



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

Faculdade de Ciências Agrárias

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia



INDICADORES DE BEM-ESTAR E QUALIDADE DA CARNE DE SUÍNOS PESADOS SUBMETIDOS A DIFERENTES PERÍODOS DE DESCANSO

Luis Carlos Luciano Junior

Médico Veterinário

Dourados – MS

2026



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



INDICADORES DE BEM-ESTAR E QUALIDADE DA CARNE DE SUÍNOS PESADOS SUBMETIDOS A DIFERENTES PERÍODOS DE DESCANSO

Luis Carlos Luciano Junior

Orientadora Prof.^a Dr.^a Fabiana Ribeiro Caldara

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Fernanda de Castro Burbarelli

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Rita Therezinha Rolim Pietramale

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).

L937i Luciano Junior, Luis Carlos

INDICADORES DE BEM-ESTAR E QUALIDADE DA CARNE DE SUÍNOS PESADOS
SUBMETIDOS A DIFERENTES PERÍODOS DE DESCANSO [recurso eletrônico] / Luis

Carlos Luciano Junior. -- 2026.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Fabiana Ribeiro Caldara .

Coorientadoras: Maria Fernanda de Castro Burbarelli , Rita Therezinha Rolim
Pietramale.

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. 2. estresse. 3. manejo pré-abate. 4. tempo de descanso. 5. suinocultura.
I. Caldara, Fabiana Ribeiro. II. Burbarelli, Maria Fernanda De Castro. III. Pietramale, Rita
Therezinha Rolim. 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

**Indicadores de bem bem-estar e qualidade da carne de suínos pesados
submetidos a diferentes períodos de descanso**

Luis Carlos Luciano Júnior

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em [18] de maio de 2026, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Documento assinado digitalmente
gov.br CLAUDIA MARIE KOMIYAMA
Data: 10/08/2026 10:00:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^(a) Dr.^(a) Claudia Marie Komiyama
Universidade Federal da Grande
Dourados - UFGD

Documento assinado digitalmente
gov.br IBIARA CORREIA DE LIMA ALMEIDA PAZ
Data: 07/08/2026 18:16:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^(a) Dr.^(a) Ibiara Correia de Lima
Almeida Paz
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho" - UNESP

Documento assinado digitalmente
gov.br FABIANA RIBEIRO CALDARA
Data: 27/07/2026 15:34:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

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

BIOGRAFIA DO AUTOR

Luís Carlos Luciano Júnior nasceu em 21 de abril de 1987 na cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul. Filho de Luís Carlos Luciano e Lourdes Cecília Lopes Luciano. Cresceu em um ambiente familiar acolhedor, pautado em valores como amor, respeito, trabalho e honestidade. Apesar das dificuldades financeiras enfrentadas durante a infância, teve como exemplo a dedicação e o esforço dos pais que sempre trabalharam com dignidade para proporcionar estabilidade e formação aos filhos. Possui um irmão, Leonardo Lopes Luciano, a quem é profundamente grato pelo companheirismo e apoio nos momentos desafiadores de sua trajetória. Aos 14 anos iniciou sua trajetória no basquetebol, tornando-se atleta profissional até os 21 anos. Durante esse período atuou em clubes dos estados do Paraná e São Paulo, além de integrar a seleção de Dourados e a seleção estadual. A vivência no esporte foi determinante para sua formação pessoal e profissional, contribuindo para o desenvolvimento da disciplina, trabalho em equipe, resiliência e liderança. Ao retornar para Dourados, aos 21 anos, iniciou como jovem aprendiz no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Poucos meses depois foi contratado pela Brasil Foods (BRF), em Dourados, onde atuou por cinco anos. Seu início profissional foi marcado pela avicultura desenvolvida durante sua atuação no frigorífico. Na empresa, exerceu dois anos e meio como líder de setor e dois anos e meio como técnico de qualidade, consolidando sua base técnica na indústria de alimentos. É casado com Camila Doffinger, com quem constrói uma história de vida, há 17 anos. Oficializaram a união em 9 de janeiro de 2016. Em 1º de junho de 2021 foram abençoados com o nascimento da filha Laura Doffinger Luciano que representa sua maior fonte de inspiração e alegria. Em outubro de 2015 ingressou na José Batista Sobrinho (JBS), como Analista de Garantia da Qualidade, função que exerceu por um ano. Posteriormente, passou a atuar como Médico Veterinário, com enfoque nas áreas de nutrição e sanidade animal, momento em que começou a se dedicar à suinocultura. Desde então seu interesse e dedicação aos animais de produção se intensificaram progressivamente. Iniciou no curso de Medicina Veterinária em 2010 e graduou-se no ano de 2016, pela Faculdade Anhanguera de Dourados. Ao longo de sua trajetória profissional realizou diversas especializações, incluindo Gestão de Pessoas e Gestão de Processos (2021–2022), Produção de Aves, Produção de Suínos (2022), Patologia e Parasitologia Animal (2023) e Inspeção de Produtos de Origem Animal. Também exerceu a função de Coordenador do Centro de Controle de Zoonoses de Dourados,

sendo responsável por ações sanitárias e de saúde pública. Em 3 de outubro de 2022 foi aprovado em processo seletivo e passou a atuar cedido ao Ministério da Agricultura e Pecuária, exercendo a função de Médico Veterinário Oficial por três anos, experiência que consolidou sua vocação profissional e compromisso com a inspeção e a segurança dos produtos de origem animal. Em 20 de março de 2024 ingressou no curso de Mestrado pela UFGD, consolidando um percurso marcado pela superação, determinação e fé. De origem humilde e sonhador desde a juventude, jamais imaginou que alcançaria a formação superior e a pós-graduação. Reconhece, com gratidão, o apoio constante da família, especialmente da esposa, e sua fé em Deus como pilares fundamentais de sua caminhada.

“O êxito não se define apenas pelo destino alcançado, mas, sobretudo, pelos desafios enfrentados e superados ao longo da trajetória. ”

— Booker T. Washington

“A superação é uma jornada, e a gratidão é o mapa que nos guia. ”

— Autor desconhecido

À Santíssima Trindade, à Nossa Senhora Aparecida, minha Mãe e intercessora fiel, que sempre esteve comigo nos momentos mais difíceis e decisivos da minha vida, sustentando-me com sua proteção e conduzindo meus passos com amor e misericórdia.

À minha esposa, Camila Doffinger, companheira de caminhada, que compartilha comigo sonhos, desafios e conquistas, sempre com compreensão e força.

À minha filha, Laura, que dá novo sentido a cada conquista e me inspira diariamente a ser melhor.

Aos meus pais, Luis Carlos Luciano e Lourdes Cecilia Lopes Luciano, em especial, por serem minha base, meu alicerce e meu maior exemplo de dignidade, trabalho e perseverança. Tudo o que sou carrega a marca do esforço, dos ensinamentos e do amor incondicional de vocês.

Ao meu irmão Leonardo L. Luciano, pela parceria de vida e apoio constante.

Às minhas avós, pela herança de fé, valores e amor que atravessam gerações e permanecem vivos em mim.

Dedico esta conquista a cada um de vocês, que são a razão maior da minha jornada.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus que sempre foi meu sustento e amparo nos momentos mais desafiadores da minha vida. Sem Sua presença constante, nada disso teria sido possível.

De maneira muito especial, agradeço à minha esposa, Camila Doffinger, minha companheira incansável. Foi ela quem segurou minha mão nos momentos de incerteza, quem suportou noites em claro, ouviu minhas angústias e compreendeu minhas ausências. Este projeto representa a realização de um sonho pessoal e profissional e sem ela nada disso teria acontecido. À minha filha Laura, pelo amor, pela paciência e pelo orgulho demonstrado ao ver o pai retornar ao ambiente acadêmico após anos distante. Saber que ela acompanhou essa caminhada e sentir o orgulho dela mesmo com tão pouca idade é uma das maiores recompensas que poderia receber.

Aos meus pais, Luís Carlos Luciano e Lourdes Cecília Lopes Luciano que foram a base de tudo. Ao meu pai, especialmente, por nunca medir esforços para me auxiliar, inclusive nas questões logísticas e operacionais deste projeto. Às minhas avós, Joana Martinez Lopes e Pedrina Rodrigues Machado (*in memoriam*) que, mesmo com as limitações da idade sempre estiveram na torcida. Estendo minha gratidão aos meus familiares, ao meu irmão, às minhas cunhadas, aos meus sobrinhos, ao meu sogro Zé Nilton, à minha sogra Elza Leite Doffinger e a todos que estiveram presentes nessa trajetória.

No âmbito profissional e institucional, início agradecendo ao Auditor Fiscal Federal Agropecuário Wladimir Barbosa, uma das primeiras pessoas com quem compartilhei a ideia deste projeto. Desde o primeiro momento, acreditou na proposta, ofereceu suporte técnico e forneceu subsídios fundamentais para que eu pudesse estruturá-la e apresentá-la à indústria com segurança e embasamento. Seu incentivo foi determinante para que eu fosse em frente.

Estendo meu agradecimento também aos Auditores Fiscais Federais Agropecuários Fábio Duarte e Juliana Gouvêa que contribuíram para que o projeto fosse conduzido dentro dos princípios éticos e legais, garantindo respaldo técnico e institucional.

Após esse aval inicial, o projeto ganhou forma acadêmica. Diante disto agradeço, de maneira muito mais que especial à minha orientadora, professora Dra.

Fabiana Ribeiro Caldara, que acreditou na proposta e abraçou a ideia, transformando-a em um trabalho científico estruturado.

As minhas coorientadoras, Dra. Maria Fernanda de Castro Burbarelli, pelo suporte estatístico e, minha incansável parceira e amiga, Dra. Rita Therezinha Rolim Pietramale que por várias vezes fraquejei e sempre me guiando, cuja contribuição foi essencial para o direcionamento e desenvolvimento da escrita.

Neste momento, registro um agradecimento verdadeiramente especial à Jéssica Lucilene Cantarini Buchini. Sua ajuda foi decisiva para que esta etapa se tornasse possível. Em meio a prazos apertados e exigências constantes, sempre lutando contra o tempo, você não mediu esforços para orientar, corrigir, explicar e conduzir cada fase deste trabalho. Sua calma, sabedoria, paciência e domínio técnico foram fundamentais nos momentos de maior pressão. Foram dias intensos e madrugadas de dedicação, revisões cuidadosas e direcionamentos firmes, sempre com serenidade, humildade e generosidade. Em todas as circunstâncias, esteve presente, oferecendo não apenas conhecimento, mas apoio humano, segurança e confiança. Humanamente, sem a sua ajuda, este objetivo teria sido quase inalcançável. Sua participação foi essencial para que esta missão se concretizasse.

Tenho convicção de que foi Deus quem colocou você, Jéssica — e também a Rita — em meu caminho. A presença de vocês foi providencial e transformadora nesta jornada. Que Deus a abençoe, ilumine sua trajetória acadêmica, pessoal e profissional, e a recompense por toda a dedicação, entrega e grandeza demonstradas.

No ambiente industrial, registro minha gratidão ao diretor de unidade, Dirceu Rech e ao gerente de produção industrial, André Brungera, que compreenderam a relevância da pesquisa e permitiram que ela fosse executada dentro de um sistema produtivo de alta exigência, viabilizando sua realização prática. Somente após esse alinhamento institucional e industrial foi possível avançar para a execução operacional.

Agradeço à equipe do segundo turno da Indústria de Abate e Processamento de Carne Suína envolvida no processo, aos supervisores de produção, especialmente ao Pedro Sorgatto e ao Alex Maldonado e a todos os colaboradores que se dedicaram incansavelmente para que o experimento fosse realizado sem impacto à rotina frigorífica. Diante da complexidade do trabalho, especialmente por se tratar de um frigorífico de grande porte, todo o projeto foi conduzido dentro dos mais rigorosos padrões éticos e legais. Foi quase um ano e meio de planejamento, reuniões e ajustes metodológicos até que o experimento pudesse, de fato, acontecer.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), que me acolheu nesta jornada acadêmica. Aos professores que contribuíram com seus ensinamentos, especialmente aos professores Dr. Leonardo de Oliveira Seno, Dr. Rodrigo Garófalo por seus conselhos, Dr. Alexandre Fernandes; Dra. Cláudia M. Komiyama; Dra. Vivian Aparecida Rios de Castilho Heiss, Dra. Ana Carolina Amorim Orrico, ao Dr. Eduardo Lucas Terra Peixoto e a todos os outros professores que compartilharam seus conhecimentos, motivando o acontecimento desta dissertação.

Agradeço também aos professores de outras instituições, Dra. Ibiara Almeida Paz, da Universidade Estadual de São Paulo “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP – Campus de Botucatu, e Dra. Alda Izabel de Souza, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS – Campus de Campo Grande, pelo acolhimento e disponibilização de materiais essenciais ao desenvolvimento da pesquisa. Ao Me. Yan Malini Ferreira, aluno de Doutorado do Departamento de Biociências Animais da Universidade de Guelph – Canadá (*Department of Animal Biosciences, University of Guelph – Guelph, Ontario, Canada*).

Minha gratidão à Vanda Valiati, da agropecuária pela condução logística do experimento, e aos colegas de pesquisa, especialmente à Dra. Deivid Kelly Barbosa; à Ma. Jéssica Lucilene Cantarini Buchini, pelos esforços e paciência, à Ma. Débora Moraleco, pelas dicas acadêmicas e trabalhos em grupo, à Ma. Jaqueline Murbach Braz, pelo direcionamento na estrutura dos dados, todas alunas de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFGD; ao Zootecnista Lucas Valfre, pela troca de conhecimento, aluno de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFGD. E a todos os outros contribuintes, pois este foi um projeto amplo, realizado em duas etapas, envolvendo aproximadamente 100 pessoas entre colaboradores diretos e indiretos.

Nada foi simples. Houve muito trabalho, estudo, reuniões, paciência e dedicação coletiva para que esta pesquisa saísse do papel e se tornasse realidade.

