto de normalidade dos resíduos, foram ajustados modelos lineares generalizados mistos, adotando-se distribuições compatíveis com a natureza dos dados, especificamente Gamma e Lognormal. A seleção do modelo mais adequado foi baseada em critérios de qualidade de ajuste, incluindo o -2 Res Log Likelihood e o Akaike Information Criterion corrigido (AICC).

No modelo com distribuição lognormal, assume-se que o logaritmo da variável resposta apresenta distribuição normal, sendo a média e a variância estimadas na escala logarítmica. Por sua vez, no modelo com distribuição Gamma, considera-se que a variável resposta segue uma distribuição contínua assimétrica, sendo modelada na escala original por meio de uma função de ligação, geralmente logarítmica, que relaciona a média aos efeitos lineares do modelo.

As médias ajustadas (LSMEANS) foram estimadas para fins de comparação entre tratamentos, sendo posteriormente transformadas para a escala original por meio da função de ligação inversa (opção *ilink*) do procedimento GLIMMIX. As comparações múltiplas entre médias foram realizadas utilizando o teste de diferenças pareadas (*pdiff*).

Os dados relacionados ao consumo alimentar (sim/não), registrados após cada exposição aos estímulos, foram analisados com o objetivo de avaliar o efeito dos tratamentos experimentais sobre o comportamento alimentar dos leitões submetidos a um teste de conflito motivacional com estímulo aversivo. Para essa variável, foram ajustados modelos lineares generalizados mistos com distribuição binomial e função de ligação logit. O modelo incluiu os efeitos fixos de tratamento, tipo de estímulo (ES1 e ES2) e a interação entre esses fatores, sendo o animal considerado como efeito aleatório, a fim de controlar a dependência entre medidas repetidas. As médias ajustadas foram obtidas pelo procedimento LSMEANS e apresentadas na escala de probabilidade por meio da opção *ilink*.

A latência para o início do consumo foi analisada por meio de análise de sobrevivência, considerando a presença de censura à direita. Observações nas quais os leitões não consumiram alimento até o tempo máximo de 180 segundos

foram tratadas como censuradas. Inicialmente, foram estimadas curvas de sobrevivência não paramétricas pelo método de Kaplan-Meier (PROC LIFETEST), permitindo a descrição da dinâmica temporal do comportamento alimentar. A comparação entre tratamentos foi realizada utilizando os testes de Log-Rank e Wilcoxon.

Adicionalmente, a latência foi analisada por meio do modelo de riscos proporcionais de Cox (PROC PHREG), incluindo os efeitos de tratamento, estímulo e sua interação, possibilitando avaliar a influência das variáveis experimentais sobre a taxa de ocorrência do consumo ao longo do tempo.

Para as avaliações qualitativas do comportamento (QBA), a confiabilidade interavaliadores dos descritores foi verificada por meio do coeficiente de correlação intraclassa (ICC), utilizando modelo bidirecional de efeitos mistos com critério de concordância absoluta (ICC(3,k)). Após a confirmação de confiabilidade, os escores foram agregados por meio da média entre avaliadores para cada animal e descritor. Em seguida, os descritores foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), com base na matriz de correlações, sendo os componentes retidos definidos a partir dos autovalores e da interpretabilidade biológica.

Os escores dos componentes principais foram posteriormente analisados por meio de modelos lineares (OLS), incluindo o efeito fixo de tratamento. Em análises complementares, o sexo foi incluído como covariável. Quando identificado efeito significativo de tratamento, as comparações múltiplas entre médias foram realizadas pelo teste de Tukey (HSD).

Em todas as análises, adotou-se nível de significância de 5% ($P \leq 0,05$).

3.RESULTADOS

3.1 Teste de Viés de Atenção – ABT

Os comportamentos exibidos durante o ABT mostraram, de modo geral, alta variabilidade intra-tratamento (DPs amplos) e ausência de efeito dos tratamentos para a maior parte das medidas de uso do espaço, atenção, exploração, locomoção, interação com alimento e vocalizações.

Em termos de uso do espaço, não houve diferenças entre tratamentos na permanência na periferia ($P= 0,456$) nem no centro ($P= 0,366$), sugerindo que os tratamentos não alteraram de forma detectável a distribuição espacial na arena durante o teste. De forma semelhante, os indicadores diretamente vinculados ao componente atencional do ABT não diferiram entre grupos: atenção à ameaça 1 ($P= 0,647$), atenção à ameaça 2 ($P=0,479$) e atenção ao ambiente ($P= 0,711$). Também não foram observadas diferenças para exploração ($P=0,329$), interação com o comedouro ($P=0,615$), andando ($P= 0,675$) e tempo fora de vista ($P= 0,877$) (Tabela 5).

Tabela 5. Médias e desvios padrão das médias do número de eventos (n) e duração (s) dos diferentes comportamentos apresentados pelos suínos registrados durante o teste de viés de atenção

Comportamento	Tratamento			P-Valor
	UNI	ALT	SIM	
Permanência na Periferia (s)	58,80 ± 18,53	78,31 ± 38,31	82,82 ± 41,38	0,456
Permanência no Centro (s)	121,20 ± 18,86	101,69 ± 39,24	97,18 ± 48,73	0,366
Atenção à ameaça 1 (s)	6,98 ± 10,15	5,95 ± 6,42	7,44 ± 9,01	0,647
Atenção à ameaça 2 (s)	1,04 ± 2,176	0,73 ± 1,62	2,07 ± 4,53	0,479
Atenção para o ambiente (s)	13,08 ± 15,26	24,69 ± 15,11	21,73 ± 19,27	0,711
Freezing (s)	12,50 ± 11,22	20,90 ± 16,15	29,96 ± 16,52	0,056
Explorando (s)	65,58 ± 27,47	50,56 ± 16,23	50,45 ± 26,12	0,329
Interação com comedouro (s)	38,46 ± 26,10	25,85 ± 23,48	35,05 ± 22,65	0,615
Andando (s)	21,00 ± 21,28	22,81 ± 18,91	22,20 ± 17,25	0,675
De pé parado (s)	8,42 ± 6,67 ^{ab}	15,78 ± 15,85 ^a	5,90 ± 5,87 ^b	0,016
Fora de vista (s)	12,94 ± 12,77	12,70 ± 12,08	5,54 ± 4,64	0,877
Tentativas de fuga (n)	3,10 ± 1,95 ^{ab}	1,70 ± 1,87 ^b	4,18 ± 2,54 ^a	0,040
Excreção (n)	2,00 ± 1,73 ^a	1,50 ± 1,64 ^{ab}	1,00 ± 1,41 ^b	0,043

Apesar disso, emergiram diferenças em respostas compatíveis com estratégias de enfrentamento/reactividade:

Os animais do grupo ALT exibiram maior duração do comportamento em pé parado (15,78 ± 15,85) do que os do grupo SIM (5,90 ± 5,87). Esse padrão sugere maior componente de imobilidade em estação em ALT, sem, entretanto,

mudança consistente em medidas de atenção à ameaça. Tentativas de fuga ocorreram em maior frequência nos leitões do grupo SIM ($4,18 \pm 2,54$) em relação aos do ALT ($1,70 \pm 1,87$) ($P= 0,040$), indicando maior expressão de resposta ativa de evasão nos animais submetidos ao ambiente complexo e estável (SIM). Animais do tratamento UNI apresentaram maior frequência de comportamento de excreção ($2,00 \pm 1,73$) ($P= 0,043$), em relação aos do SIM ($1,00 \pm 1,41$), sugerindo maior ativação autonômica em UNI nas condições do teste.