Assim, encerro estes agradecimentos com o coração profundamente grato.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente meu sincero e eterno muito obrigado.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	10
1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERÊNCIAS	15
CAPÍTULO 2	19
1. INTRODUÇÃO	21
2. MATERIAIS E MÉTODOS	23
2.1 Revisão Sistemática	23
2.1.1 Critérios de Elegibilidade	24
2.1.2 Procedimentos de Seleção e Elegibilidade	25
2.1.3 Extração e Padronização dos Dados	26
2.1.4 Avaliação da Qualidade Metodológica e Risco de Viés	28
2.2 Metanálise	29
3. RESULTADOS	31
3.1 Revisão Sistemática	31
3.1.1 Características dos Estudos Incluídos	31
3.1.2 Avaliação do Risco de Viés	35
3.2 Metanálise e Metarregressão	36
3.2.1 Estatística Descritiva	36
3.2.2 Metanálise	38
3.2.3 Metarregressão	46
3.2.4 Análises de sensibilidade, de influência e viés de publicação	48
4. DISCUSSÃO	49
4.1 Recuperação Fisiológica e Padrões Não Lineares	50
4.2 Integração entre Bem-estar Animal e Qualidade Tecnológica	51
4.3 O Papel do Cortisol na Evidência Global	53
4.4 Limitações da Evidência Disponível	54
4.5 Implicações Práticas, Científicas e Direções Futuras	55
5. CONCLUSÃO	57
6. REFERÊNCIAS	58
CAPÍTULO 3	64
1. INTRODUÇÃO	66
2. MATERIAIS E MÉTODOS	67
2.1 Local	67
2.2 Animais, Delineamento e Tratamentos	68

2.3 Avaliações durante período de descanso	69
2.4 Insensibilização e Abate.....	73
2.5 Avaliações post mortem	73
2.6 Análises Estatísticas	77
3. RESULTADOS.....	79
3.1 Avaliações ante mortem	79
3.2 Avaliações post mortem	82
4. DISCUSSÃO	86
5. CONCLUSÃO.....	92
6. REFERÊNCIAS.....	92
CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	97

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1. Processo de seleção sistemática dos estudos (<i>PRISMA</i> 2020). Desenvolvido pelos autores através da plataforma <i>Rayyan</i>	20
Figura. 2. Avaliação de risco de viés dos estudos incluídos de acordo com a ferramenta do SYRCLE.....	30
Figura 3. Forest plots dos efeitos do tempo de descanso pré-abate sobre lactato, creatina quinase (CK) e drip loss em suínos, com estimativas de efeito global (SMD de Hedges)	35
Figura 4. Forest plots dos efeitos do tempo de descanso pré-abate sobre pH inicial e pH final (pH 24h) em suínos, com estimativas de efeito global (SMD de Hedges)	37
Figura 5. Forest plots dos efeitos do tempo de descanso pré-abate sobre cortisol, perda de líquido por cozimento, coloração (L^* , a^* , b^*), capacidade de retenção de água (WHC) e força de cisalhamento (WBSF) em suínos, com estimativas de efeito global (SMD de Hedges)	39

CAPÍTULO 3

Figura 1. Imagem termográfica de suínos em pocilga de descanso, com indicação dos pontos de mensuração (M1–M12) da temperatura superficial e escala de cores correspondente às faixas de temperatura (25–40 °C)	65
Figura 2. Pocilgas de descanso equipadas com câmeras filmadoras para avaliação comportamental.....	66
Figura 3. (A) Mensuração do pH das carcaças utilizando-se peagâmetro. (B) Amostras refrigeradas durante avaliação de perda de líquido por gotejamento.....	71
Figura 4. Dinâmica temporal dos comportamentos de suínos durante o período de espera pré-abate (0–7200 segundos), sob três tempos de permanência (30, 60 e 120 minutos)	75

Figura 5. Gráfico *Funnel Plot* de temperatura superficial estimada ao longo do tempo de espera para abate em suínos submetidos a 30, 60 e 120 minutos de permanência.76

Figura 6. Efeito do tempo de descanso pré-abate sobre a glicose plasmática em suínos. Gráfico de dispersão (*scatter plot*) com linha de regressão quadrática..... 79

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Estratégia de Busca Detalhada: Descritores e Operadores Booleanos.....	17
Tabela 2. Classificação dos tempos de descanso pré-abate identificados.....	21
Tabela 3. Caracterização metodológica e desfechos avaliados nos estudos incluídos sobre os efeitos do tempo de descanso pré-abate em suínos.....	27
Tabela 4. Estatísticas descritivas dos desfechos contínuos incluídos na meta-análise.....	31
Tabela 5. Correlações de Pearson entre o tempo de descanso pré-abate e indicadores fisiológicos de estresse, injúria muscular e qualidade tecnológica da carne em suínos.....	32
Tabela 6. Resumo da metanálise (Hedges' g) e indicadores de heterogeneidade estatística.....	33
Tabela 7. Resultados dos modelos de Metarregressão avaliando o efeito do tempo de descanso pré-abate sobre variáveis fisiológicas e tecnológicas da qualidade da carne suína.....	41
Tabela Suplementar em Anexo.....	56

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Etograma utilizado para a avaliação comportamental de suínos em pocilgas submetidos a diferentes tempos de descanso pré-abate.....	65
Tabela 2. Inclinações estimadas da temperatura superficial ao longo do tempo de espera para abate em suínos submetidos a diferentes tempos de permanência.....	75
Tabela 3. Parâmetros metabólicos e gasométricos sanguíneos de suínos submetidos a diferentes tempos de descanso pré-abate.....	77
Tabela 4. Valores médios $\pm$ EPM de pH e temperatura das carcaças de suínos submetidos a diferentes tempos de descanso pré-abate.....	79
Tabela 5. Atributos de qualidade da carne de suínos submetidos a diferentes tempos de descanso pré-abate, valores médios $\pm$ EPM, P e equações de regressão.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS

- CK** – Creatina quinase
- CRA** - capacidade de retenção de água
- DFD** – *Dark, Firm, Dry* (carne escura, firme e seca)
- DIC** – Delineamento Inteiramente Casualizado
- OSF** – *Open Science Framework*
- FC** - Força de cisalhamento
- PSE** – *Pale, Soft, Exudative* (carne pálida, mole e exsudativa)
- PRISMA** – *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*
- SYRCLE** – *Systematic Review Centre for Laboratory Animal Experimentation*
- TBARS** – *Thiobarbituric Acid Reactive Substances*
- WoS** – *Web of Science*
- FR** – Frequência respiratória
- pHi** – pH inicial (45 min pós-abate)
- pH24** – pH final (24 h pós-abate)
- PLG** – Perda líquida por gotejamento (*Drip Loss*)
- PLC** – Perda de líquido na cocção (*Cooking Loss*)
- ITU** – Índice de temperatura e umidade
- UR** – Umidade relativa
- SIF** – Serviço de Inspeção Federal
- CEUA** – Comissão de Ética no Uso de Animais
- RYR1** – Gene halotano (associado à suscetibilidade ao estresse)
- ELISA** – *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*
- ANOVA** – Análise de variância
- PROC MIXED** – Procedimento estatístico do software SAS
- EPM** – Erro-padrão da média
- SD** – Desvio-padrão
- SE** – Erro-padrão
- SBC** – *Standard Bicarbonate* (bicarbonato padrão)
- BE-ecf** – *Base Excess extracellular fluid* (excesso de base no fluido extracelular)
- BE-b** – *Base Excess blood* (excesso de base no sangue)
- TCO₂** – Dióxido de carbono total
- SO₂** – Saturação de oxigênio

pCO₂ – Pressão parcial de dióxido de carbono

pO₂ – Pressão parcial de oxigênio

HCO₃⁻ – Bicarbonato

a/A – Relação alvéolo–arterial de oxigênio

PaO₂/FiO₂ – Relação entre pressão parcial de oxigênio arterial e fração inspirada de oxigênio

INDICADORES DE BEM-ESTAR E QUALIDADE DA CARNE DE SUÍNOS PESADOS SUBMETIDOS A DIFERENTES PERÍODOS DE DESCANSO

RESUMO - O intenso melhoramento genético de suínos para maior ganho de peso e rendimento de carne magra resultou em animais de crescimento acelerado, que a indústria de cortes e embutidos tem abatido em pesos mais elevados. Em clima tropical, esse crescimento acelerado, associado ao maior peso ao abate, aumenta a susceptibilidade ao estresse térmico e social no manejo pré-abate, reforçando a necessidade de reavaliar os protocolos de descanso em frigoríficos, integrando indicadores de bem-estar e de qualidade tecnológica da carne. O objetivo desta dissertação foi avaliar, de forma integrada, a influência de diferentes durações de descanso pré-abate sobre o bem-estar e a qualidade de carne e carcaça de suínos, combinando uma revisão sistemática com metanálise (Capítulo 1) e um experimento controlado (Capítulo 2). No Capítulo 1, foi conduzida uma revisão sistemática conforme as diretrizes PRISMA 2020, com busca nas bases Scopus e Web of Science e seleção de 13 estudos experimentais que isolaram o tempo de descanso pré-abate como principal variável independente. Foram extraídos dados de indicadores fisiológicos de estresse, respostas de qualidade de carne e de carcaça. Modelos de efeitos aleatórios indicaram que aumentos moderados no tempo de descanso reduziram significativamente cortisol (SMD = -0,42; $p = 0,001$), lactato (SMD = -0,31; $p = 0,018$) e CK (SMD = -0,27; $p = 0,032$). A metarregressão apontou intervalo aproximado de 1–3 h como mais favorável para atenuar o estresse e melhorar parâmetros iniciais de qualidade, enquanto períodos prolongados (> 6–8 h) se associaram a maior risco de carne DFD e lesões cutâneas. No Capítulo 2, 180 suínos pesados ($130 \pm 5,0$ kg, genótipo halotano negativo) foram distribuídos em quatro tempos de descanso (0, 30, 60 e 120 min). Avaliaram-se variáveis fisiológicas (glicemia, lactato, cortisol, gasometria), térmicas (temperatura superficial e frequência respiratória), comportamentais e de qualidade da carne, analisadas por modelos mistos, comparação de médias e regressão ($\alpha = 0,05$). A glicemia apresentou resposta quadrática, com menor valor estimado em torno de 60 min, sugerindo melhor estabilização metabólica nesse intervalo. As concentrações séricas de cortisol ajustaram-se a modelo quadrático, porém com comportamento monotonicamente decrescente entre 0 e 120 min. A temperatura superficial avaliada por termografia apresentou interação significativa entre tempo de descanso e tempo de avaliação, com estabilidade em 30 e 60 min e aumento progressivo aos 120 min. O pH 45 min diferiu entre tratamentos, mas todos os valores permaneceram dentro da faixa esperada para esse tempo pós-abate, sem efeito relevante sobre o pH 24 h. A perda por cocção reduziu-se com o aumento do tempo de descanso. A integração da evidência da literatura com o estudo experimental indica que, em suínos pesados criados em clima tropical, um período de cerca de 60 min de descanso pré-abate representa um ponto de equilíbrio entre recuperação fisiológica, bem-estar e qualidade da carne, ao passo que 120 min podem proporcionar ganhos tecnológicos discretos, à custa de maior aquecimento superficial e dependência de condições de ambiência e manejo rigorosamente controladas.

Palavras-chaves: Bem-estar, estresse, manejo pré-abate, revisão sistemática; tempo de descanso, suinocultura

WELFARE AND MEAT QUALITY INDICATORS OF HEAVY PIGS SUBJECTED TO DIFFERENT LAIRAGE PERIODS

ABSTRACT - Intensive genetic selection of pigs for higher growth rate and lean meat yield has resulted in fast-growing animals that the cutting and processed meat industry has been slaughtering at higher final weights. In tropical climates, this accelerated growth, combined with higher slaughter weight, increases susceptibility to thermal and social stress during pre-slaughter handling, reinforcing the need to reassess lairage protocols at slaughter plants, integrating animal welfare indicators and technological meat quality traits. The aim of this dissertation was to integratively evaluate the influence of different pre-slaughter lairage durations on welfare and on meat and carcass quality in pigs, combining a systematic review with meta-analysis (Chapter 1) and a controlled experiment (Chapter 2). In Chapter 1, a systematic review was conducted according to PRISMA 2020 guidelines, with searches in Scopus and Web of Science and selection of 13 experimental studies that isolated pre-slaughter lairage time as the main independent variable. Data was extracted on physiological stress indicators and on meat and carcass quality responses. Random-effects models indicated that moderate increases in lairage duration significantly reduced cortisol (SMD = -0.42 ; $p = 0.001$), lactate (SMD = -0.31 ; $p = 0.018$) and CK (SMD = -0.27 ; $p = 0.032$). Meta-regression identified an approximate interval of 1–3 h as more favorable to attenuate stress and improve early quality parameters, whereas prolonged lairage periods (> 6 – 8 h) were associated with a higher risk of DFD meat and skin lesions. In Chapter 2, 180 heavy pigs (130 ± 5.0 kg, halothane-negative genotype) were assigned to four lairage times (0, 30, 60 and 120 min). Physiological variables (blood glucose, lactate, cortisol, blood gases), thermal variables (surface temperature and respiratory rate), behavioral measures and meat quality traits were evaluated and analyzed using mixed models, mean comparisons and regression ($\alpha = 0.05$). Blood glucose showed a quadratic response, with the lowest estimated value at around 60 min, suggesting better metabolic stabilization in this interval. Serum cortisol concentrations also fitted a quadratic model, but with a monotonically decreasing pattern between 0 and 120 min. Surface temperature assessed by thermography showed a significant interaction between lairage time and assessment time, with stability at 30 and 60 min and progressive increase at 120 min. Muscle pH at 45 min post-mortem differed between treatments, but all values remained within the expected range for this time point, with no relevant effect on 24 h pH. Cooking loss decreased as lairage time increased. Integration of the literature evidence with the experimental study indicates that, in heavy pigs reared in tropical climates, a pre-slaughter lairage period of about 60 min represents a balance point between physiological recovery, welfare and meat quality, whereas 120 min may provide modest additional technological gains at the cost of greater surface heating and stronger dependence on strictly controlled environmental and management conditions.

Keywords: animal welfare; PSE meat; physiological stress; pre-slaughter handling; pig production.

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

O manejo pré-abate de suínos constitui um elo crítico na cadeia produtiva, atuando como determinante direto tanto do bem-estar animal quanto da integridade tecnológica da carne. No centro desse processo está o descanso pré-abate, o período de descanso nas pocilgas do abatedouro é tradicionalmente preconizado como um estágio de estabilização fisiológica, destinado a promover a recuperação da homeostase e a atenuar as respostas neuroendócrinas e metabólicas desencadeadas pelo estresse inerente ao transporte (Warriss, 2003; Lee et al., 2023). Todavia, a definição da duração ideal do descanso permanece como um desafio multifatorial e, frequentemente, controverso na literatura científica.

Se, por um lado, períodos insuficientes de descanso, inferiores a 60 minutos, podem não permitir a dissipação adequada do lactato sanguíneo e do calor metabólico, elevando o risco de desenvolvimento de carnes PSE (*Pale, Soft, Exudative*), por outro, descansos prolongados superiores a 120 minutos expõem os animais ao jejum excessivo, à fadiga e a conflitos sociais (Dokmanović et al., 2017; Sobral et al., 2024). Em linhagens modernas, mais reativas e densamente alojadas, o estabelecimento de novas hierarquias em ambientes desconhecidos intensifica comportamentos agonísticos e a ocorrência de lesões cutâneas, podendo culminar na formação de carnes DFD (*Dark, Firm, Dry*) em situações de depleção severa das reservas de glicogênio muscular (Perez et al., 2002).

No cenário brasileiro, a complexidade do manejo pré-abate é acentuada pelo intenso melhoramento genético voltado a maior ganho de peso, conversão alimentar e rendimento de carcaça, que resultou em linhagens de alto desempenho, abatidas em pesos progressivamente mais elevados (frequentemente próximos de 130 kg). Esses animais, com maior massa muscular, metabolismo mais acelerado e maior produção de calor metabólico, apresentam dinâmica termorregulatória distinta da observada em suínos abatidos em idades e pesos

tradicionais, o que potencializa os riscos de estresse térmico e exaustão fisiológica durante o período de espera (Brown-Brandl et al., 2003). Em condições de clima tropical, tais características amplificam ainda mais a suscetibilidade ao estresse térmico e social, exigindo uma reavaliação crítica dos protocolos clássicos de manejo nessa etapa.

Embora protocolos técnicos históricos, recomendados pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), sugiram intervalos de descanso de duas até quatro horas (Ludtke et al., 2006; 2010), as evidências científicas acerca da eficácia de tempos fixos para a realidade nacional ainda se mostram heterogêneas e inconclusivas (Brasil, 2020; Dalla Costa et al., 2019). Isso se reflete também nas normativas vigentes, como a Portaria nº 365/2021 (Brasil, 2021), que determina que o tempo de descanso deve ser o mínimo suficiente para a recuperação dos animais, sem estabelecer um período rígido obrigatório.

Diante dessa lacuna, agravada pelas mudanças no perfil genético, metabólico e no peso ao abate dos suínos, a presente dissertação está estruturada em dois eixos complementares. O primeiro trabalho consiste em uma revisão sistemática da literatura com metanálise, com o objetivo de consolidar o conhecimento científico global e elucidar, por meio de síntese crítica e análise de dados quantitativos extraídos de estudos primários, os efeitos reais do tempo de descanso sobre o bem-estar animal e a qualidade tecnológica da carne suína. O segundo trabalho apresenta um estudo experimental conduzido em condições reais de abate em ambiente tropical, avaliando diferentes intervalos de descanso pré-abate (0, 30, 60 e 120 minutos) em suínos pesados. A hipótese central é que, em condições ambientais controladas e sob bom manejo pré-abate, é possível reduzir o tempo de descanso usualmente empregado, utilizando períodos relativamente curtos de espera, sem prejuízos ao bem-estar de suínos pesados nem à qualidade tecnológica da carne.

2. REVISÃO LITERATURA

O manejo pré-abate representa uma etapa crítica na cadeia produtiva de suínos, com implicações diretas sobre o bem-estar animal e a qualidade final da carne (Arsenoaia; Malancus, 2026). O transporte, o período de espera nas pocilgas de descanso (*lairage*) e os procedimentos que antecedem o abate

constituem importantes fatores estressores, capazes de comprometer tanto indicadores fisiológicos quanto características tecnológicas do produto (Lee, Kang; Shim, 2023).

A seleção genética para maior deposição de carne magra aumentou características como medo, agressividade e suscetibilidade ao estresse, enquanto a presença do gene halotano está associada à ocorrência de carne PSE e ao aumento da mortalidade. As diferenças entre os sexos apresentam resultados variáveis, e a produção de machos inteiros ou imunocastrados requer estratégias específicas para minimizar agressões e lesões. Além disso, aspectos nutricionais, como a textura da ração, a frequência alimentar e o período de jejum, modulam o esvaziamento gastrointestinal e o comportamento de fome. A ractopamina, embora melhore o desempenho produtivo, pode intensificar as respostas fisiológicas ao estresse.

Em síntese, as condições da unidade produtiva, incluindo instalações e ambiência, podem influenciar as respostas fisiológicas e comportamentais dos suínos durante o manejo pré-abate, resultando em variações na qualidade da carne e reforçando a necessidade de abordagens integradas que conciliem bem-estar, eficiência produtiva e sustentabilidade.

A resposta ao estresse em suínos envolve a ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (HPA), resultando na elevação das concentrações plasmáticas de cortisol, além de alterações metabólicas, como hiperglicemia e hiperlactatemia (Papatsiros et al., 2024). Essas respostas, quando persistentes ou intensas, aceleram a glicólise post-mortem e podem resultar em carnes com características indesejáveis, como as condições PSE (*pale, soft, exudative*) e DFD (*dark, firm, dry*) (Arsenoaia; Malancus, 2026).

Fatores controlados na granja influenciam de forma decisiva o bem-estar dos suínos durante o pré-abate e a qualidade da carne, uma vez que o sistema de alojamento, a experiência prévia de manejo, a genética, o sexo, a nutrição e o peso ao abate podem afetar a facilidade de manejo e a sensibilidade dos animais ao estresse (Faucitano; Nannoni, 2023). Esses autores enfatizam que ambientes enriquecidos melhoram a facilidade de manejo e a resiliência ao estresse, embora os efeitos sobre a qualidade da carne ainda não estejam claramente estabelecidos. Da mesma forma, a experiência prévia de manejo

reduz o tempo de carregamento e as perdas durante o transporte, embora seus efeitos sobre a qualidade da carne permaneçam inconsistentes.

O manejo pré-abate de suínos exerce influência direta sobre o bem-estar animal e a qualidade final da carne, uma vez que estímulos estressantes ao longo da cadeia produtiva desencadeiam respostas fisiológicas capazes de comprometer o desempenho e a integridade dos animais (Faucitano, 2018). Fatores como manejo inadequado, uso excessivo de instrumentos aversivos e condições ambientais desfavoráveis durante o transporte elevam indicadores de estresse, como cortisol e lactato, aumentando a incidência de carnes PSE e DFD (Dalla Costa et al., 2019).

Essa etapa envolve diversos fatores que afetam diretamente o bem-estar animal. Estudos destacam que indicadores como comportamento ofegante, quedas, relutância em mover-se e claudicação são fundamentais para identificar problemas ao longo do processo (Dalmau et al., 2016; Chun et al., 2025). Nos frigoríficos avaliados, observou-se que a densidade dos caminhões se correlacionou positivamente com práticas de manejo mais rústicas, indicando que a superlotação aumenta o estresse dos animais (Chun et al., 2025). Durante o período de espera, a elevada densidade dos currais pode estar associada ao aumento da frequência respiratória, evidenciando falhas no controle da ambiência (Song et al., 2024). Além disso, a falta de hidratação correlaciona-se positivamente com a ocorrência de escorregões, quedas e claudicação, uma vez que muitos suínos recorrem à água acumulada no piso após duchas intensas (Chun et al., 2025).

A etapa de transporte é especialmente crítica, pois envolve desafios térmicos, vibração, densidade de carga e duração da viagem, fatores que podem intensificar a fadiga e a mortalidade pré-abate (Faucitano; Goumon, 2017). No abatedouro, práticas inadequadas de condução e períodos de descanso insuficientes ou excessivos também afetam negativamente o comportamento e a fisiologia dos suínos, refletindo em perdas econômicas e redução da qualidade sensorial da carne (Goumon; Faucitano, 2018). Assim, a adoção de protocolos de bem-estar em todas as etapas do pré-abate é essencial para garantir eficiência produtiva, segurança alimentar e padrões éticos de produção (Chun et al., 2025).

Situações estressantes durante o período de espera antes do abate elevam a ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, resultando em aumento das concentrações de cortisol e de outros biomarcadores associados ao estresse agudo (Mota-Rojas et al., 2009). Além disso, o manejo inadequado pode comprometer a resposta imune, intensificar processos inflamatórios e aumentar a ocorrência de lesões musculares, refletidas em alterações de enzimas como a creatina quinase (CK) e proteínas de fase aguda (Martínez-Miró et al., 2016).

Estudos destacam que manejos otimizados, como evitar a mistura de lotes de diferentes origens e reduzir a densidade de animais nos caminhões de transporte, diminuem significativamente os impactos fisiológicos do estresse (Dalla Costa et al., 2019). A avaliação de biomarcadores salivares tem se mostrado uma ferramenta promissora e não invasiva para monitorar o bem-estar dos suínos durante o pré-abate, permitindo a rápida identificação de condições adversas (Martínez-Miró et al., 2016). Dessa forma, a literatura enfatiza a importância da adoção de protocolos de manejo que minimizem o estresse, promovam o bem-estar animal e contribuam para a melhoria da qualidade da carne.

Dentre os biomarcadores, a CK é reconhecida como um indicador de dano muscular associado ao estresse físico, incluindo transporte prolongado e condições adversas de manejo. Estudos demonstram que suínos submetidos a viagens mais longas, altas temperaturas ou condições inadequadas apresentam elevações significativas de CK, refletindo maior desgaste muscular (Sommavilla et al., 2017). Já o lactato plasmático aumenta imediatamente após o transporte e o manejo, refletindo o metabolismo anaeróbico induzido pelo estresse (Terlouw et al., 2008), demonstrando sua eficiência como indicador direto de estresse agudo e esforço físico dos animais (Warriss, 1998).

Manejos adequados durante o período pré-abate são fundamentais para a manutenção da qualidade da carcaça e para a promoção do bem-estar animal (Park et al., 2024). A qualidade da carne está diretamente relacionada aos biomarcadores de estresse, uma vez que animais submetidos a elevados níveis de estresse apresentam menor rendimento de carcaça e de resfriamento, menores valores do parâmetro a^* (vermelhidão) e alterações na temperatura da carne (Nastasijevic et al., 2022).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

estabelecer a influência do tempo de descanso pré-abate nos indicadores de bem-estar animal e atributos de qualidade da carne em suínos pesados, em condições reais de frigorífico.

3.2 Objetivos específicos

- Contextualizar a importância do manejo pré-abate, com ênfase no tempo de descanso, para o bem-estar animal e para a qualidade tecnológica da carne suína.
- Sintetizar criticamente as evidências científicas sobre os efeitos de diferentes tempos de descanso pré-abate sobre marcadores fisiológicos de estresse, parâmetros de bem-estar e atributos de qualidade da carne.
- Identificar, a partir da revisão sistemática com metanálise, a faixa temporal de descanso mais favorável à recuperação fisiológica e à manutenção da qualidade da carne, bem como os riscos associados a períodos excessivamente curtos ou prolongados.
- Avaliar os efeitos de diferentes tempos de descanso nas variáveis fisiológicas, térmicas, comportamentais e *post mortem* em suínos pesados abatidos em condições reais de frigorífico.
- Integrar os achados em uma discussão sobre as implicações científicas e práticas do tempo de descanso pré-abate na suinocultura moderna, especialmente em animais pesados e em ambiente tropical.

2. REFERÊNCIAS

ARSENOAIA, V. N.; MALANCUS, R. N. Impact of different pre-slaughter stages on selected stress biomarkers in slaughter pigs: a study on lactic acid, glucose, cortisol and eosinophil levels. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 78, n. 2, p. e13504, 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n.º 113, de 16 de dezembro de 2020. Estabelece os métodos humanitários de manejo pré-abate e abate de animais de açougue e os métodos de insensibilização autorizados. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria n.º 365, de 16 de julho de 2021. Aprova o Regulamento Técnico de Manejo Pré-abate e Abate Humanitário e os métodos de insensibilização autorizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Edição Extra, Seção 1, n. 138-A, p. 1–4, 23 jul. 2021.

BROWN-BRANDL, T. M.; NIENABER, J. A.; XIN, H.; GATES, R. S. **A literature review of swine heat and moisture production**. In: JACOBSON, L. D. (ed.). *Swine Housings II: Proceedings of the 12–15 October 2003 Conference*. St. Joseph: ASAE, 2003. p. 31–40.

CHUN, C. E., KIM, J. S., CHOE, N., MA, S. A., HAN, J. S., KANG, H. J. Applying and adapting the Welfare Quality® protocol for assessing animal welfare in Korean cattle and pig slaughterhouses. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 67, n. 6, p. 1406, 2025.

DALLA COSTA, F. A.; DALLA COSTA, O. A.; FEDERN, V.; COLDEBELLA, A.; MONTEIRO DE LIMA, G. J.; FERRAUDO, A. S. How does season, on-farm fasting interval and lairage period affect swine welfare, carcass and meat quality traits. **International Journal of Biometeorology**, v. 63, p. 1497–1505, 2019.

DALLA COSTA, F. A., DALLA COSTA, O. A., DI CASTRO, I. C., GREGORY, N. G., DI CAMPOS, M. S., LEAL, G. B. D. M., TAVERNARI, F. D C. Ease of handling and physiological parameters of stress, carcasses, and pork quality of pigs handled in different group sizes. **Animals**, v. 9, n. 10, p. 798, 2019.

DALMAU, A., NANDE, A., VIEIRA-PINTO, M., ZAMPROGNA, S., DI MARTINO, G., RIBAS, J. C. R., DA COSTA, M. P., HALINEN-ELEMO, K., VELARDE, A. Application of the Welfare Quality® protocol in pig slaughterhouses of five countries. **Livestock Science**, v. 193, p. 78–87, 2016.

DOKMANOVIĆ, M.; IVANOVIĆ, J.; JANJIĆ, J.; BOŠKOVIĆ, M.; LAUDANOVIĆ, M.; PANTIĆ, S.; BALTIĆ, M. Ž. Effect of lairage time, behaviour and gender on stress and meat quality parameters in pigs. **Animal Science Journal**, v. 88, p. 500–506, 2017.

FAUCITANO, L.; NANNONI, E. Pig production systems and related effects on pre-slaughter animal welfare and meat quality. **Italian Journal of Animal Science**, v. 22, n. 1, p. 513–523, 2023.

FAUCITANO, L. Preslaughter handling practices and their effects on animal welfare and pork quality. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 2, p. 728–738, 2018.

GOUMON, S.; FAUCITANO, L. Influence of loading handling and facilities on the subsequent response to pre-slaughter stress in pigs. **Livestock Science**, 200, 6–13 [em linha]. 2017.

LEE, J.; KANG, D.; SHIM, K. Effect of lairage time prior to slaughter on stress in pigs: a path analysis. *Porcine Health Management*, v. 9, n. 1, p. 55, 2023.

LUDTKE, C.; NOGUEIRA, C. E. W.; BERTOLONI, W.; DALLA COSTA, O. A.; SOARES, G. J. D. **O estresse no manejo pré-abate e na qualidade da carne suína**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 40 p.

LUDTKE, C. B.; CIOCCA, J. R. P.; DANDIN, T.; BARBALHO, P. C.; VILELA, J. A.; DALLA COSTA, O. A. **Abate humanitário de suínos**. Rio de Janeiro: WSPA, 2010. 132 p.

MARTÍNEZ-MIRÓ, S., TECLES, F., RAMÓN, M., ESCRIBANO, D., HERNÁNDEZ, F., MADRID, J., ORENGO, J., MARTÍNEZ-SUBIELA, S., MANTECA, X., CERÓN, J. J. Causes, consequences and biomarkers of stress in swine: an update. **BMC Veterinary Research**, v. 12, n. 1, p. 171, 2016.

MOTA-ROJAS D., BECERRIL M., LEMUS C., SÁNCHEZ P., GONZÁLEZ M., OLMOS S., RAMÍREZ R., ALONSO-SPILSBURY M. Effects of pre-slaughter transport, lairage and sex on pig chemical serologic profiles. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.8, p.246-250, 2009.

NASTASIJEVIC, I., GLISIC, M., MILIJASEVIC, M., JANKOVIC, S. MITROVIC, R. MILIJASEVIC, J. B., BOSKOVIC CABROL, M. Biosecurity and lairage time versus pork meat quality traits in a farm–abattoir continuum. **Animals**, v. 12, n. 23, p. 3382, 2022.

PAPATSIROS, V. G.; MARAGKAKIS, G.; PAPAKONSTANTINO, G. I. Stress biomarkers in pigs: current insights and clinical application. **Veterinary Sciences**, v. 11, n. 12, p. 640, 2024.

PARK, S. H., SONG, D. C., CHANG, S. Y., JEON, K. H., KIM, H., YANG, J. M., CHO, J. H. Effects of lairage stocking density and lairage time on slaughter pigs. **Korean Journal of Agricultural Science**, v. 51, n. 4, p. 485–496, 2024.

PÉREZ, M. P.; PALACIO, J.; SANTOLARIA, M. P.; ACEÑA, M. C.; CHACÓN, G.; VERDE, M. T.; CALVO, J. H.; ZARAGOZA, M. P.; GASCÓN, M.; GARCÍA-BELENQUER, S. Influence of lairage time on some welfare and meat quality parameters in pigs. **Veterinary Research**, v. 33, p. 239–250, 2002.

SOBRAL, V. S.; SILVEIRA, R. M. F.; GUESINE, G. D.; ARNO, A.; AZEVEDO, K. A. M.; LOBOS, C. M. V.; SILVA, I. J. O. Implications of lairage and environmental enrichment on behavioral responses and skin lesions in finishing pigs in a slaughterhouse. **Animals**, v. 14, n. 11, p. 1591, 2024.

SOMMAVILLA, R., FAUCITANO, L., GONYOU, H., SEDDON, Y., BERGERON, R., WIDOWSKI, T., CROWE, T., CONNOR, L., SCHEEREN, M. B., GOUMON, S., BROWN, J. Season, transport duration and trailer compartment effects on

blood stress indicators in pigs: relationship to environmental, behavioral and other physiological factors, and pork quality traits. **Animals**, v. 7, n. 2, p. 8, 2017.

SONG, D.-C., LEE, J.-H., YOUN, W., CHANG, S.-Y., PARK, S.-H., JEON, K.-H., KIM, H., CHO, J.-H. Effects of stocking density and illuminance in lairage of fattening pigs in different temperatures. **Animals**, v. 14, n. 15, p. 2145, 2024.

TERLOUW, E. M. C., ARNOULD, C., AUPERIN, B., BERRI, C., LE BIHAN-DUVAL, E., DEISS, V. LEFÈVRE, F., LENSINK, B. J., MOUNIER, L. Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: current status and possible future research. **Animal**, v. 2, n. 10, p. 1501–1517, 2008.