Não houve evidência de que os tratamentos tenham alterado a probabilidade de consumo após os estímulos aversivos ($P= 0,368$), e tampouco foi detectada interação tratamento $\times$ estímulo ($P= 0,704$; Tabela 6), indicando que o padrão de resposta ao ES1 e ao ES2 foi, em termos estatísticos, semelhante entre as estratégias de enriquecimento. Observou-se, entretanto, uma tendência de efeito do estímulo ($P= 0,0522$), com redução numérica da probabilidade de consumo na reexposição (ES2) em relação à primeira exposição (ES1) em todos os tratamentos (p. ex., UNI: $78,1 \rightarrow 43,0\%$; ALT: $45,7 \rightarrow 13,1\%$; SIM: $45,0 \rightarrow 32,3\%$). Em conjunto, os resultados sugerem que, nas condições avaliadas, o enriquecimento não modificou de forma detectável a decisão binária de consumir após os sinais de alarme, embora a reexposição ao estímulo tenha sido acompanhada por uma diminuição consistente (ainda que limítrofe do ponto de vista estatístico) na probabilidade de retomar o consumo, compatível com maior persistência da inibição alimentar após o segundo estímulo.

Tabela 6. Probabilidade de consumo (%) de alimento pelos leitões após estímulos aversivos realizados durante o teste de viés de atenção – latência para o consumo. Valores apresentados como média $\pm$ erro padrão para as probabilidades.

Tratamento	ES1 (%)	ES2 (%)	Média (%)
UNI	$78,1 \pm 16,3$	$43,0 \pm 21,6$	62,1
ALT	$45,7 \pm 21,7$	$13,1 \pm 12,0$	26,3
SIM	$45,0 \pm 22,3$	$32,3 \pm 20,2$	38,5

P Trat = 0,3683; P estímulo = 0,052; P trat *estímulo = 0,7040

A latência para consumo foi resumida por tratamento por meio de estimativas de Kaplan–Meier, considerando como unidade observacional cada oportunidade de consumo registrada após os estímulos (isto é, 11 leitões por tratamento, avaliados em dois alarmes sonoros, totalizando $n = 22$ observações de latência por tratamento) (Tabela 7).

Tabela 7. Estatísticas descritivas da análise de Kaplan-Meier para latência de consumo de leitões submetidos a diferentes tratamentos (UNI, ALT e SIM), incluindo número de eventos, observações censuradas e estimativas de tempo até o consumo.

Tratamento	n	Eventos	Censurados (%)	Mediana (s)	IC 95%	Média (s) $\pm$ EP
UNI	22	19	13,64	22,5	4 – 60	35,68 $\pm$ 7,80
ALT	22	16	27,27	31	0 – 149	60,09 $\pm$ 14,27
SIM	22	16	27,27	9,5	0 – 83	34,14 $\pm$ 8,10

n = número de observações de latência; eventos = número de observações em que houve consumo dentro do período de avaliação; censurados = animais que não consumiram alimento até o tempo limite (180 s).

Mediana = tempo em que 50% dos animais consumiram alimento. IC = intervalo de confiança de 95%.

No tratamento UNI, houve maior proporção de episódios com consumo (19 eventos em 22 observações; 13,64% censuradas), e as estimativas de tendência central (mediana e média) indicaram retomada do consumo geralmente rápida após os alarmes na maior parte das exposições. Em ALT, registrou-se menor ocorrência de consumo (16/22; 27,27% censuradas) e um padrão compatível com maior latência e maior heterogeneidade entre observações, refletido tanto pela tendência central quanto pela amplitude/precisão das estimativas, além de mais episódios sem consumo até o limite de 180 s. Em SIM, apesar de apresentar a mesma proporção de censura de ALT (16/22; 27,27%), as medidas de posição sugeriram que, quando o consumo ocorria, ele tendia a acontecer mais precocemente em parte das exposições, compatível com uma distribuição mais assimétrica (com alguns eventos muito rápidos coexistindo com uma fração relevante de observações censuradas).

Entretanto, considerando os resultados do modelo de riscos proporcionais de Cox observou-se que não houve efeito global de tratamento ($P= 0,3382$), e as comparações pareadas entre tratamentos também não foram significativas ($P> 0,05$), sugerindo ausência de diferença detectável na rapidez com que o consumo acontece entre os tratamentos. Em contraste, houve efeito significativo do estímulo ($P= 0,0006$), indicando que as latências para consumo tenderam a ser maiores após ES1 em relação à ES2 (consumo mais rápido após a segunda exposição).

Não houve interação entre tratamento e estímulo ($P= 0,0831$), sugerindo que o efeito do estímulo foi, em linhas gerais, semelhante entre tratamentos. Nos desdobramentos “estímulo dentro de tratamento”, observa-se que a diferença entre ES1 e ES2 foi marcante e significativa em ALT ($P= 0,0002$) e em SIM ($P= 0,0006$), indicando redução acentuada da latência em ES2 nesses grupos.

Tabela 8. Efeitos do tratamento, do estímulo aversivo (ES1 e ES2) e da interação entre esses fatores sobre a latência para consumo de leitões, avaliados por meio do modelo de riscos proporcionais de Cox

Efeito	Comparação	β (Estimativa)	EPM	Qui ²	P-valor
Tratamento	—	—	—	2,17	0,3382
	UNI vs SIM	-0,54	0,43	1,58	0,2100
	ALT vs SIM	0,02	0,43	0	0,9692
	UNI vs ALT	-0,56	0,43	1,69	0,1944
Estímulo	—	—	—	11,79	0,0006
	ES1 vs ES2 (SIM)	-1,94	0,57	11,79	0,0006
TRAT Estímulo ×	—	—	—	4,98	0,0831
	UNI vs ALT ES1	0,87	0,57	2,3	0,1295
	UNI vs SIM ES1	0,73	0,57	1,64	0,2014
	ALT vs SIM ES1	-0,14	0,63	0,05	0,8287
	UNI vs ALT ES2	-0,56	0,43	1,69	0,1944
	UNI vs SIM ES2	-0,54	0,43	1,58	0,2082
	ALT vs SIM ES2	0,02	0,43	0	0,9692
	ES1 vs ES2 UNI	-0,67	0,48	1,96	0,1610

Estímulo dentro de TRAT	ES1 vs ES2 ALT	-2,1	0,57	13,69	0,0002
	ES1 vs ES2 SIM	-1,94	0,57	11,79	0,0006

Qui² = estatística do teste de Wald; β = coeficiente de regressão estimado; EP = erro padrão. Modelo de riscos proporcionais de Cox com censura à direita; evento definido como o consumo alimentar; observações com latência igual a 180 s foram consideradas censuradas. Valores de $P \leq 0,05$ foram considerados significativos.

3.2 Análise Bioacústica e inferência do estado emocional

Durante o ABT, o repertório vocal observado foi relativamente restrito e dominado por emissões de baixa frequência (grunhidos e latidos). Não houve emissão de gritos/guinchos (alta frequência) e, entre os grunhidos, foram detectados apenas grunhidos ásperos, sem ocorrência de grunhidos claros. Assim, todas as menções a “grunhidos” na tabela referem-se exclusivamente ao grunhido áspero, interpretado como mais compatível com desconforto/frustração do que com estados de calma.

Tabela 9. Parâmetros bioacústicos e indicadores comportamentais de estado emocional de leitões submetidos a diferentes tipos de enriquecimento ambiental.

Variável	Tratamento			P-Valor
	UNI	ALT	SIM	
Grunhidos (s)	8,67 ± 7,00 ^{ab}	14,32 ± 10,86 ^a	5,53 ± 5,78 ^b	0,0089
Latido (s)	6,49 ± 4,09	9,40 ± 5,12	5,48 ± 2,34	0,2601
Grito / Guincho (s)	0,00	0,00	0,00	1,0000
Tempo Total de vocalização (s)	15,17 ± 9,91 ^{ab}	23,72 ± 11,77 ^a	11,01 ± 7,17 ^b	0,0118
Estado afetivo				
Medo / Ansiedade (n)	16,40 ± 10,24	22,45 ± 11,50	12,81 ± 4,78	0,1700
Frustração (n)	11,60 ± 8,84	19,54 ± 14,23	6,63 ± 6,88	0,2025
Basal / calmo (n)	0,00	0,00	0,00	1,0000
Medo / Ansiedade (s)	6,51 ± 4,14	9,39 ± 5,12	5,48 ± 2,34	0,2249
Frustração (s)	8,67 ± 7,00	14,32 ± 10,86	5,53 ± 5,78	0,3960
Basal / calmo (s)	0,00	0,00	0,00	1,0000

Observou-se efeito de tratamento para grunhidos ($P = 0,0089$) e, consequentemente, para o tempo total de vocalização ($P = 0,0118$), indicando que o

tratamento ALT apresentou maior expressão vocal associada a “frustração/desconforto” do que o SIM, enquanto o UNI permaneceu em posição intermediária, sem se distinguir claramente de ambos.