WARRISS, P. D. Optimal lairage times and conditions for slaughter pigs: a review. **Veterinary Record**, v. 153, n. 6, p. 170–176, 2003.

WARRISS, P. D. **The welfare of slaughter pigs during transport**. *Animal Welfare*, v. 7, n. 4, p. 365–381, 1998.

INCLUIR AUTORES CITADOS QUE FALTARAM

CAPÍTULO 2

DESCANSO PRÉ-ABATE EM SUÍNOS: EVIDÊNCIAS INTEGRADAS SOBRE BEM-ESTAR ANIMAL E QUALIDADE DA CARNE A PARTIR DE REVISÃO SISTEMÁTICA COM METANÁLISE

RESUMO

O manejo pré-abate de suínos é um estágio crítico da cadeia produtiva, influenciando diretamente o bem-estar animal e a qualidade da carne. Esta revisão sistemática foi conduzida para elucidar a relação entre o tempo de descanso nas pocilgas do frigorífico e a recuperação da homeostase animal. Seguindo as diretrizes PRISMA 2020 e utilizando a ferramenta SYRCLE para avaliação do risco de viés, o estudo sintetizou dados de 13 experimentos globais, abrangendo uma amostra superior a 3.000 suínos. Os resultados indicam que o descanso atua como um modulador da recuperação sistêmica, evidenciado pela redução significativa da creatina quinase e do lactato, marcadores diretos de fadiga e dano muscular. Sob a ótica tecnológica, o repouso demonstrou eficácia na estabilização metabólica *post-mortem*, elevando os valores de pH inicial e final ($g = 0,26$) e reduzindo a perda de líquido por gotejamento ($g = -0,62$), o que mitiga a ocorrência de anomalias como a carne PSE (Pálida, Flácida e Exudativa). A metarregressão permitiu entender que a luminosidade da carne (L^*) é o parâmetro mais sensível à cronologia do descanso, com 86,6% de sua variação explicada pelo tempo de espera. Contudo, a recuperação fisiológica não segue um padrão linear, exibindo rendimentos decrescentes: identificou-se uma "Zona de Equilíbrio" entre 3 e 12 horas para máxima eficiência, enquanto períodos prolongados (> 18 h) elevaram o risco de estresse secundário por fome, sede e agressividade social. Em conclusão, a busca por um tempo ideal fixo e universal mostra-se obsoleta. O manejo pré-abate deve avançar para uma abordagem de precisão em bem-estar animal, no qual o monitoramento fisiológico em tempo real substitua protocolos fixos e permita ajustar as decisões de descanso e manejo às condições individuais dos lotes, conciliando bem-estar animal e qualidade tecnológica da carne.

Palavras- Chaves: Bem-estar animal; Carne PSE; Carne DFD; Cortisol; Estresse pré-abate; pH

PRE-SLAUGHTER LAIRAGE IN PIGS: INTEGRATED EVIDENCE ON ANIMAL WELFARE AND MEAT QUALITY FROM A SYSTEMATIC REVIEW WITH META-ANALYSIS

ABSTRACT

Pre-slaughter management of pigs is a critical stage in the production chain, directly influencing animal welfare and meat quality. This systematic review and meta-analysis aimed to elucidate the complex relationship between lairage time at the slaughterhouse and the recovery of animal homeostasis. Following the PRISMA 2020 guidelines and using the SYRCLE tool for risk of bias assessment, the study synthesized data from 13 global experiments involving a sample of more than 3,000 pigs. The results indicate that lairage acts as a vital modulator of systemic recovery, evidenced by a significant reduction in creatine kinase (CK; $g = -0.66$) and lactate, which are direct markers of fatigue and muscle damage. From a technological perspective, rest proved effective in post-mortem metabolic stabilization, increasing initial and final pH values ($g = 0.26$) and reducing drip loss ($g = -0.62$), thereby mitigating the occurrence of anomalies such as PSE (Pale, Soft, and Exudative) meat. Meta-regression revealed that meat lightness (L^*) is the most sensitive parameter to lairage chronology, with 86.6% of its variation explained by waiting time. However, physiological recovery does not follow a linear pattern, exhibiting diminishing returns: an "Equilibrium Zone" was identified between 3 and 12 hours for maximum efficiency, while prolonged periods (> 18 h) increased the risk of secondary stress due to hunger, thirst, and social aggression. In conclusion, the search for a fixed and universal ideal time proves to be obsolete. Pre-slaughter handling should move toward a "Precision Welfare" paradigm, in which real-time physiological monitoring replaces fixed protocols and allows rest and handling decisions to be adjusted to the specific conditions of each batch, reconciling animal welfare with the technological quality of the meat.

Keywords: Animal welfare; PSE meat/pork; DFD meat/pork; Cortisol; pre-slaughter stress; pH.

1. INTRODUÇÃO

O manejo pré-abate de suínos é um ponto crítico da cadeia produtiva, com impacto direto tanto sobre o bem-estar animal quanto sobre a qualidade tecnológica da carne. Nesse contexto, o período de descanso nas pocilgas do abatedouro assume papel central na recuperação fisiológica após o estresse do transporte, favorecendo a estabilização de parâmetros fisiológicos, como frequência cardíaca e temperatura corporal, e modulando respostas neuroendócrinas (Lee et al., 2023). Normativas internacionais, como o Regulamento (CE) n.º 1099/2009 da União Europeia, estabelecem que esse intervalo entre a chegada ao frigorífico e o abate deve garantir aos animais acesso contínuo à água, densidade adequada e conforto térmico, priorizando o abate célere sempre que as condições operacionais o permitirem.

A definição da duração ideal desse período de descanso, entretanto, permanece um desafio multifatorial (Rocha et al., 2015; Choi et al., 2024; Sobral et al., 2024; Rocha et al., 2025). Intervalos muito curtos tendem a ser insuficientes para a estabilização metabólica, resultando em animais ainda sob os efeitos agudos do estresse e em maior incidência de carne PSE (Pale, Soft, Exudative). Esse defeito decorre da aceleração da glicólise *post-mortem* em condições de elevada temperatura muscular e alta disponibilidade de glicogênio (Lee et al., 2023).

Em contrapartida, períodos prolongados de descanso expõem os suínos a jejum excessivo, fadiga fisiológica e comprometimento da homeostase metabólica (Dokmanović et al., 2017). O ambiente desconhecido, associado à mistura de lotes, intensifica as disputas hierárquicas e os comportamentos agonísticos, aumentando a incidência de lesões cutâneas e hematomas, com consequente depreciação econômica das carcaças (Sobral et al., 2024). Além disso, o estresse crônico e o esvaziamento gástrico prolongado favorecem a hiperacidez luminal, reduzem os mecanismos citoprotetores da mucosa e aumentam a exposição do epitélio esofagogástrico ao conteúdo ácido, predispondo ao desenvolvimento de lesões ulcerativas (Pérez et al., 2002).

Paralelamente, a depleção acentuada das reservas musculares de glicogênio eleva o risco de ocorrência de carne DFD (Dark, Firm, Dry), caracterizada por pH final elevado, coloração escura e baixa aceitabilidade comercial (Lee et al., 2023). Nessa perspectiva, o desenvolvimento precoce do

rigor mortis, avaliado aos 35 minutos pós-exsanguinação, tem sido associado a elevadas concentrações sanguíneas de cortisol, lactato e creatina quinase (CK), configurando um indicador fisiológico prático e sensível do estresse pré-abate (Warriss et al., 2003).

Embora a literatura clássica preconize períodos de descanso entre 2 e 4 horas (Pérez et al., 2002), alguns estudos apresentam resultados divergentes. Dalla Costa et al. (2016) observaram que tempos superiores a 18 horas podem melhorar determinados parâmetros tecnológicos da qualidade da carne em comparação com intervalos muito curtos, ainda que à custa de prejuízos ao bem-estar social dos animais. Adicionalmente, características da suinocultura moderna, como o aumento do peso de abate para 110–130 kg e a produção em climas tropicais, modificam substancialmente a dinâmica termorregulatória e a resiliência dos animais. Em condições brasileiras, a interação entre estação do ano e tempo de descanso pode intensificar o estresse térmico e comprometer a qualidade do produto (Dalla Costa et al., 2019).

Apesar da elevada relevância prática do tema, ainda carecemos de uma síntese quantitativa robusta que integre, simultaneamente, indicadores fisiológicos de estresse, métricas de bem-estar animal e parâmetros tecnológicos de qualidade da carne. Essa lacuna limita a formulação de diretrizes operacionais baseadas em evidências científicas. Diante dessa pluralidade de resultados, o objetivo deste estudo foi reunir, extrair e sintetizar quantitativamente, por meio de revisão sistemática com metanálise, os efeitos do tempo de descanso pré-abate sobre indicadores fisiológicos de estresse, bem-estar animal e parâmetros tecnológicos da qualidade da carne suína. Adicionalmente, buscou-se explorar a faixa temporal que melhor harmonize equilíbrio fisiológico e desempenho tecnológico, respondendo à seguinte questão de pesquisa: “As evidências científicas sustentam a recomendação de um tempo ideal de descanso pré-abate em suínos, considerando os indicadores de bem-estar animal e qualidade da carne?”.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Revisão Sistemática

Esta revisão sistemática foi conduzida de acordo com as diretrizes do PRISMA 2020 (*Preferred Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Page et al., 2021), com protocolo previamente registrado na plataforma *Open Science Framework* (OSF) (DOI: <https://doi.org/00.00000/xxx.xx/0xxxx>).

As buscas bibliográficas foram realizadas nas bases de dados Scopus (Elsevier) e Web of Science (WoS) em dois momentos distintos, agosto de 2025 e janeiro de 2026, com o objetivo de garantir a identificação e inclusão de todos os estudos potencialmente elegíveis para a revisão. A estratégia de busca combinou descritores controlados e não controlados, utilizando operadores booleanos “AND” e “OR” aplicados aos campos de título, resumo e palavras-chave, visando equilíbrio entre abrangência e especificidade (Tabela 1).

Tabela 1. Estratégia de Busca Detalhada: Descritores e Operadores Booleanos

Conceito	Termos de Busca
População	"Pig" OR "swine" OR "pork" OR "hog"
Intervenção	"Resting time" OR "lairage duration" OR "lairage time" OR "pre-slaughter rest" OR "holding time" OR "rest period"
Desfechos	"Welfare" OR "stress" OR "behavior*" OR "meat quality" OR "carcass quality" OR "pork quality" OR "PSE" OR "DFD"

Elaborado pelo autor (2025).

A busca foi conduzida em duas etapas complementares: (i) inserção sequencial de descritores populacionais, de intervenção e desfechos nos filtros das bases; e (ii) combinação simultânea de todos os termos no campo principal de busca, utilizando operadores booleanos, aspas e parênteses, visando maximizar sensibilidade e especificidade. Em ambas as etapas não foram aplicadas restrições quanto a ano de publicação, idioma ou tipo de documento, assegurando ampla recuperação de estudos potencialmente elegíveis e minimizando exclusões inadvertidas.

2.1.1 Critérios de Elegibilidade

A seleção dos estudos envolveu triagem inicial, avaliação de elegibilidade e inclusão final, baseada em critérios pré-estabelecidos. Para isso, foram incluídos estudos que atenderam simultaneamente aos seguintes critérios:

- Desenho do estudo: pesquisas originais experimentais publicadas em periódicos revisados por pares.
- População: suínos domésticos (*Sus scrofa domesticus*) destinados ao abate comercial.
- Intervenção: avaliação explícita do efeito de diferentes durações de descanso pré-abate.
- Desfechos: mensuração de indicadores de bem-estar (fisiológicos, comportamentais ou de saúde) e/ou parâmetros de qualidade da carne e da carcaça.

Foram excluídos estudos que:

- Fossem revisões simples ou sistemáticas, capítulos de livros, editoriais ou resumos sem texto completo;
- Envolvessem populações fora do escopo (outras espécies ou fases distintas do abate comercial);
- Utilisassem delineamentos laboratoriais ou observacionais desvinculados de condições comerciais;
- Não isolassem o tempo de descanso pré-abate como variável independente ou empregassem apenas análises correlativas, impossibilitando a estimativa de efeito;
- Não apresentassem indicadores quantitativos de qualidade da carne ou tratassem exclusivamente de transporte, densidade, instalações ou manejo, sem avaliação específica do tempo de descanso pré-abate;
- Apresentassem dados incompletos (ausência de média, desvio-padrão ou erro-padrão) ou imprecisão na quantificação da duração do descanso;
- Trouxessem descrição cronológica insuficiente ou inconsistente do manejo pré-abate;
- Não tivessem acesso ao texto completo;
- ou apresentassem barreiras linguísticas fora do escopo previamente definido (artigos em outras línguas que não inglês, português ou espanhol).

2.1.2 Procedimentos de Seleção e Elegibilidade

Todas as referências recuperadas foram importadas para a plataforma *Rayyan*® (*Qatar Computing Research Institute*) para viabilizar a triagem cega por múltiplos revisores. O processo de seleção inicial baseou-se na análise de títulos e resumos por dois revisores independentes, utilizando o recurso de rotulagem cega (*blind labeling*) para minimizar vieses. Conflitos de seleção foram resolvidos por discussão e consenso ou, em casos controversos, pela intervenção de um terceiro revisor. A elegibilidade dos estudos foi avaliada mediante a leitura integral dos textos selecionados, aplicando-se os critérios de exclusão previamente estabelecidos.

Inicialmente, foram identificados 1.315 registros dos quais foram removidos 501 arquivos duplicados e os 814 estudos restantes foram submetidos à triagem por análise de conteúdo dos títulos, resumos e palavras-chave, resultando na exclusão de 778 registros por não atenderem aos critérios de elegibilidade.

Assim, 36 artigos foram selecionados para a leitura integral e detalhada do texto completo. Desses, 23 estudos foram eliminados, principalmente devido à presença de fatores de confundimento que impediam o isolamento do efeito do tempo de descanso pré-abate ($n = 16$), ausência de dados quantitativos adequados ($n = 4$), indisponibilidade de acesso ao texto completo ($n = 2$) e publicação em idioma fora do escopo ($n = 1$). Apenas 13 estudos preencheram todos os critérios metodológicos e foram incluídos na síntese qualitativa e na metanálise, totalizando uma amostra superior a 3.000 suínos, provenientes de diferentes sistemas e contextos produtivos. A Figura 1 apresenta um diagrama de fluxo *PRISMA*® da revisão sistemática deste estudo e a uma lista completa dos estudos avaliados na íntegra e posteriormente excluídos encontra-se apresentada na Tabela Suplementar, em anexo a este documento.

Dentre os 13 estudos incluídos, quatro avaliaram o tempo de descanso pré-abate em conjunto com outras variáveis de manejo, sendo eles: Dokmanović et al., 2014; Dokmanović et al., 2017; Pérez et al., 2002; Dalla Costa et al., 2019 e Lee et al., 2023a. Contudo, como o tempo de descanso foi manipulado experimentalmente e os resultados quantitativos puderam ser extraídos de forma independente, esses trabalhos foram considerados elegíveis e integrados à síntese quantitativa. No caso de Aaslyng & Barton Gade (2001), apenas o

Experimento 1 foi incluído na análise, pois nele o tempo de espera pôde ser isolado; o Experimento 2 foi excluído devido à forte influência de fatores climáticos e de manejo, como chuveiramento e múltiplos produtores.