Por outro lado, latidos não diferiram entre tratamentos, sugerindo que a componente vocal classificada como “medo/ansiedade” não foi detectavelmente modulada pelas estratégias de enriquecimento durante o ABT. Gritos/guinchos não ocorreram em nenhum tratamento, o que sugere ausência (ou baixa probabilidade, nas condições do teste) de emissão de chamadas de alta frequência frequentemente ligadas a estados de alta ativação negativa.

No entanto, quando as vocalizações foram integradas conforme o critério adotado para inferência de estado afetivo, isto é, combinando-se grunhidos e latidos no índice/medida composta, não foi detectada diferença entre tratamentos. Isso sugere que, embora leitões do tratamento ALT tenham apresentado maior participação de grunhidos ásperos, essa variação não se traduziu em uma alteração global do estado afetivo inferido a partir do conjunto das vocalizações consideradas no indicador. Em outras palavras, os tratamentos parecem ter afetado a forma de expressão vocal (a distribuição entre tipos dentro do repertório disponível), mas não o desfecho integrado de valência/ativação inferido pelo somatório das categorias definidas. Esse padrão é coerente com um cenário em que mudanças em uma classe (p. ex., grunhido áspero) são compensadas pela estabilidade de outra (p. ex., latidos), ou em que a variabilidade individual e o repertório limitado (ausência de grunhido claro e de chamadas de alta frequência) reduzem a sensibilidade do indicador composto para discriminar tratamentos.

3.3 Avaliação Qualitativa do Comportamento (QBA)

3.3.1 Confiabilidade interavaliadores

A confiabilidade interavaliadores dos descritores do QBA foi alta ($ICC \geq 0,86$), indicando que a maior parte da variabilidade dos escores refletiu diferenças entre os leitões, e não inconsistências entre avaliadores (Figura 4). Assim, foi utilizada a média dos escores entre avaliadores nas análises

subsequentes. A ausência de viés sistemático de pontuação foi corroborada por padrões semelhantes nas médias por descritor e na distribuição global dos escores entre avaliadores (Figuras S1 e S2), sustentando a robustez das análises multivariadas do QBA.

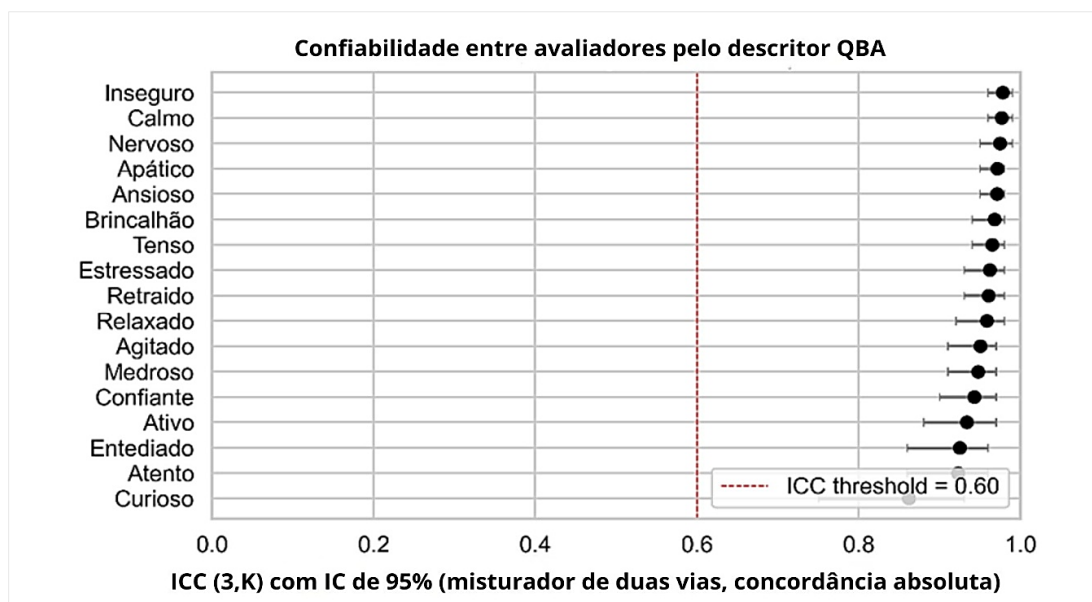


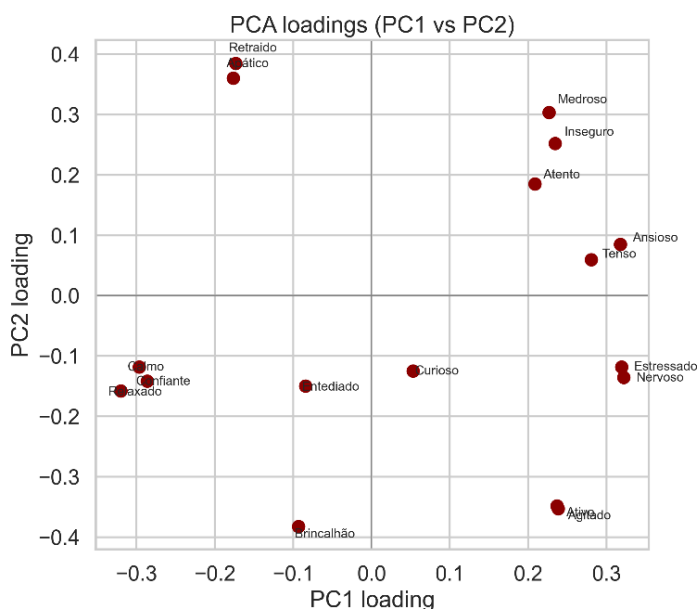
Figura 4. Confiabilidade interavaliadores dos descritores do QBA, expressa pelo coeficiente de correlação intraclass ICC(3,k) e respectivos intervalos de confiança de 95%.

3.3.2 Estrutura multivariada da expressão comportamental

Após a agregação dos escores, os 17 descritores do QBA foram submetidos à Análise de Componentes Principais (PCA), com base na matriz de correlações. Os dois primeiros componentes sintetizaram a maior parte da variação: PC1 explicou 42,09% e PC2 15,46% da variância, totalizando 57,55% (Figura 5). A queda na variância explicada a partir do terceiro componente é apresentada no *scree plot* (Figura S3). Os carregamentos dos descritores nos dois primeiros componentes principais são apresentados na Figura S4, permitindo a interpretação das dimensões sintetizadas pela PCA.

A análise de componentes principais evidenciou uma clara estruturação dos descritores comportamentais ao longo dos dois primeiros componentes (PC1 e PC2), permitindo a identificação de diferentes dimensões emocionais. No eixo PC1, observa-se uma separação entre estados de valência positiva, como

“calmo”, “confiante” e “relaxado”, posicionados no lado negativo, e estados de maior excitação ou ativação, como “ansioso”, “tenso”, “estressado” e “nervoso”, no lado positivo. Essa distribuição sugere que o PC1 está fortemente associado a um gradiente de valência emocional, variando de estados mais positivos e



relaxados para estados negativos e de maior reatividade (Figura 5).

Figura 5. *Loadings* dos descritores do QBA nos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2).

Por outro lado, o PC2 parece representar um eixo relacionado ao nível de alerta ou intensidade emocional. Descritores como “medroso”, “inseguro” e “atento” apresentaram cargas positivas elevadas, indicando maior vigilância ou estado de alerta, enquanto comportamentos como “brincalhão” e “ativo” apresentaram cargas negativas, possivelmente associados a estados de maior engajamento positivo ou expressão comportamental espontânea. Em conjunto, esses resultados demonstram que a PCA foi eficiente em discriminar diferentes dimensões do estado emocional dos animais, permitindo uma interpretação integrada entre valência (positiva vs. negativa) e ativação (baixa vs. alta), aspectos fundamentais na avaliação do bem-estar animal (Figura 6).

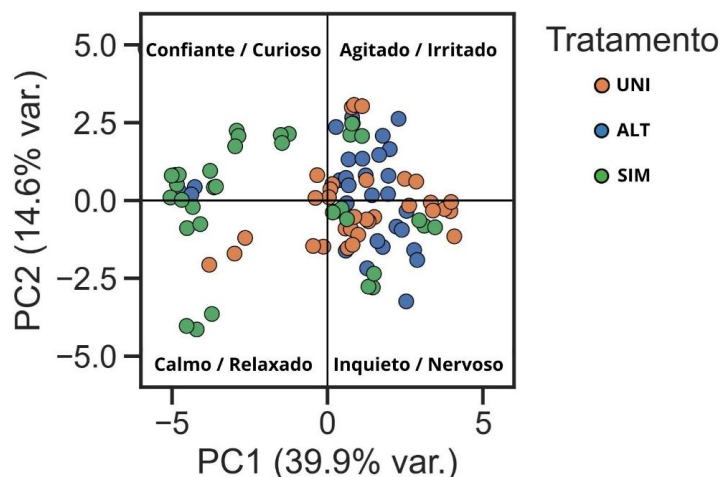


Figura 6. Escores individuais dos leitões nos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) da análise de QBA.

3.3.3 Efeito dos tratamentos nos componentes principais

Os escores fatoriais de PC1 e PC2 foram analisados como variáveis-resposta em modelos lineares. Para PC1, observou-se efeito global de tratamento ($F = 5,597$; $P = 0,00859$; $R^2 = 0,272$), e as comparações múltiplas indicaram que SIM diferiu significativamente dos demais grupos (Figura 7). Considerando a interpretação dos carregamentos, na qual valores mais altos em PC1 refletem um perfil mais negativo (medo/ansiedade/tensão) e valores mais baixos um perfil mais positivo/relaxado, o grupo SIM apresentou escores médios menores, sugerindo estado emocional global mais positivo ao longo da principal dimensão sintetizada pela PCA.

Para PC2, não houve efeito de tratamento ($F = 0,181$; $p = 0,835$; $R^2 = 0,012$), com ampla sobreposição dos escores entre grupos (Figura 7), indicando ausência de modulação detectável do eixo associado à ativação comportamental.

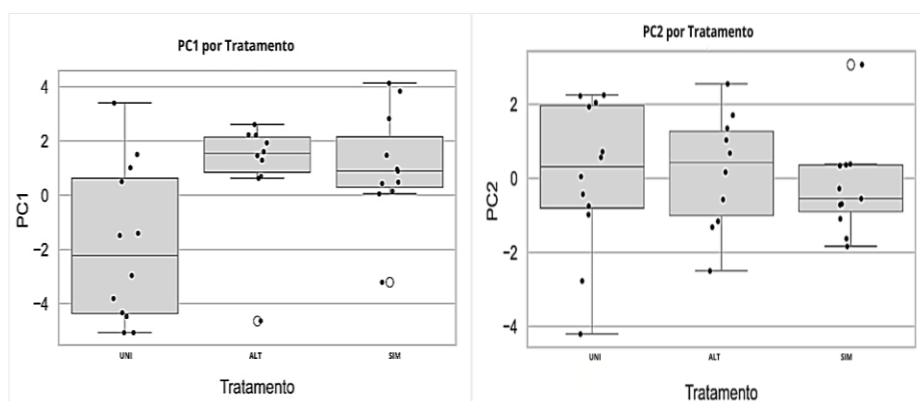


Figura 7. Escores individuais dos leitões nos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2).

3.4 Biomarcadores de bem-estar e neuroplasticidade

Na comparação entre o período pré-exposição (linha de base comum) e o período pós-exposição, observou-se aumento dos níveis séricos de serotonina nos tratamentos UNI e ALT, sem alteração detectável em SIM. Para o cortisol no pelo (indicador integrado de ativação do eixo HPA ao longo do período), verificou-se aumento no pós-exposição em UNI e SIM, enquanto ALT permaneceu estável. Já os níveis séricos de BDNF apresentaram aumento apenas em ALT, sem evidência de mudança em UNI e SIM (Tabela 10).

Tabela 10. Comparação entre o período pré-exposição (basal comum) e o período pós-exposição dos níveis séricos de serotonina e BDNF e da concentração de cortisol no pelo (ng/ml), por tratamento (UNI, ALT e SIM)

Variável	Tratamento		P-Valor
	Basal	UNI	
Serotonina	181,22 ± 16,39 ^b	197,25 ± 10,63 ^a	0,0023
Cortisol	103,66 ± 12,59 ^b	143,21 ± 34,72 ^a	<0,0001
BDNF	34,76 ± 1,94 ^a	33,40 ± 1,42 ^a	0,1465

	Tratamento		P-valor
	Basal	ALT	
Serotonina	181,22 ± 16,39 ^b	201,22 ± 26,40 ^a	0,0006
Cortisol	103,66 ± 12,59 ^a	116,70 ± 28,04 ^a	0,9363
BDNF	34,76 ± 1,94 ^b	36,45 ± 2,46 ^a	0,0062

	Tratamento		P-valor
	Basal	SIM	
Serotonina	181,22 ± 16,39 ^a	189,03 ± 10,18 ^a	0,1868
Cortisol	103,66 ± 12,59 ^b	123,24 ± 23,99 ^a	0,0056
BDNF	34,76 ± 1,94 ^a	34,03 ± 2,29 ^a	0,6282

No período pós-exposição, a comparação entre tratamentos indicou efeito de tratamento para os três biomarcadores (Tabela 11). A serotonina sérica foi inferior no SIM em relação a UNI e ALT ($P < 0,0001$). Para o cortisol no pelo, observou-se o padrão inverso: UNI apresentou valores mais altos, ao passo que ALT e SIM permaneceram em níveis semelhantes e inferiores ($P = 0,0031$). Já o

BDNF foi menor em UNI, com ALT e SIM apresentando valores superiores e estatisticamente equivalentes ($P = 0,0014$).

Tabela 11. Comparação no período pós-exposição dos níveis séricos de serotonina e BDNF e da concentração de cortisol no pelo entre os tratamentos (UNI, ALT e SIM)

Variável	Tratamento			EPM	P-Valor
	UNI	ALT	SIM		
Serotonina	197,25 ^a	201,22 ^a	189,03 ^b	1,18	<0,0001
Cortisol	143,21 ^a	116,7 ^b	123,24 ^b	3,38	0,0031
BDNF	33,40 ^b	36,45 ^a	34,03 ^a	2,43	0,0014

4 DISCUSSÃO

A avaliação integrada de indicadores comportamentais (ABT), qualitativos (QBA), bioacústicos e neurobiológicos mostrou que estratégias de enriquecimento ambiental diferem não apenas pela presença de objetos, mas pela forma como a complexidade e a previsibilidade/novidade são organizadas ao longo do tempo, influenciando perfis de reatividade e adaptação. Esse enquadramento dialoga com a mudança conceitual do bem-estar animal, que passou a incorporar explicitamente experiências afetivas e a promoção de estados positivos, bem como a necessidade de interpretar emoção como um fenômeno multidimensional (valência × ativação), com implicações sobre comportamento e fisiologia (Mellor, 2016; Boissy et al., 2007; Mendl et al., 2010). No presente estudo, a maior parte dos indicadores clássicos de viés atencional do ABT, incluindo uso do espaço e atenção direcionada à ameaça, não diferiu entre tratamentos, sugerindo ausência de efeito detectável sobre a alocação espacial/atencional frente à ameaça sonora nas condições do protocolo. Ainda assim, diferenças emergiram em respostas defensivas/autonômicas, expressão vocal e biomarcadores, reforçando a importância de uma leitura multimodal e funcional do bem-estar, em vez de conclusões baseadas em um único canal (Mendl et al., 2009; Mendl et al., 2010; Wiechers et al., 2021).