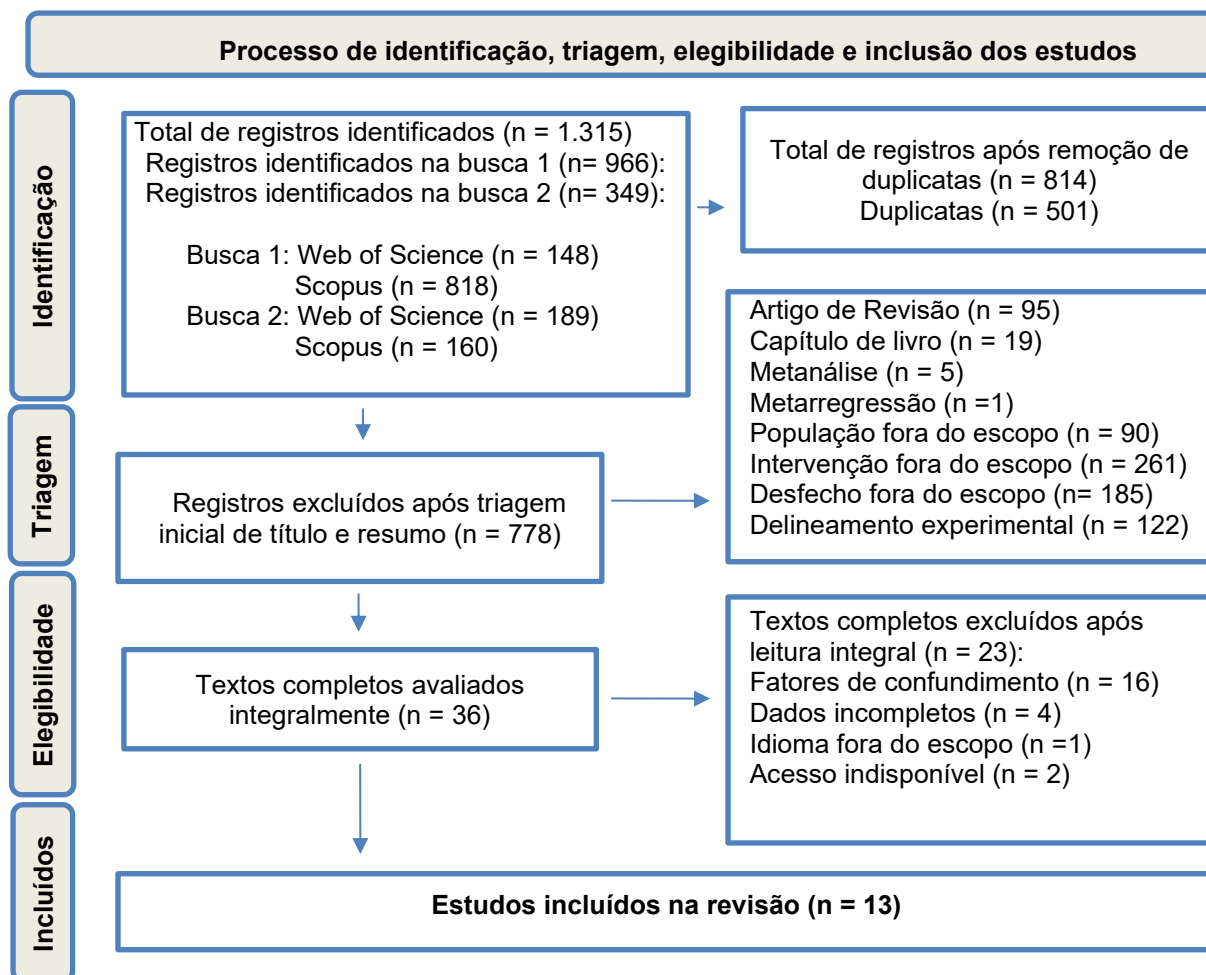


Figura 1. Processo de seleção sistemática dos estudos (PRISMA 2020). Desenvolvido pelos autores através da plataforma Rayyan.

2.1.3 Extração e Padronização dos Dados

A extração dos dados quantitativos foi conduzida sistematicamente e de forma independente por três revisores, com as informações organizadas em banco de dados eletrônico estruturado por parâmetros avaliados (*outcomes*). Para cada estudo incluído nesta revisão, foram registradas informações relativas à caracterização metodológica, ao protocolo experimental, aos indicadores/resultados e aos parâmetros tecnológicos da carne e da carcaça. A caracterização metodológica compreendeu a identificação dos autores, ano de publicação, país de origem e tamanho amostral (n) por tratamento. O tempo de

descanso pré-abate foi extraído como variável contínua, expresso em horas (h). Para as análises descritivas e comparativas, os tratamentos foram adicionalmente categorizados em classes de duração Curto, Intermediário, Longo e Muito Estendido, conforme os intervalos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação dos tempos de descanso pré-abate identificados

Classificação	Descanso Pré-Abate	Fundamentação Fisiológica	Autores
Curto	< 4 h	Elevados níveis de cortisol e lactato sanguíneo mantidos do transporte; agressões por hierarquia social ainda ativas; maior risco de PSE.	Aaslyng e Gade (2001); Dokmanović et al. (2014, 2017)
Intermediário	4 – 12 h	Estabilização fisiológica ideal com recuperação parcial do glicogênio muscular; menor incidência de PSE; redução dos níveis de lactato e cortisol elevados.	Pérez et al. (2002); Zhen et al. (2013)
Estendido	12 – 18 h	Recuperação adicional de glicogênio muscular; início de depleção hídrica prolongada; maior risco de DFD (escuro, firme e seco) e lesões cutâneas por coabitação prolongada.	García-Celdrán et al. (2012); Dokmanović et al. (2014)
Muito Estendido	> 18 h	Desidratação severa com perda de peso > 4%; depleção completa de glicogênio muscular e hepático; maior incidência de DFD devido ao pH final elevado.	Roldan-Santiago et al. (2013); Lee et al. (2023a)

Elaborado pelos autores (2025).

As variáveis fisiológicas de bem-estar incluíram teores de cortisol, lactato e creatina quinase (CK), sempre com registro da matriz biológica (soro, plasma ou sangue total) e do momento da coleta (por exemplo, pré-abate ou durante a sangria). Sempre que necessário, as unidades foram convertidas para escalas comuns previamente definidas (por exemplo, nmol/L ou mmol/L), garantindo a comparabilidade entre estudos (INMETRO, 2025).

Os parâmetros de qualidade da carne e de carcaça foram organizados estratificadamente por músculo e por tipo de medida. Para isso, foram incluídos o pH inicial e o final (24 h *post mortem*), a cor instrumental (L^* , a^* , b^*), a perda por gotejamento (PLG), a capacidade de retenção de água (CRA), as perdas por cocção (PLC) e a força de cisalhamento (FC). Para reduzir a heterogeneidade anatômica, os músculos foram agrupados em duas categorias principais: região de Longissimus (*Longissimus dorsi*, LL — *Longissimus lumborum* e LT — *Longissimus thoracis*) e *Semimembranosus* (SM), com codificação padronizada

no banco de dados. Quando um mesmo estudo reportava múltiplos músculos ou pontos de medição, cada combinação foi registrada como linha independente, mantendo a identificação do estudo e do grupo de descanso.

Com o objetivo de reduzir a heterogeneidade entre os estudos, os dados musculares foram padronizados de acordo com a nomenclatura anatômica, agrupando-se as medidas obtidas na região do *Longissimus* (L — *loin*, LD — *Longissimus dorsi*, LL — *Longissimus lumborum* e LT — *Longissimus thoracis*) e no músculo *Semimembranosus* (SM). Nos estudos que reportaram exclusivamente o erro-padrão (SE), os valores foram convertidos em desvio-padrão (SD) por meio da equação $SD = SE \times \sqrt{n}$ (onde SD – desvio padrão, SE – erro padrão, n – número de animais por tratamento) viabilizando o cálculo padronizado do tamanho do efeito (*effect size*) na metanálise.

2.1.4 Avaliação da Qualidade Metodológica e Risco de Viés

A avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos foi conduzida de forma independente pelos revisores, utilizando a ferramenta *SYRCLE Risk of Bias Tool*® (*Systematic Review Centre for Laboratory Animal Experimentation*) (Hooijmans et al., 2014; Zhang et al., 2019, Kyriazakis et al., 2025). A ferramenta *SYRCLE*® foi aplicada aos estudos experimentais elegíveis, contemplando dez domínios principais: geração de sequências (D1); características básicas (D2); ocultação de alocação (D3); alojamento aleatório (D4); cegamento de cuidadores e pesquisadores (D5); avaliação aleatória das variáveis de interesse (D6); cegamento dos avaliadores de resultados (D7); resultado incompletos (D8); relato seletivo de resultados (D9); e outras fontes de viés (D10). Cada domínio foi classificado como baixo risco, alto risco ou risco moderado/incerto, com base nas informações metodológicas apresentadas nos artigos originais. Adotou-se uma abordagem conservadora, na qual domínios classificados como risco incerto, decorrentes de descrição metodológica insuficiente, foram considerados como risco moderado na classificação global do estudo.

Todos os estudos foram mantidos na síntese quantitativa, independentemente da classificação atribuída. Entretanto, os resultados oriundos de estudos com maior vulnerabilidade metodológica foram

interpretados com cautela, visando maximizar a transparência e minimizar possíveis distorções sistemáticas nas conclusões da metanálise.

2.2 Metanálise

A estratégia analítica foi delineada de forma hierárquica, visando integrar os tamanhos de efeito padronizados (*Hedges' g*) obtidos a partir dos indicadores fisiológicos de bem-estar e dos parâmetros tecnológicos de qualidade da carne. O fluxo de análise foi estruturado para transitar de uma compreensão descritiva e visual do corpo de evidências até a modelagem explicativa e preditiva por meio de metarregressão. A etapa inicial consistiu em Análise Exploratória de Dados (EDA) rigorosa, cujo objetivo principal foi identificar padrões de resposta biológica e detectar possíveis valores extremos (*outliers*) no nível de cada estudo que pudessem distorcer a estimativa global. Para tanto, foram gerados gráficos *forest plots* estratificados pelas quatro categorias de tempo de descanso pré-abate (Curto, Intermediário, Estendido e Muito Estendido). Esta visualização permitiu avaliar de forma preliminar a direção e a magnitude dos efeitos, bem como a heterogeneidade aparente entre os estudos, correlacionando os dados com as respostas fisiológicas esperadas para cada intervalo de descanso pré-abate.

Para cada desfecho, conduziu-se metanálise independente utilizando o modelo de efeitos aleatórios (*random-effects model*). A escolha deste modelo é fundamental, pois assume que o verdadeiro efeito pode variar entre estudos devido a diferenças biológicas, como linhagens suínas, e metodológicas, como clima e manejo de transporte. O tamanho do efeito foi estimado por meio do indicador *Hedges' g* com intervalos de confiança de 95%. Neste processo, a contribuição de cada estudo para o resultado foi ponderada por pesos inversamente proporcionais à sua variância, garantindo que estudos com amostras maiores e menor erro experimental tivessem uma influência proporcionalmente maior na estimativa global. Para cada comparação entre grupos de descanso pré-abate (referência: menor tempo vs. comparador: maior tempo), o efeito foi quantificado conforme:

- Diferença de médias: $X_{comp} - X_{ref}$

- Desvio-padrão agrupado (*pooled*): $S_p = \sqrt{\frac{(n_{comp}-1)SD_{comp}^2 + (n_{ref}-1)SD_{ref}^2}{n_{comp}+n_{ref}-2}}$
 - Diferença padronizada (d de *Cohen*): $d = \frac{X_{comp}-X_{ref}}{S_p}$
 - Correção de *Hedges*: $g = J \cdot d$, onde $J = 1 - \frac{3}{4(n_{comp}+n_{ref})-9}$
- Variância de g: $v_g = \frac{n_{comp}n_{ref}}{n_{comp}+n_{ref}} \frac{g^2}{2(n_{comp}+n_{ref})-2}$

Para cada comparação entre grupos, o menor tempo serviu como referência frente ao maior tempo de descanso, o efeito foi quantificado sistematicamente através do cálculo da diferença de médias, do desvio-padrão agrupado (*pooled*), da diferença padronizada de médias (d de *Cohen*), da correção de *Hedges* (g) e da variância de g. A heterogeneidade estatística foi rigorosamente avaliada através da estatística Q de *Cochran*, da variância entre estudos (tau-quadrado) estimada pelo método de *DerSimonian-Laird* e pelo índice I-quadrado. O índice I-quadrado foi utilizado para quantificar a percentagem da variabilidade total atribuível à heterogeneidade real entre os estudos e não ao erro amostral. Inicialmente, estimou-se o efeito médio sob um modelo de efeitos fixos para testar a nulidade da homogeneidade contra uma distribuição qui-quadrado com k-1 graus de liberdade, onde k representa o número de comparações.

A modelagem estatística seguiu um protocolo de duas etapas, iniciando pelo modelo nulo (M0), um modelo de efeitos aleatórios sem moderadores que capturou a heterogeneidade residual total e serviu como ponto de referência. Em seguida, ajustou-se o modelo de metarregressão uni variada (M1), incluindo o descanso pré-abate em horas do grupo comparador como moderador contínuo para investigar a existência de um gradiente linear, mantendo a estrutura de efeitos aleatórios para representar a variação residual não explicada. A seleção entre os modelos baseou-se no Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc) para amostras finitas e no Coeficiente de Correlação de Concordância de Lin (CCC), privilegiando modelos com equilíbrio entre parcimônia e poder preditivo.

A robustez das estimativas foi verificada por análises de sensibilidade do tipo *leave-one-out*, onde o modelo foi reajustado sucessivamente removendo-se

um estudo de cada vez para monitorizar a estabilidade da inclinação e dos coeficientes. Todas as análises foram realizadas em linguagem *Python*, utilizando as bibliotecas *pandas* e *numpy* para manipulação de dados, *scipy.stats* e *statsmodels* para a modelagem estatística, e *matplotlib* e *seaborn* para a geração dos diagnósticos visuais e *forest plots*, assegurando a total rastreabilidade e reprodutibilidade do fluxo analítico.

3. RESULTADOS

3.1 Revisão Sistemática

3.1.1 Características dos Estudos Incluídos

Os 13 estudos incluídos (Tabelas 3a e 3b) abrangem o período de 2001 a 2024, refletindo o interesse contínuo e a contemporaneidade do tema, com picos de publicação em 2013 (n=3) e 2023 (n=2). A pesquisa apresenta ampla representatividade geográfica, com maior concentração de estudos na Coreia do Sul (n=3), seguida por Espanha (n=2) e Sérvia (n=2). Além disso, contribuições da Dinamarca, Polónia, Venezuela, México, China e Brasil reforçam a expressividade global das investigações sobre os efeitos do descanso pré-abate nos indicadores de estresse e na qualidade da carne suína.

Quanto ao delineamento experimental, predominou o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em todos os estudos para avaliar o impacto direto do tempo de descanso. As amostragens variaram de 24 a 1.174 suínos por estudo. Embora trabalhos como os de Aaslyng e Gade (2001), Dokmanović et al. (2017) e Dalla Costa et al. (2019) utilizem esquemas fatoriais para incluir variáveis como gênero, estação ou jejum, eles permitem isolar os tratamentos que analisassem diferentes tempos de espera sob condições controladas e por isso foram incluídos nesta pesquisa. A análise dos 13 estudos revelou que a duração do descanso pré-abate variou de menos de 30 minutos a 24 horas, compreendendo períodos curtos (< 1 h), intermediários (3–12 h) e prolongados (> 12 h), conforme reportado por Aaslyng e Gade (2001), Pérez et al. (2002), Jerez-Timaure et al. (2013), Roldan-Santiago et al. (2013), Zhen et al. (2013), Dokmanović et al. (2014, 2017), Dalla Costa et al. (2019) e Lee et al. (2023a, b).

Conforme previsto, no âmbito fisiológico, os indicadores de estresse mais frequentemente avaliados foram o cortisol (46,15%), o lactato (38,46%) e a

creatina quinase (CK) (30,76%), refletindo as respostas endócrinas, metabólicas e o desgaste muscular associados ao manejo pré-abate (Pérez et al., 2002; Śmiecińska et al., 2011; García-Celdrán et al., 2012; Zhen et al., 2013; Dokmanović et al., 2014, 2017; Dalla Costa et al., 2019; Lee et al., 2023a).