No ambiente menos complexo (UNI), a oferta contínua de um único item parece ter sido insuficiente para sustentar um perfil associado a maior adaptação ao longo do período. O aumento do cortisol no pelo no pós-exposição indica

maior carga integrada de ativação do eixo HPA, particularmente informativa por refletir estresse crônico em escala temporal ampliada (Davenport et al., 2006; Meyer e Novak, 2012; Heimbürge et al., 2019; Gupta et al., 2023). Em paralelo, UNI apresentou menor BDNF no pós-exposição, compatível com menor suporte a processos de plasticidade/ajuste neural ao ambiente (Nithianantharajah e Hannan, 2006; Park e Poo, 2013; Rault et al., 2018; Arroyo et al., 2020). No ABT, a maior frequência de excreção, interpretada como marcador de ativação autonômica, converge com esse perfil de maior custo fisiológico e sugere menor eficiência de coping em um contexto de conflito motivacional (Mendl et al., 2010; Martínez-Miró et al., 2016). Assim, os resultados sustentam que baixa complexidade pode restringir comportamentos altamente motivados (exploração/manipulação oral), aumentando vulnerabilidade a respostas fisiológicas mais custosas, especialmente na creche (Lucas et al., 2024; Godyn et al., 2019; Mkwanazi et al., 2019).

O tratamento alternado (ALT), com rotação semanal de objetos, produziu um padrão mais dissociado e requer interpretação cuidadosa. No ABT, ALT exibiu maior duração de “em pé parado” e menor frequência de tentativas de fuga em comparação ao SIM, sugerindo um estilo de enfrentamento menos ativo no eixo “ação”, sem diferenças concomitantes na atenção explícita à ameaça. Acusticamente, ALT apresentou maior tempo total de vocalização, impulsionado por maior duração de grunhidos; como apenas grunhidos ásperos foram detectados (sem grunhidos claros), isso indica maior expressão do componente de baixa frequência associado a desconforto/frustração na matriz adotada, sem ocorrência de vocalizações agudas (Briefer, 2012; Briefer et al., 2019; Leliveld et al., 2016; Leliveld et al., 2017; Friel et al., 2019; Illmann et al., 2013; Ferrari et al., 2013). Contudo, o índice composto de estado afetivo derivado da integração de categorias vocais não diferiu entre tratamentos, sugerindo que ALT modulou sobretudo a forma/intensidade temporal da expressão vocal, sem deslocamento robusto do desfecho afetivo agregado. Esse padrão é compatível com a literatura de que novidade sustenta engajamento e reduz habituação, mas também pode elevar a demanda de monitoramento ambiental, gerando perfis distintos de adaptação (De Jong et al., 2000; Van de Perre et al., 2011; Machado et al., 2017).

O argumento mais consistente para interpretar ALT como um ambiente “desafiador, porém adaptativo” vem do eixo neurobiológico: ALT foi o único tratamento com aumento detectável de BDNF do basal para o pós-exposição, coerente com o papel do BDNF em plasticidade e ajuste de redes neurais em resposta à experiência (Castrén e Rantamäki, 2010; Rault et al., 2018; Arroyo et al., 2020). Além disso, ALT não mostrou aumento detectável de cortisol no pelo ao longo do período, sugerindo que a rotação não se traduziu em maior carga crônica do eixo HPA (Meyer e Novak, 2012; Heimbürge et al., 2019; Wiechers et al., 2021). Deve-se, porém, considerar como limitação que a linha de base foi comum e não estratificada por tratamento, o que exige cautela na atribuição causal do incremento exclusivamente ao manejo do ALT.

O enriquecimento simultâneo e estável (SIM) se destacou no QBA: o PC1, interpretado como gradiente de valência global, indicou expressão mais positiva/relaxada em SIM em comparação a UNI e ALT, alinhando-se a evidências de que complexidade estável pode favorecer estados mais positivos e reduzir monotonia (Wemelsfelder e Lawrence, 2001; Rutherford et al., 2012; Czycholl et al., 2025; Douglas et al., 2012; Boissy et al., 2007). Contudo, no ABT, SIM exibiu maior frequência de tentativas de fuga e tendência a maior freezing, sugerindo coping mais ativo/defensivo diante do estímulo aversivo, sem aumento paralelo de excreção. No pós-exposição, SIM apresentou serotonina sérica inferior aos demais tratamentos e não mostrou aumento do basal para o pós, o que limita interpretações de maior “eficiência” serotoninérgica como mecanismo principal (Lucki, 1998; Lesch e Waider, 2012; Arroyo et al., 2020). Assim, estabilidade + alta complexidade pode favorecer uma assinatura qualitativa mais positiva, mas não necessariamente reduzir respostas defensivas em um desafio agudo, sugerindo modulação do estilo de enfrentamento.

As medidas alimentares do ABT delimitam o alcance dos efeitos do enriquecimento: a probabilidade de consumir após os alarmes não diferiu entre tratamentos (com tendência de efeito do estímulo), e a análise de sobrevivência indicou ausência de efeito global de tratamento na latência, embora tenha havido efeito robusto do estímulo (ES1 vs ES2), com latências menores após a reexposição em ALT e SIM. Esse padrão é compatível com o desenho do

protocolo e sugere que, nas condições avaliadas, os tratamentos modulam mais “como o animal enfrenta o desafio” (coping, expressão vocal e biomarcadores) do que a retomada alimentar, um indicador clássico de recuperação em testes de conflito motivacional (Paul et al., 2005; Mendl et al., 2009; Luo et al., 2019; Neary et al., 2024).

Em síntese, os tratamentos configuram perfis: UNI associa-se a maior carga fisiológica integrada e menor BDNF no pós, além de maior ativação autonômica no ABT; ALT combina maior expressão vocal de baixa frequência e coping mais contido com o achado neurobiológico mais distintivo (aumento de BDNF do basal para o pós), sem evidência de elevação crônica do cortisol no pelo; e SIM apresenta a assinatura mais positiva no QBA, mas coping mais ativo no ABT e serotonina sérica mais baixa no pós. Esse mosaico reforça que bem-estar e resiliência são fenótipos integrados e por vezes dissociáveis entre comportamento, expressão qualitativa, voz e fisiologia, valorizando a comparação entre estratégias de implementação do enriquecimento, e não apenas “com vs sem” (Mendl et al., 2010; Godyń et al., 2019; Mkwanaazi et al., 2019; Luo et al., 2022).

5. CONCLUSÃO

O enriquecimento modulou principalmente o perfil de enfrentamento (coping) e marcadores neurobiológicos, enquanto os indicadores mais diretamente ligados ao componente atencional do ABT e à retomada alimentar após o estímulo aversivo foram pouco sensíveis para discriminar tratamentos. O ambiente menos complexo foi associado a um perfil menos favorável, compatível com maior carga fisiológica integrada e menor suporte neurotrófico, enquanto o ambiente complexo e estável favoreceu uma assinatura qualitativa mais positiva, sugerindo melhor valência global durante o teste. Já o ambiente complexo com novidade rotacional destacou-se por um sinal consistente de adaptação neurobiológica, indicando que a introdução controlada de novidade pode estimular plasticidade sem evidência de aumento proporcional de estresse crônico. Assim, a pesquisa demonstra que a forma como o enriquecimento é

implementado (estável vs rotacional), e não apenas sua presença, é determinante para os perfis de reatividade e adaptação de leitões na creche.