Quanto aos parâmetros de qualidade da carne, o pH final (24 h) e a cor instrumental (L^* , a^* , b^*) foram os mais prevalentes, presentes em 69,23% dos estudos (Aaslyng e Gade, 2001; Pérez et al., 2002; Śmiecińska et al., 2011; Jerez-Timaure et al., 2013; Zhen et al., 2013; Dokmanović et al., 2014, 2017; Dalla Costa et al., 2019; Lee et al., 2023b; Choi et al., 2024), seguidos pelo pH inicial, avaliado em 61,53% dos trabalhos. No que tange às propriedades hídricas e de textura, a perda por gotejamento (PLG) foi reportada em 53,84% dos artigos, enquanto a capacidade de retenção de água (CRA) e a força de cisalhamento (FC) foram mensuradas em 46,15% dos estudos (Śmiecińska et al., 2011; Jerez-Timaure et al., 2013; Zhen et al., 2013; Dokmanović et al., 2014; Dalla Costa et al., 2019; Lee et al., 2023b; Choi et al., 2024). Por fim, as perdas por cocção foram investigadas em 38,46% dos estudos incluídos nesta revisão.

Tabela 3 a. Caracterização metodológica e desfechos avaliados nos estudos incluídos sobre os efeitos do tempo de descanso pré-abate em suínos.

Autor (Ano)	País / Sistema	Amostragem (N)	Descanso Pré- Abate (H)	Variáveis Analisadas	Conclusão Do Autor
Aaslyng e Gade (2001)	Dinamarca	900 suínos	Exp 1: <30 min, 90 min, >150 min. Exp 2: <30 min, >135 min	pH, temperatura, cor (L*, a*, b*), PLG e reflectância interna	A qualidade da carne é amplamente independente do tempo de descanso pré-abate quando se utiliza manejo de baixo estresse
Pérez et al. (2002)	Espanha	120 suínos	0, 3, 9 e 24 h	Cortisol, lactato, glicose, CK, pH, cor, PLG e lesões	O descanso de 9 h é recomendado para melhorar o bem-estar e a qualidade da carne; períodos de 24 h aumentam o risco de carnes DFD.
Smiecinska et al. (2011)	Polônia	100 suínos	2 h e 24 h	CK, glicose, pH, cor, CRA, perdas e valor de abate	O descanso de 24 h reduziu o estresse glicolítico pré-abate e melhorou a capacidade de retenção de água da carne.
García-Celdrán et al. (2012)	Espanha	48 suínos	< 1 h e 14 h	Cortisol, CK, Lactato, Glicose e pH	O descanso noturno (14 h) reduziu significativamente o estresse fisiológico do transporte, sem afetar negativamente o pH da carne.
Jerez-Timaure et al. (2013)	Venezuela	150 suínos	0-6 h, 6-12 h e 12-18 h	pH, temperatura, cor, lesões na carcaça e rendimento	O descanso entre 6 e 12 h é recomendado para minimizar lesões na carcaça e manter a qualidade da carne.
Roldan-Santiago et al. (2013)	México	1.174 suínos	0, 4, 8, 12 e 24 h	Perfil metabólico, gasometria, eletrólitos e ácido-base	O descanso entre 8 e 12 h é o mais equilibrado para a recuperação metabólica; períodos de 24 h causam desequilíbrio ácido-base severo.
Zhen et al. (2013)	China	40 suínos	0, 3, 8 e 24 h	Cortisol, Glicogênio, ATP, Lactato, pH e Cor	O descanso de 3 h é o ideal para reduzir o estresse e preservar o glicogênio; períodos longos (24 h) causam fadiga metabólica.
Dokmanović et al. (2014)	Sérvia	100 suínos	< 2 h e Longo 14-22 h	Cortisol, Lactato, pH, Cor, PLG e Lesões	O descanso longo reduz o estresse e melhora o pH, mas o manejo agressivo no abate pode anular os benefícios do descanso.

Tabela 3 b. caracterização metodológica e desfechos avaliados nos estudos incluídos sobre os efeitos do tempo de descanso pré-abate em suínos, continuação.

Autor (Ano)	País / Sistema	Amostragem (N)	Descanso Pré-Abate (H)	Variáveis Analisadas	Conclusão Do Autor
Dokmanović et al. (2017)	Sérvia	100 suínos	< 2 h e Longo 14-22 h	Lactato, Cortisol, pH, Cor, PLG, Lesões e Comportamento	O descanso longo reduz o cortisol e o PLG, mas aumenta lesões na pele devido a comportamentos agressivos.
Dalla Costa et al. (2019)	Brasil	960 suínos	1, 3 e 6 h	Cortisol, lactato, pH, cor, lesões e conteúdo estomacal	O descanso de 3 h é o equilíbrio ideal para reduzir o lactato e o risco de carnes PSE sem aumentar lesões por brigas.
Lee et al. (2023a)	Coreia do Sul	24 suínos	6 h e 20 h	Cortisol, serotonina, catecolaminas, glicogénio e lactato	O descanso de 20 h aumentou o cortisol, indicando que períodos longos podem tornar-se um novo fator de stress (fome/isolamento).
Lee et al. (2023b)	Coreia do Sul	40 suínos	0 h e 12 h	Metabolômica (NMR), pH, Cor, Perda por exsudação	O descanso de 12 h promove a estabilidade metabólica e reduz a glicólise rápida, melhorando a qualidade da carne.
Choi et al. (2024)	Coreia do Sul	40 suínos	0 h e 12 h	pH, Cor, TBARS*, ácidos graxos e estabilidade na prateleira	O descanso de 12 h (pernoite) melhora a qualidade inicial e retarda a oxidação lipídica durante o armazenamento refrigerado.

Elaborado pelos autores (2026). TBARS (mg MDA/kg de tecido): Thiobarbituric Acid Reactive Substances. *

3.1.2 Avaliação do Risco de Viés

Ao analisar o risco de viés dos estudos incluídos verificou-se acentuada heterogeneidade metodológica entre os diferentes domínios avaliados (Figura 2). No domínio referente à geração de sequências (D1), observou-se que apenas 3 estudos (23%) foram classificados como baixo risco, enquanto o restante da amostra dividiu-se entre risco moderado (38%) e alto risco (38%), indicando variações importantes na implementação da randomização. Em contrapartida, a maioria expressiva dos trabalhos (92%) apresentou baixo risco de viés nas características básicas (D2), o que sugere que os grupos experimentais estavam devidamente balanceados quanto aos seus parâmetros iniciais.

Observou-se fragilidade consistente nos domínios relacionados ao controle e à ocultação de procedimentos experimentais, especialmente na ocultação de alocação (D3) e no cegamento de cuidadores/pesquisadores (D5), classificados como alto risco na totalidade dos estudos. Esse padrão é recorrente em experimentos com animais conduzidos em condições aplicadas, nos quais a implementação, sobretudo o relato de ocultação e cegamento completo costuma ser logisticamente limitada (Vesterinen et al., 2014). Assim, a evidência disponível deve ser interpretada com cautela, pois a ausência desses procedimentos pode aumentar a probabilidade de vieses sistemáticos (por exemplo, diferenças no manejo e na condução das coletas entre grupos). Em contrapartida, domínios como características básicas (D2) e integridade/retrato dos dados (D8 e D9) apresentaram melhor desempenho global, sugerindo adequada comparabilidade inicial e baixa probabilidade de viés por perdas ou relato seletivo. Considerando esse conjunto, optou-se por manter todos os estudos na síntese quantitativa e tratar o risco de viés como componente de incerteza da evidência, complementando as análises principais com avaliações de robustez por sensibilidade e influência.

No que se refere à avaliação aleatória das variáveis de interesse (D6), o baixo risco de viés foi garantido em 69% dos estudos, enquanto os 31% restantes apresentaram risco moderado. Em contrapartida, o cegamento dos avaliadores de resultados (D7) revelou-se o domínio de maior fragilidade e heterogeneidade metodológica: apenas 31% dos estudos apresentaram baixo risco, enquanto 38% e 31% foram classificados com risco moderado e alto, respectivamente. Em oposição a essas variações, os domínios referentes aos

dados de resultado incompletos (D8) e ao relato seletivo de resultados (D9) demonstraram robustez, com 100% dos estudos classificados como baixo risco em ambos os quesitos.

Por fim, a avaliação de outras fontes de viés (D10) revelou que 31% dos estudos possuíam baixo risco, 46% risco moderado e 23% alto risco. O risco foi atribuído principalmente à omissão de informações sobre variáveis contextuais críticas, como o controle das condições microclimáticas nos currais, a densidade de alojamento e a estabilidade dos grupos sociais durante o descanso

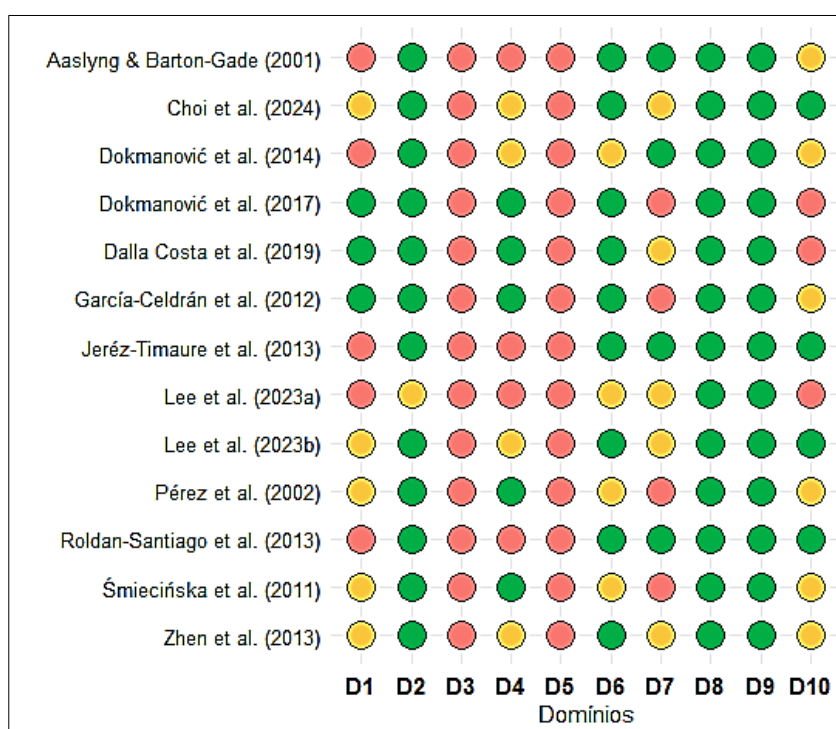


Figura. 2. Avaliação de risco de viés dos estudos incluídos de acordo com a ferramenta do SYRCLE. Nota: Verde: Baixo risco de viés; Amarelo: Risco moderado/incerto de viés; Vermelho: Alto risco de viés. D1: Geração de sequências; D2: Características básicas; D3: Ocultação de alocação; D4: Alojamento aleatório; D5: Cegamento de cuidadores e pesquisadores; D6: Avaliação aleatória das variáveis de interesse; D7: Cegamento dos avaliadores de resultados; D8: Dados de resultado incompletos; D9: Relato seletivo de resultados; D10: Outras fontes de viés. Elaborado pelos autores (2026).

3.2 Metanálise e Metarregressão

3.2.1 Estatística Descritiva

Por meio da análise descritiva inicial mostrou-se elevada amplitude nos indicadores fisiológicos e de qualidade de carne, refletindo a heterogeneidade dos protocolos experimentais incluídos na síntese quantitativa (Tabela 4).

Variáveis indicadoras de estresse agudo e dano muscular, como o lactato (11,49 mmol/L) e a creatina quinase (CK) (2597,08 U/L), apresentaram as maiores dispersões. Essa elevada variabilidade pode ser atribuída à alta sensibilidade desses biomarcadores às condições de manejo pré-abate, incluindo duração e condições do transporte, tempo de descanso, densidade de alojamento, temperatura ambiental e intensidade do manejo. Em razão dessas diferenças entre os protocolos experimentais avaliados, as concentrações de lactato e CK tendem a apresentar ampla variação entre os estudos.

Tabela 4. Estatísticas descritivas dos desfechos contínuos incluídos na metanálise

Variáveis	n	MD	SD	SE	Md ponderada	Min.	máx.
Lactato (mmol/L)	18	11,49	3,58	0,84	11,96	6,11	17,39
CK (U/L)	11	2597,08	993,61	299,58	2495,00	1048,40	4647,40
Cortisol (nmol/L)	18	192,18	101,20	23,85	166,81	54,89	350,89
pH inicial	26	6,38	0,12	0,02	6,34	6,16	6,64
pH final	23	5,64	0,12	0,03	5,61	5,43	5,89
PLG (%)	20	4,36	1,38	0,31	4,07	1,82	6,93
PLC (%)	11	25,75	5,55	1,67	25,10	20,74	36,06
CRA (%)	9	42,73	25,38	8,46	25,10	15,64	69,32
L*	17	53,94	3,71	0,90	54,34	48,40	61,18
a*	22	9,58	3,82	0,81	8,03	6,47	16,51
b*	22	5,42	3,83	0,82	4,14	2,33	13,77
FC (kgf/cm ²)	14	4,25	0,59	0,16	4,34	3,45	5,65

Nota: n = número de grupos experimentais avaliados; MD = média; SD = desvio-padrão; SE = erro-padrão da média; Md ponderada = mediana ponderada; Min. e Máx. = valores mínimo e máximo observados entre os grupos experimentais analisados; CK = creatina quinase; PLG = perda de líquido por gotejamento; PLC = perda de líquido por cocção; CRA = capacidade de retenção de água; L* = luminosidade; a* = intensidade da cor vermelha; b* = intensidade da cor amarela; FC = força de cisalhamento.

Embora tenham sido identificados desvios significativos para a Capacidade de Retenção de Água (CRA) e para os índices de cor a* e b* ($p < 0,05$), a maior parte dos desfechos tecnológicos apresentou distribuição aproximadamente gaussiana. Essa conformidade geral, aliada à análise criteriosa dos resíduos, sustentou a adoção de modelos paramétricos nas etapas de metarregressão e nos modelos de efeitos aleatórios.

A análise de correlação de Pearson (Tabela 5) evidenciou associações consistentes com a dinâmica fisiológica observada durante o período de descanso pré-abate. Foi observada correlação negativa significativa entre o

tempo de descanso e a atividade da creatina quinase (CK) ($r = -0,64$; $p = 0,032$), indicando que períodos mais prolongados de descanso estiveram associados a menores concentrações desse biomarcador. Adicionalmente, verificou-se tendência de correlação positiva entre o tempo de descanso e o pH final ($r = 0,37$; $p = 0,08$), bem como tendência de associação com a capacidade de retenção de água (CRA) ($p = 0,07$), sugerindo possível influência do período de espera sobre parâmetros relacionados à qualidade da carne. Embora essas associações não tenham alcançado significância estatística ao nível de 5%, seus comportamentos direcionais indicam potencial relevância biológica e justificam investigação adicional.

Tabela 5. Correlações de Pearson entre o tempo de descanso pré-abate e indicadores fisiológicos de estresse, injúria muscular e qualidade tecnológica da carne em suínos.

Variáveis	n	P de Pearson	P-valor
Lactato (mmol/L)	18	-0.252	0.312
CK (U/L)	11	-0.643	0.032
Cortisol (nmol/L)	18	-0.120	0.633
pH inicial	26	-0.052	0.800
pH final	23	0.370	0.082
PLG (%)	20	-0.247	0.292
PLC (%)	11	0.0151	0.963
CRA (%)	9	-0.627	0.070
L*	15	-0.017	0.950
a*	18	0.159	0.526
b*	18	-0.167	0.506
FC (kgf/cm ²)	14	0.353	0.214

Nota: média ponderada pelo número de animais (n) em cada grupo. CK: creatina quinase; PLG: perda de líquido por gotejamento; PLC: perda de líquido por cocção; CRA: capacidade de retenção de água; FC: força de cisalhamento

3.2.2 Metanálise

Os tamanhos de efeito padronizados (Hedges' g), apresentados na Tabela 6, evidenciam a magnitude e a direção do impacto do tempo de descanso pré-abate sobre os indicadores fisiológicos de estresse e sobre os atributos tecnológicos da carne suína. Para marcadores clássicos de estresse agudo, como lactato e cortisol, observou-se uma tendência consistente de redução dos

valores médios à medida que o período de descanso aumentou, sugerindo um processo progressivo de recuperação homeostática antes do abate.

A heterogeneidade estatística foi avaliada por meio da estatística Q de Cochrane e do índice I^2 , revelando variações substanciais entre os estudos incluídos. Para a maioria das variáveis fisiológicas, os valores de I^2 ultrapassaram 75%, caracterizando alta heterogeneidade. Essa dispersão reforça a adequação do modelo de efeitos aleatórios, uma vez que as diferenças observadas não se explicam apenas pelo erro amostral, mas refletem também variações biológicas e metodológicas intrínsecas — como diferenças genéticas entre os animais, condições ambientais, sistemas de transporte e particularidades dos protocolos experimentais empregados nos estudos originais.

Tabela 6. Resumo da metanálise (Hedges' g) e indicadores de heterogeneidade estatística

Variáveis	k	Tamanho de Efeito (y)	IC 95%	Q	P-valor (Q)	I^2 (%)	τ^2
Lactato (mmol/L)	12	-0,13	-0,38 a 0,12	76,72	< 0,001	85,7	0,14
CK (U/L)	7	-0,66	-1,11 a -0,22	22,94	< 0,001	73,8	0,24
Cortisol (nmol/L)	11	-0,48	-0,82 a -0,14	79,69	< 0,001	87,5	0,22
pH inicial	17	0,11	-0,03 a 0,24	62,47	< 0,001	74,4	0,05
pH final	13	0,26	0,06 a 0,47	51,78	< 0,001	76,8	0,09
PLG (%)	12	-0,62	-0,94 a -0,30	108,54	< 0,001	89,9	0,24
PLC (%)	6	-0,08	-0,37 a 0,21	28,69	< 0,001	82,6	0,09
CRA (%)	4	0,56	-0,78 a 1,91	113,77	< 0,001	97,4	1,82
L*	9	-0,32	-0,76 a 0,11	49,32	< 0,001	83,8	0,33
a*	10	-0,08	-0,27 a 0,12	22,00	9	59,1	0,04
b*	10	-0,02	-0,12 a 0,07	1,72	>0,99	0,0	0,0
FC (kgf/cm ²)	8	0,22	-0,32 a 0,76	45,15	< 0,001	84,5	0,47

Nota: k: número de contrastes (estudos) incluídos; Tamanho de Efeito (y): estimativa global calculada pelo método de Hedges' g (modelo de efeitos aleatórios); IC 95%: intervalo de confiança de 95%; Q: estatística Q de Cochrane para teste de heterogeneidade; P-valor (Q): significância estatística da heterogeneidade; I^2 (%): índice de inconsistência (porcentagem da variabilidade devida à heterogeneidade entre estudos); τ^2 (tau-quadrado): estimativa da variância entre estudos. CK: creatina quinase; PLG: perda de líquido por gotejamento; PLC: perda de líquido por cocção; CRA: capacidade de retenção de água; FC: força de cisalhamento. L*, a* e b* indicam luminosidade, intensidade de vermelho e intensidade de amarelo, respectivamente.

A estatística tau-quadrado (τ^2) confirmou a presença de variância substancial entre os estudos, indicando que parte expressiva da flutuação nos resultados decorre de heterogeneidade real dos efeitos. Essa constatação motivou a realização de análises de metarregressão, utilizando o tempo de descanso pré-abate como covariável principal. No entanto, verificou-se que a

inclusão do tempo de descanso como moderador reduziu apenas parcialmente a variância residual em diversos modelos, permanecendo uma fração considerável da heterogeneidade não explicada. Essa persistência sugere que outros fatores, além do tempo de descanso, influenciam simultaneamente os desfechos avaliados, evidenciando lacunas relevantes no entendimento dos mecanismos que regulam as respostas fisiológicas e tecnológicas ao manejo pré-abate.

As estimativas globais sintetizadas nos forest plots (Figura 3) evidenciaram efeitos combinados estatisticamente significativos para lactato, creatina quinase (CK) e perda de líquido por gotejamento (PLG), uma vez que os intervalos de confiança dos efeitos agrupados não interceptaram a linha de nulidade. Entretanto, observou-se variabilidade na magnitude e na direção dos efeitos entre os estudos, indicando heterogeneidade entre os resultados individuais.

Para o lactato, verificou-se predomínio de efeitos negativos, especialmente nos subgrupos de Zhen et al. (2013), enquanto Pérez et al. (2002) e o subgrupo de 1,0–3,0 h de Roldan-Santiago et al. (2013) apresentaram efeitos próximos da nulidade. Em contrapartida, Dokmanović et al. (2014; 2017) apresentaram efeitos positivos, contribuindo para a heterogeneidade observada entre os estudos.

Em relação à CK, o efeito combinado foi influenciado principalmente pelos resultados de Śmiecińska et al. (2011) e pelos subgrupos de 8 h e 24 h de Zhen et al. (2013), que apresentaram os maiores tamanhos de efeito. Os demais estudos exibiram efeitos de menor magnitude, alguns próximos da nulidade, evidenciando variabilidade na resposta desse biomarcador em função das diferentes condições experimentais avaliadas.

Para a PLG, observou-se predominância de efeitos negativos, particularmente nos subgrupos de Zhen et al. (2013), enquanto os demais estudos apresentaram magnitudes mais discretas e, em alguns casos, próximas da nulidade. Esse padrão sugere que a resposta da perda de líquido por gotejamento ao tempo de descanso pré-abate pode variar de acordo com as condições de manejo e os protocolos experimentais empregados.

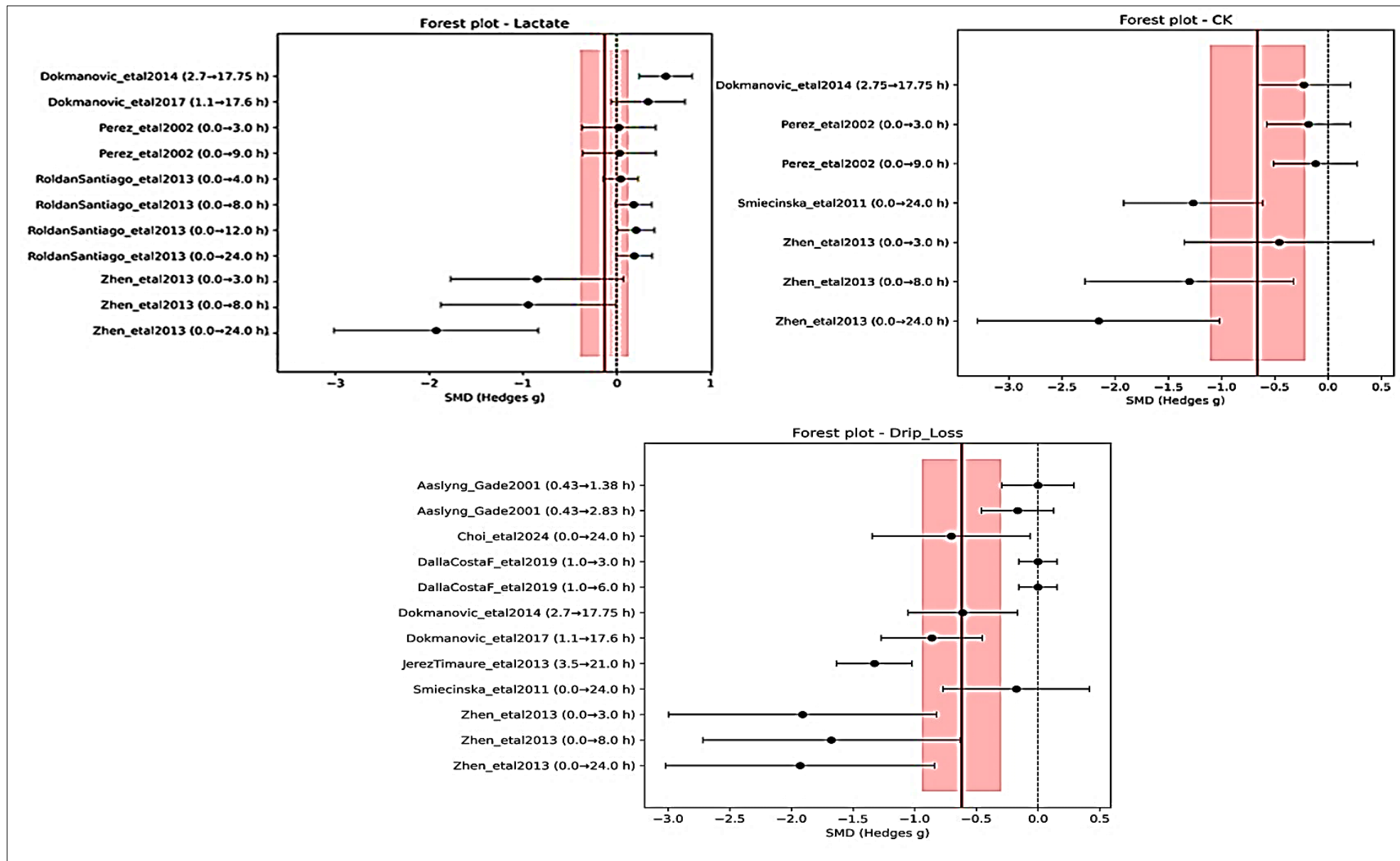


Figura 3. Forest plots dos efeitos do tempo de descanso pré-abate sobre lactato, creatina quinase (CK) e drip loss em suínos, com estimativas de efeito global (SMD de Hedges).

A perda de líquido por gotejamento (PLG) apresentou o padrão mais consistente entre os desfechos avaliados, com predominância de efeitos negativos em grande parte dos estudos. Os maiores tamanhos de efeito foram observados nos subgrupos de Zhen et al. (2013), bem como em Dalla Costa et al. (2019), Dokmanović et al. (2014; 2017) e Jeréz-Timaure et al. (2013). Em contrapartida, Aaslyng e Gade (2001), Choi et al. (2024) e Śmiecińska et al. (2011) apresentaram efeitos mais próximos da nulidade, embora sem alterar a direção do efeito combinado.

Conforme apresentado na Figura 4, os forest plots evidenciaram predominância de efeitos positivos para os parâmetros de pH. Para o pH inicial, os maiores tamanhos de efeito foram observados em Dalla Costa et al. (2019), Śmiecińska et al. (2011) e nos subgrupos de Zhen et al. (2013), enquanto Dokmanović et al. (2014; 2017) e Aaslyng e Gade (2001) apresentaram efeitos próximos da nulidade. Adicionalmente, Pérez et al. (2002) e García-Celdrán et al. (2012) exibiram efeitos negativos de menor magnitude.

De forma semelhante, o pH 24 h apresentou predominância de efeitos positivos, com contribuições mais expressivas de Dalla Costa et al. (2019), Dokmanović et al. (2014), Jeréz-Timaure et al. (2013), Pérez et al. (2002) e dos subgrupos de Zhen et al. (2013). Por outro lado, Aaslyng e Gade (2001), Choi et al. (2024) e Śmiecińska et al. (2011) apresentaram efeitos próximos da nulidade, enquanto alguns subgrupos específicos de Dalla Costa et al. (2019) e Pérez et al. (2002) demonstraram baixa magnitude de efeito.

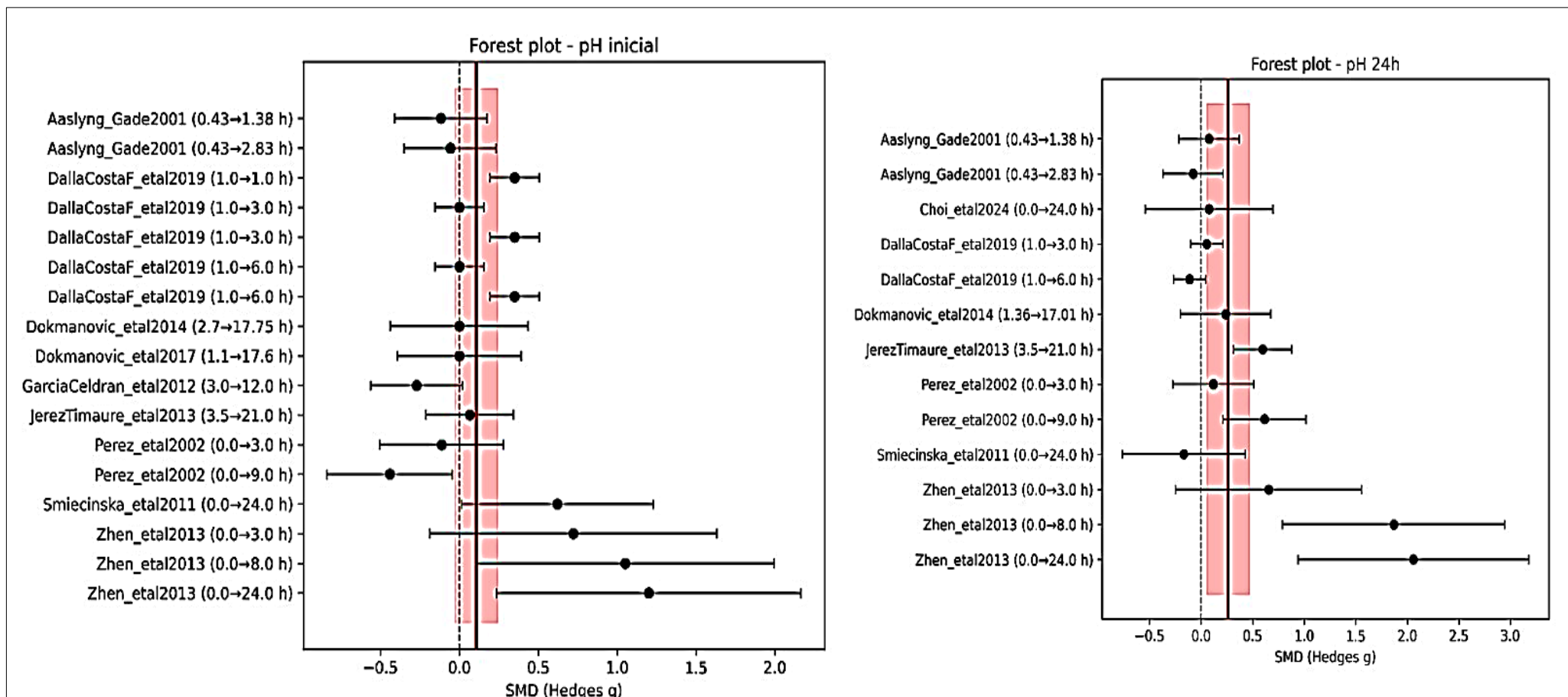


Figura 4. Forest plots dos efeitos do tempo de descanso pré-abate sobre pH inicial e pH final (pH 24h) em suínos, com estimativas de efeito global (SMD de Hedges).