REFERÊNCIAS

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C. Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p.711-728, 2013. Doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

Arroyo, L.; Valent, D.; Carreras, R.; Pato, R.; Sabrià, J.; Velarde, A.; Bassols, A. Neurobiology of environmental enrichment in pigs: changes in monoaminergic neurotransmitters in several brain areas and in the hippocampal proteome. **Journal of Proteomics**, v.229, p.1-12, 2020. Doi: 10.1016/j.jprot.2020.103943.

Boissy, A.; Manteuffel, G.; Jensen, M. B.; Moe, R. O.; Spruijt, B.; Keeling, L. J.; Winckler, C.; Forkman, B.; Dimitrov, I.; Langbein, J.; Bakken, M.; Veissier, I.; Aubert, A. Assessment of positive emotions in animals to improve their welfare. **Physiology & Behavior**, v.92, p.375–397, 2007. Doi: 10.1016/j.physbeh.2007.02.003.

Briefer, E.F. Vocal expressions of emotions in mammals: mechanisms of production and evidence. *Journal of Zoology*, v.288, p.1–20, 2012. Doi:10.1111/j.1469-7998.2012.00920.x.

Briefer, E.F.; Vizier, E.; Gygax, L.; Hillmann, E. Expression of emotional valence in pig closed-mouth grunts: involvement of both source- and filter-related parameters. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v.145, p.2895–2908, 2019. Doi:10.1121/1.5100612.

Casal, N.; Manteca, X.; Escribano, D.; Cerón, J. J.; Fàbrega, E. Effect of environmental enrichment and herbal compound supplementation on physiological stress indicators (chromogranin A, cortisol and tumour necrosis factor- α) in growing pigs. **Animal**, v.11, p.1228–1236, 2017a. Doi:10.1017/S1751731116002561.

Casal-Plana, N.; Manteca, X.; Dalmau, A.; Fàbrega, E. Influence of enrichment material and herbal compounds in the behaviour and performance of growing pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, v.195, p.38–43, 2017. Doi: 10.1016/j.applanim.2017.06.002.

Castrén, E.; Rantamäki, T. The Role of BDNF and Its Receptors in Depression and Antidepressant Drug Action: Reactivation of Developmental Plasticity. **Developmental Neurobiology**, v.70, p.289–297, 2010. Doi:10.1002/dneu.20758.

Chan, W.Y.; Cloutier, S.; Newberry, R. C. Barking pigs: differences in acoustic morphology predict juvenile responses to alarm calls. **Animal Behaviour**, v.82, p.767–774, 2011. Doi: 10.1016/j.anbehav.2011.07.007.

Czycholl, I.; Skovlund, C. R.; Forkman, B. Literature review of the use of Qualitative Behaviour Assessment with a fixed list of terms. **Frontiers in Veterinary Science**, v.12, p.1-15, 2025. Doi:10.3389/fvets.2025.1588346.

Davenport, M. D.; Tiefenbacher, S.; Lutz, C. K.; Novak, M. A.; Meyer, J. S. Analysis of endogenous cortisol concentrations in the hair of rhesus macaques. **General and Comparative Endocrinology**, v.147, p.255–261, 2006. Doi: 10.1016/j.ygcen.2006.01.005.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Instrução Normativa nº 113, de 16 de dezembro de 2020**. Estabelece as boas práticas de manejo e bem-estar animal nas granjas de suínos de criação comercial. Brasília: MAPA, 2020.

De Jong, I. C.; Prelle, I. T.; Van De Burgwal, J. A.; Lambooij, E.; Korte, S. M.; Blokhuis, H. J.; Koolhaas, J. M. Effects of environmental enrichment on behavioral responses to novelty, learning, and memory, and the circadian rhythm in cortisol in growing pigs. **Physiology & Behavior**, v.68, p.571–578, 2000. Doi:10.1016/S0031-9384(99)00212-7.

Diana, A.; Carpentier, L.; Piette, D.; Boyle, L. A.; Berckmans, D.; Norton, T. An ethogram of biter and bitten pigs during an ear biting event: first step in the development of a Precision Livestock Farming tool. **Applied Animal Behaviour Science**, v.215, p.26-36, 2019. Doi: 10.1016/j.applanim.2019.03.011.

Douglas, C.; Bateson, M.; Walsh, C.; Bédoué, A.; Edwards, S. A. Environmental enrichment induces optimistic cognitive biases in pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, v.139, p.65–73, 2012. Doi: 10.1016/j.applanim.2012.02.018.

Ferrari, S.; Costa, A.; Guarino, M. Heat stress assessment by swine related vocalizations. **Livestock Science**, v.151, p.29-34, 2013. Doi: 10.1016/j.livsci.2012.10.013.

Friel, M.; Kunc, H. P.; Griffin, K.; Asher, L.; Collins, L. M. Positive and negative contexts predict duration of pig vocalizations. **Scientific Reports**, v.9, p.1-7, 2019. Doi:10.1038/s41598-019-38514-w.

Godyń, D.; Nowicki, J.; Herbut, P. Effects of environmental enrichment on pig welfare—A review. **Animals**, v.9, p.383, 2019. Doi: 10.3390/ani9060383.

Gupta, A.; Yadav, U.; Bansal, K. N.; Bishnoi, M. B.; Bala, R.; Verma, N.; Bhardwaj, S.; Kumar, P.; Kumar, D.; Yadav, P. S. Hair cortisol: A biomarker of chronic stress in animals and its association with reproduction. **Animal Reproduction Update**, v.3, p.43–58, 2023. Doi:10.48165/aru.2023.3.2.5.

Heimbürge, S.; Kanitz, E.; Otten, W. The use of hair cortisol for the assessment of stress in animals. **General and Comparative Endocrinology**, v.270, p.10–17, 2019. Doi: 10.1016/j.ygcen.2018.09.016.

Illmann, G.; Hammerschmidt, K.; Špinka, M.; Tallet, C. Calling by domestic piglets during simulated crushing and isolation: A signal of need? **PLoS ONE**, v.8, p.1–9, 2013. Doi: 10.1371/journal.pone.0083529.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Normais climatológicas do Brasil**. 1991–2020. Brasília: INMET, 2022.

Leliveld, L. M. C.; Düpjan, S.; Tuchscherer, A.; Puppe, B. Behavioural and physiological measures indicate subtle variations in the emotional valence of young pigs. **Physiology & Behavior**, v.157, p.116–124, 2016. Doi: 10.1016/j.physbeh.2016.02.002.

Leliveld, L. M. C.; Düpjan, S.; Tuchscherer, A.; Puppe, B. Vocal correlates of emotional reactivity within and across contexts in domestic pigs (*Sus scrofa*). **Physiology & Behavior**, v.181, p.117–126, 2017. Doi: 10.1016/j.physbeh.2017.09.010.

Lesch, K. P.; Waider, J. Serotonin in the Modulation of Neural Plasticity and Networks: Implications for Neurodevelopmental Disorders. **Neuron**, v.76, p.175–191, 2012. Doi: 10.1016/j.neuron.2012.09.013.

Lucas, M. E.; Hemsworth, L. M.; Hemsworth, P. H. Review: Early life piglet experiences and impacts on immediate and longer-term adaptability. **Animal**, v. 18, 100889, jun. 2024. Doi: 10.1016/j.animal.2023.100889.

Lucki, I. The Spectrum of Behaviors Influenced by Serotonin. **Biological Psychiatry**, v.44, p.151–162, 1998. Doi:10.1016/S0006-3223(98)00139-5.

LUO, L.; REIMERT, I.; DE HAAS, E. N.; KEMP, B.; BOLHUIS, J.E. Effects of early and later life environmental enrichment and personality on attention bias in pigs (*Sus scrofa domesticus*). **Animal Cognition**, v.22, p.959-972, 2019. Doi: 10.1007/s10071-019-01287-w.

Luo, L.; Reimert, I.; Middelkoop, A.; Kemp, B.; Bolhuis, J. E. Effects of Early and Current Environmental Enrichment on Behavior and Growth in Pigs. **Frontiers in Veterinary Science**, v.7, 268, 2020. Doi:10.3389/fvets.2020.00268.

Luo, L.; Van Der Zande, L. E.; Van Marwijk, M. A.; Knol, E. F.; Rodenburg, T. B.; Bolhuis, J. E.; Parois, S. P. Impact of enrichment and repeated mixing on resilience in pigs. **Frontiers in Veterinary Science**, v.9, p.829060, 2022. Doi:10.3389/fvets.2022.829060.

Machado, S. P.; Caldara, F. R.; Foppa, L.; Moura, R.; Gonçalves, L. M. P.; Garcia, R. G.; Nääs, I. A.; Nieto, V. M. O. S.; Oliveira, G. F. Behavior of pigs reared

in enriched environment: alternatives to extend pigs attention. **PLoS ONE**, v. 12, n. 1, p. e0168427, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0168427.

Martínez-Miró, S.; Tecles, F.; Ramón, M.; Escribano, D.; Hernández, F.; Madrid, J.; et al. Causes, consequences and biomarkers of stress in swine: An update. **BMC Veterinary Research**, v.12, p.171, 2016. Doi:10.1186/s12917-016-0791-8.

Mellor, D. J. Updating animal welfare thinking moving beyond the “Five Freedoms” towards “A Life Worth Living”. **Animals**, v.6, p.21-35, 2016. Doi:10.3390/ani6030021.

Mendl, M.; Burman, O. H. P.; Parker, R. M. A.; Paul, E. S. Cognitive bias as an indicator of animal emotion and welfare: emerging evidence and underlying mechanisms. **Applied Animal Behaviour Science**, v.118, p.161–181, 2009. Doi: 10.1016/j.applanim.2009.02.023.

Mendl, M.; Burman, O. H. P.; Paul, E. S. An integrative and functional framework for the study of animal emotion and mood. **Proceedings of the Royal Society**, v.277, p.2895–2904, 2010. Doi:10.1098/rspb.2010.0303.

Menneson, S.; Ménicot, S.; Ferret-Bernard, S.; Guérin, S.; Romé, V.; Le Normand, L.; Randuineau, G.; Gambarota, G.; Noiro, V.; Etienne, P.; Coquery, N.; Val-Laillet, D. Validation of a psychosocial chronic stress model in the pig using a multidisciplinary approach at the gut-brain and behavior levels. **Frontiers in Behavioral Neuroscience**, v.13, p.161, 2019. Doi:10.3389/fnbeh.2019.00161.

Meyer, J. S.; Novak, M. A. Minireview: Hair Cortisol: A Novel Biomarker of Hypothalamic-Pituitary-Adrenocortical Activity. **Endocrinology**, v.153, p.4120–4127, 2012. Doi:10.1210/en.2012-1226.

Mkwanazi, M. V.; Ncobela, C. N.; Kanengoni, A. T.; Chimonyo, M. Effects of environmental enrichment on behaviour, physiology and performance of pigs — A review. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.32, p.1-13, 2019. Doi: 10.5713/ajas.17.0138.

Neary, J.M.; Ali, Ahmed B.A.; Jacobs, L. Application of an attention bias test after surgical castration in piglets. **Livestock Science**, v.290, 105612, 2024. Doi: 10.1016/j.livsci.2024.105612.

Nicolaisen, T. J.; Bollmann, K. E.; Hennig-Pauka, I.; Fischer, S. C. L. Framework for Classification of Fattening Pig Vocalizations in a Conventional Farm with High Relevance for Practical Application. **Animals**, v.15, p.2572-2590, 2025. Doi:10.3390/ani15172572.

Nithianantharajah, J.; Hannan, A. J. Enriched environments, experience-dependent plasticity and disorders of the nervous system. **Nature Reviews Neuroscience**, v.7, p.697–709, 2006. Doi:10.1038/nrn1970.

Park, H.; Poo, M. M. Neurotrophin regulation of neural circuit development and function. **Nature Reviews Neuroscience**, v.14, p.7–23, 2013. Doi:10.1038/nrn3379.

Paul, E.S.; Harding, E. J.; Mendl, M. Measuring emotional processes in animals: the utility of a cognitive approach. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v.29, p.469–491, 2005. Doi: 10.1016/j.neubiorev.2005.01.002.

Rault, J.-L.; Lawrence, A. J.; Ralph, C. R. Brain-derived neurotrophic factor in serum as an animal welfare indicator of environmental enrichment in pigs. **Domestic Animal Endocrinology**, v.65, p.12-15, 2018. Doi: 10.1016/j.domaniend.2018.05.007.

Rutherford, K. M. D.; Donald, R. D.; Lawrence, A. B.; Wemelsfelder, F. Qualitative Behaviour Assessment of emotionality in pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, v.139, p.218–224, 2012. Doi: 10.1016/j.applanim.2012.04.004.

Van De Perre, V.; Driessen, B.; Van Thielen, J.; Verbeke, G.; Geers, R. Comparison of pig behaviour when given a sequence of enrichment objects or a chain continuously. **Animal Welfare**, v.20, p.641–649, 2011. Doi:10.1017/S0962728600003286.

Villain, A. S.; Guérin, C.; Tallet, C. The use of pigs vocalization structure to assess the quality of human-pig relationship. **Peer Community Journal**, v.3, p.e36, 2023. Doi:10.24072/pcjournal.260.

Wemelsfelder, F.; Lawrence, A. B. Qualitative assessment of animal behaviour as an on-farm welfare-monitoring tool. **Acta Agriculturae Scandinavica Section A – Animal Science**, v.51, p.21–25, 2001. Doi: 10.1080/090647001316923018.

Wiechers, D.-H.; Brunner, S.; Herbrandt, S.; Kemper, N.; Fels, M. Analysis of Hair Cortisol as an Indicator of Chronic Stress in Pigs in Two Different Farrowing Systems. **Frontiers in Veterinary Science**, v.8, 605078, 2021. Doi:10.3389/fvets.2021.605078.

ANEXOS

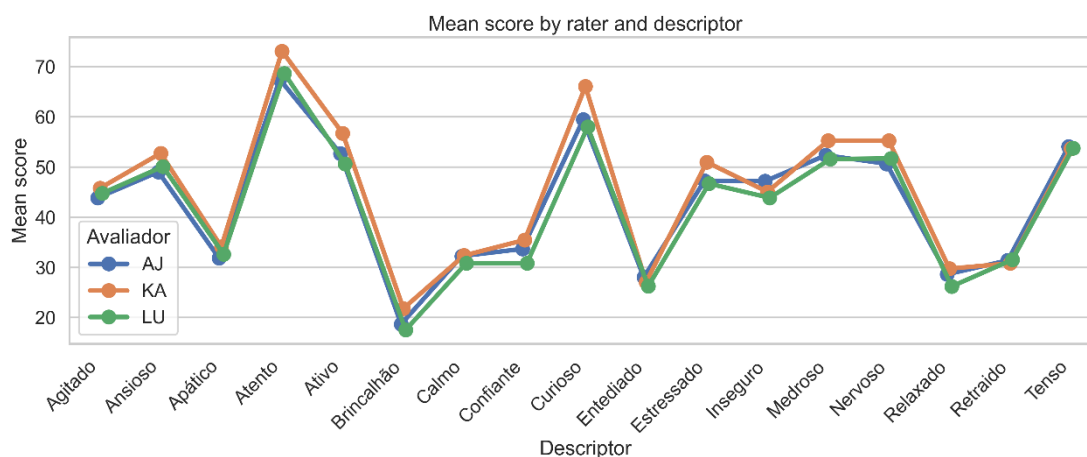


Figura S1. Médias dos escores atribuídos por cada avaliador para os descritores do QBA (considerando apenas dados completos).

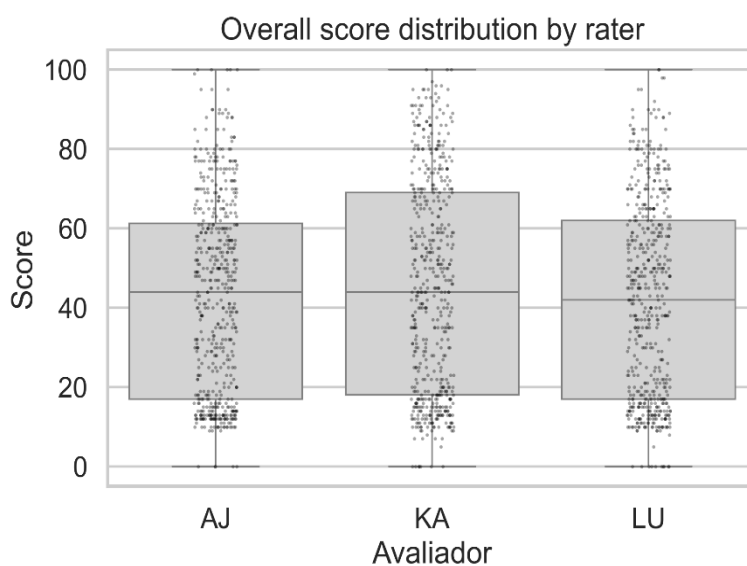


Figura S2. Distribuição global dos escores do QBA por avaliador (*boxplots* com pontos individuais), agregando todos os descritores.

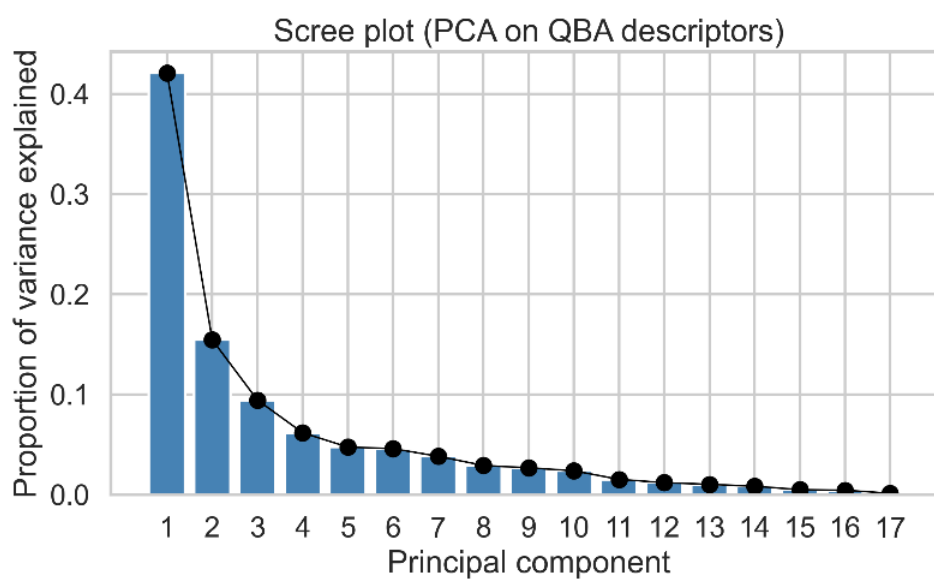


Figura S3. *Scree plot* da Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos descritores do QBA, mostrando a proporção de variância explicada por cada componente e a variância acumulada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação integrou, de forma complementar, evidências provenientes de uma revisão sistemática da literatura e de um estudo experimental original, permitindo avançar na compreensão dos efeitos do enriquecimento ambiental sobre a cognição, o estado afetivo e a resiliência em leitões. De maneira geral, os resultados convergem para a premissa de que ambientes enriquecidos exercem papel central na modulação do bem-estar animal, não apenas pela redução de estados negativos, mas também pela promoção de experiências afetivas positivas e maior capacidade adaptativa. Conforme evidenciado no Capítulo 1, o enriquecimento ambiental, especialmente em sua forma estrutural, promove ganhos consistentes em comportamento exploratório, redução de comportamentos deletérios e melhorias em tarefas de memória espacial. Entretanto, a literatura ainda apresenta lacunas importantes relacionadas à integração entre indicadores comportamentais, cognitivos e neurobiológicos, limitando a compreensão mecanística dos efeitos observados.

Sob a ótica prática, esses achados reforçam que a adoção de enriquecimento ambiental nas granjas deve ir além do cumprimento de exigências normativas, sendo incorporada como uma ferramenta estratégica de manejo. A inclusão de materiais manipuláveis, estruturas físicas e estímulos sensoriais pode reduzir a incidência de comportamentos como caudofagia e agressividade, contribuindo diretamente para a melhoria dos índices produtivos, redução de perdas e maior uniformidade dos lotes.

Nesse contexto, o Capítulo 2 contribui de forma inovadora ao demonstrar que não apenas a presença do enriquecimento, mas sua complexidade e dinâmica temporal, são determinantes para a modulação do estado afetivo e da resiliência em suínos. Os resultados experimentais evidenciaram que estratégias distintas de enriquecimento promovem perfis adaptativos específicos: ambientes estáveis e complexos favoreceram maior regulação emocional e estabilidade comportamental, enquanto ambientes dinâmicos e variáveis estimularam maior plasticidade neurobiológica e responsividade adaptativa. Essa diferenciação funcional amplia os achados da revisão sistemática, ao fornecer evidência

empírica de que o enriquecimento atua por múltiplas vias comportamentais, cognitivas e fisiológicas, reforçando a necessidade de abordagens integrativas para avaliação do bem-estar.

Na prática, esses resultados indicam que programas de enriquecimento devem ser planejados de forma estratégica, considerando não apenas o tipo de material fornecido, mas também sua frequência de renovação, variabilidade e interação com o ambiente físico. Ambientes excessivamente estáticos podem perder eficiência ao longo do tempo devido à habituação, enquanto a introdução controlada de novidade pode manter o interesse dos animais e potencializar seus efeitos positivos. Assim, protocolos que alternem estímulos ou combinem diferentes tipos de enriquecimento tendem a ser mais eficientes e sustentáveis em sistemas comerciais.

A articulação entre os capítulos permite inferir que o enriquecimento ambiental deve ser compreendido como um sistema multidimensional, no qual características como novidade, previsibilidade, diversidade de estímulos e oportunidade de controle ambiental interagem com fatores individuais, como estilo de enfrentamento e fase de desenvolvimento. Assim, estratégias baseadas exclusivamente na oferta de objetos podem ser insuficientes, sendo necessário considerar a estrutura e a dinâmica do ambiente para maximizar seus efeitos. Nesse sentido, os resultados indicam que abordagens híbridas, que combinem estabilidade ambiental com variação controlada de estímulos, apresentam elevado potencial para promover simultaneamente conforto emocional e desenvolvimento adaptativo.

Do ponto de vista aplicado, isso implica na necessidade de ajustes finos no manejo diário das granjas, como a definição de cronogramas de troca de enriquecimento, adequação do número de itens por animal, posicionamento estratégico dentro das baias e integração com outros fatores de ambiência, como temperatura, densidade e qualidade do ar. Tais medidas, quando bem implementadas, podem resultar em melhorias simultâneas no bem-estar, na saúde e no desempenho zootécnico dos animais.

Do ponto de vista científico, esta dissertação avança ao integrar múltiplos níveis de análise comportamental, cognitivo, bioacústico, qualitativo e

neurobiológico contribuindo para uma visão mais abrangente do bem-estar animal. Do ponto de vista aplicado, os achados oferecem subsídios relevantes para o desenvolvimento de protocolos de enriquecimento mais eficientes e alinhados às demandas dos sistemas intensivos de produção suinícola. Por fim, destaca-se a necessidade de estudos futuros que incorporem maior padronização metodológica, uso de biomarcadores neurobiológicos e delineamentos longitudinais, de modo a aprofundar a compreensão dos mecanismos envolvidos e fortalecer a aplicação prática das estratégias de enriquecimento ambiental na produção animal moderna.