Os resultados indicam efeito global de neutralidade para as variáveis cortisol, L*, CRA, a*, b*, FC e PLC, evidenciado pelo posicionamento do efeito combinado e de seus respectivos intervalos de confiança cruzando a linha de nulidade (Figura 5). Para o cortisol, a maioria dos estudos individuais, incluindo Dalla Costa et al. (2019), Dokmanović et al. (2014, 2017), Perez et al. (2002), Śmiecińska et al. (2011) e todos os subgrupos de Zhen et al. (2013), apresentou resultados de neutralidade, com exceção de Lee et al. (2023b), que evidenciou aumento significativo. De forma semelhante, L* e CRA também demonstraram ausência de efeito global significativo, com aumento pontual em Aaslyng & Gade (2001) para L* e em Jerez-Timaure et al. (2013) para CRA. Para a*, observaram-se redução significativa em Dokmanović et al. (2017) e aumento significativo no subgrupo de 24h de Zhen et al. (2013). Em relação à FC, Śmiecińska et al. (2011) indicou redução significativa, enquanto os subgrupos de 8h e 24h de Zhen et al. (2013) apresentaram aumento significativo. Para PLC, verificou-se redução significativa em Jerez-Timaure et al. (2013) e aumento significativo em Lee et al. (2023b), sem impacto sobre o efeito global.

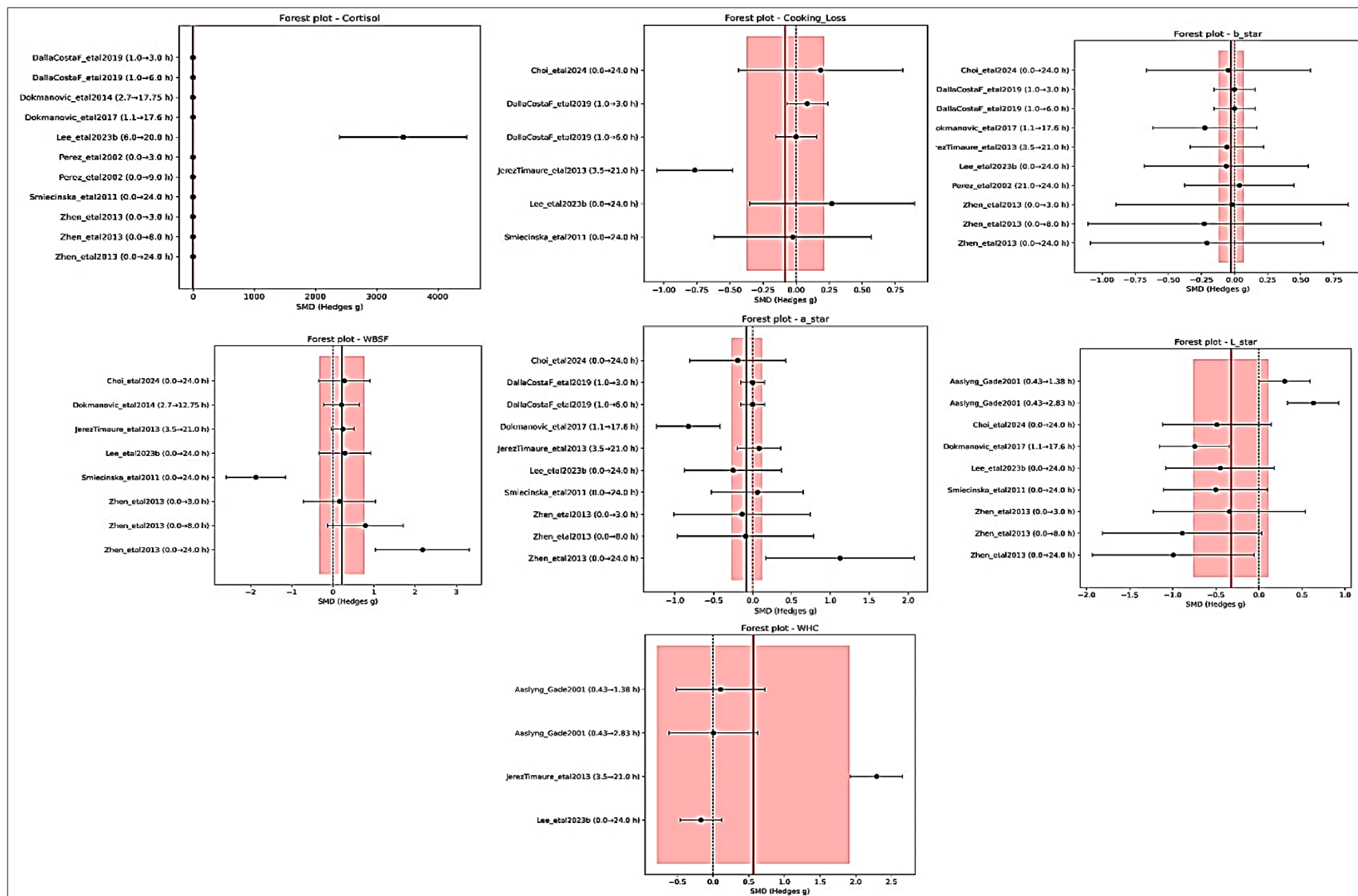


Figura 5. Forest plots dos efeitos do tempo de descanso pré-abate sobre cortisol, perda de líquido por cozimento, coloração (L^* , a^* , b^*), capacidade de retenção de água (WHC) e força de cisalhamento (WBSF) em suínos, com estimativas de efeito global (SMD de Hedges).

3.2.3 Metarregressão

A aplicação dos modelos de metarregressão permitiu quantificar a relação entre o tempo de descanso pré-abate, considerado como covariável contínua, e as variáveis fisiológicas e tecnológicas avaliadas. Os coeficientes angulares estimados expressam a taxa média de variação dos desfechos a cada hora adicional de descanso, sendo sua significância avaliada por meio do teste de Wald. Os parâmetros completos dos modelos, incluindo coeficientes de regressão, erro-padrão, valores de p , heterogeneidade residual (τ^2), inconsistência (I^2), proporção da heterogeneidade explicada (R^2) e critérios de ajuste do modelo, estão apresentados na Tabela 7.

De modo geral, a inclusão do tempo de descanso pré-abate como moderador promoveu redução parcial da variância residual em diversos desfechos, indicando sua contribuição para a compreensão da heterogeneidade observada entre os estudos. Entretanto, para a maioria das variáveis avaliadas, incluindo lactato, creatina quinase (CK), cortisol, pH inicial, capacidade de retenção de água (CRA), força de cisalhamento (FC), perdas por cocção (PLC) e os parâmetros cromáticos a^* e b^* , os coeficientes de regressão não atingiram significância estatística, sugerindo que o tempo de descanso, isoladamente, não explica de forma consistente a variabilidade observada nesses indicadores.

Por outro lado, o lactato apresentou coeficiente negativo ($\beta = -0,033$), indicando uma direção média compatível com redução dos valores à medida que o tempo de descanso aumentou. No entanto, essa relação não foi estatisticamente significativa ($p = 0,356$). Embora tenha sido observada redução da inconsistência entre os estudos (I^2 de 85,66% para 47,93%), o tempo de descanso não explicou parcela significativa da heterogeneidade observada, sugerindo a influência de outros fatores experimentais sobre esse desfecho.

Entre os parâmetros avaliados, a luminosidade da carne (L^*) foi a única variável que apresentou associação estatisticamente significativa com o tempo de descanso pré-abate ($\beta = -0,044$; $p = 0,014$). O coeficiente negativo indica que períodos mais prolongados de descanso estiveram associados à redução dos valores de L^* , sugerindo menor luminosidade da carne. Embora o efeito observado tenha sido de pequena magnitude, o modelo indicou redução expressiva da heterogeneidade residual ($I^2 = 23,63\%$), evidenciando que o tempo

de descanso contribuiu para explicar parte da variabilidade observada entre os estudos para esse parâmetro. Esse resultado sugere que o período de descanso pode influenciar características visuais da carne relacionadas à sua aparência e aceitação comercial, embora a magnitude do efeito observada tenha sido relativamente modesta.

Tabela 7. Resultados dos modelos de Metarregressão avaliando o efeito do tempo de descanso pré-abate sobre variáveis fisiológicas e tecnológicas da qualidade da carne suína.

Variáveis	Modelo	Moderador (h)	β (h^{-1})	EP	p-valor	τ^2	I^2 (%)	R ² meta (%)	AICc	CC C
Lactato (mmol/L)	M0	—	—	—	—	0,139	85,66	0,00	45,00	—
	M1	Tempo de descanso	-0,033	0,034	0,356	0,347	47,93	0,00	40,10	0,18
CK (U/L)	M0	—	—	—	—	0,238	73,84	0,00	21,33	—
	M1	Tempo de descanso	-0,046	0,028	0,160	0,114	37,12	52,31	24,82	0,51
Cortisol (nmol/L)	M0	—	—	—	—	0,225	87,45	0,00	76,23	—
	M1	Tempo de descanso	0,013	0,024	0,597	129,9	166,61	0,00	187,27	0,06
pH inicial (adimensional)	M0	—	—	—	—	0,048	74,39	0,00	17,04	—
	M1	Tempo de descanso	0,003	0,011	0,787	0,038	36,86	20,54	19,96	0,03
CRA (%)	M0	—	—	—	—	1,818	97,36	0,00	28,05	—
	M1	Tempo de descanso	0,039	0,064	0,601	1,807	0,6	0,62	—	0,28
FC (kgf/cm ²)	M0	—	—	—	—	0,474	84,50	0,00	29,56	—
	M1	Tempo de descanso	-0,014	0,051	0,787	0,512	48,10	0,00	34,83	0,01
Perda por Cocção (%)	M0	—	—	—	—	0,090	82,57	0,00	12,73	—
	M1	Tempo de descanso	-0,010	0,018	0,608	0,061	41,59	32,05	22,48	0,03
L*	M0	—	—	—	—	0,334	83,78	86,60	20,87	—
	M1	Tempo de descanso	-0,044	0,014	0,014	0,045	23,63	1197	18,88	0,60
a*	M0	—	—	—	—	0,041	59,08	0,00	15,63	—
	M1	Tempo de descanso	-0,0005	0,015	0,972	0,050	33,42	0,00	19,88	-4
b*	M0	—	—	—	—	0,000	0,00	0,00	-3,99	—
	M1	Tempo de descanso	-0,004	0,003	0,188	0,000	0,00	0,00	-0,06	0,08

Nota: M0 = modelo de efeitos aleatórios sem moderador (modelo nulo); M1 = modelo de metarregressão. β (h^{-1}) = coeficiente de regressão representando a variação média do desfecho para cada aumento de uma hora no tempo de descanso; EP = erro-padrão do coeficiente β ; P-valor = significância estatística do moderador; τ^2 = variância entre estudos (heterogeneidade residual); I^2 = porcentagem da variabilidade total atribuída à heterogeneidade verdadeira entre estudos; R² meta (%) = proporção da heterogeneidade explicada pelo moderador; AICc = critério de informação de Akaike corrigido para amostras pequenas, utilizado para comparação entre modelos; CCC = coeficiente de correlação concordante. CRA = capacidade de retenção de água; FC = força de cisalhamento; L*, a* e b* = coordenadas do

sistema colorimétrico CIELAB. Valores de β negativos indicam redução do parâmetro avaliado com o aumento do tempo de descanso pré-abate, enquanto valores positivos indicam aumento. Resultados estatisticamente significativos foram considerados para $P < 0,05$.

3.2.4 Análises de sensibilidade, de influência e viés de publicação

A robustez dos resultados foi avaliada por meio de análise de sensibilidade do tipo *leave-one-out*, na qual os modelos foram sucessivamente reajustados com a exclusão individual de cada estudo. Essa abordagem demonstrou que as estimativas globais para os principais desfechos, particularmente pH e lactato, não foram dependentes de um conjunto de dados específico. A manutenção consistente da direção e da magnitude dos efeitos, mesmo após a remoção de estudos com grandes tamanhos amostrais ou resultados extremos, reforça a estabilidade estatística e a confiabilidade das inferências obtidas nesta metanálise.

Além do procedimento *leave-one-out*, recomenda-se análise de sensibilidade baseada na qualidade metodológica, estratificando os estudos pela “carga” de alto risco de viés. Um corte prático e reproduzível é excluir, temporariamente, estudos com ≥ 5 domínios classificados como alto risco ($\text{HighCount} \geq 5$) e reestimar os principais desfechos, comparando direção, magnitude do efeito e heterogeneidade (I^2/τ^2) em relação à análise principal. Alternativamente (e de forma mais conservadora), pode-se aplicar o corte apenas aos domínios-chave D1, D3, D5, D7 e D10, excluindo estudos com alto risco em ≥ 3 desses domínios. A manutenção das conclusões sob esses cenários reforça a robustez dos achados; mudanças relevantes indicam sensibilidade ao risco de viés e devem ser refletidas na força das conclusões.

Adicionalmente, foram aplicados diagnósticos de influência, incluindo a Distância de Cook e os valores de *leverage*, com o objetivo de identificar estudos com peso desproporcional sobre as estimativas dos modelos. Embora alguns estudos tenham apresentado resíduos relativamente elevados, atribuídos a particularidades experimentais, a análise confirmou que nenhum ponto isolado exerceu influência excessiva sobre os coeficientes de metarregressão. Dessa forma, os resultados refletem adequadamente a síntese do conjunto de evidências disponíveis, assegurando que as conclusões acerca do tempo ideal de descanso pré-abate estejam fundamentadas em uma base estatística sólida.

A avaliação do viés de publicação foi conduzida para verificar se as estimativas dos modelos de metarregressão poderiam estar distorcidas pela ausência sistemática de estudos com resultados nulos ou desfavoráveis. A inspeção visual dos gráficos *funnel plots* para os desfechos lactato sanguíneo e luminosidade da carne (L^*) revelou uma distribuição aproximadamente simétrica dos estudos em torno da linha de efeito médio global, sugerindo baixa probabilidade de viés de seleção.

Para os modelos de lactato e cor L^* , as análises de sensibilidade do tipo *leave-one-out* confirmaram a estabilidade dos coeficientes de metarregressão, uma vez que a exclusão sucessiva dos estudos manteve a consistência da direção e da magnitude dos coeficientes β associados ao tempo de descanso pré-abate. Complementarmente, os diagnósticos de influência e a inspeção dos resíduos padronizados indicaram que, apesar da heterogeneidade biológica inerente aos diferentes protocolos experimentais, não foram identificados outliers extremos capazes de comprometer a validade das inferências preditivas.

Em conjunto, esses resultados corroboram a robustez metodológica da síntese quantitativa e indicam que as conclusões sobre o tempo ideal de descanso pré-abate são sustentadas por um corpo de evidências estatisticamente estável e livre de viés de publicação relevante.

4. DISCUSSÃO

O descanso pré-abate não deve ser encarado como uma intervenção de efeito uniforme e “instantâneo”, mas como uma janela fisiológica dinâmica, na qual a taxa e a extensão da recuperação metabólica dependem das condições de manejo, do estado dos animais e do ambiente. Evidências experimentais, como as de Aaslyng et al. (2001) e Pérez et al. (2002), indicam que as reduções mais expressivas nos níveis de lactato sanguíneo e as melhorias na capacidade de retenção de água concentram-se nas primeiras horas de repouso, em especial dentro das três primeiras horas, embora a magnitude e o tempo ótimo desses efeitos possam variar conforme o contexto produtivo.

A presente metanálise permite entender essa tendência, ao confirmar que o período de descanso atua como modulador crítico da homeostase, embora sua influência não seja linear. Observou-se uma redução global consistente nos níveis de lactato (Hedges' $g = -0,13$) e creatina quinase (CK) ($g = -0,66$),

acompanhada pela diminuição da perda por gotejamento (PLG) ($g = -0,62$) e uma tendência de estabilização do pH muscular. Em contraste, a neutralidade verificada nos níveis de cortisol ($g = -0,48$), bem como nos parâmetros de cor e textura, sugere que o tempo de descanso, isoladamente, não é suficiente para compensar manejos agressivos, transporte extenuante ou variabilidade genética.

Embora o descanso pré-abate contribua para a recuperação fisiológica, ele não reverte os efeitos de estressores severos ocorridos no manejo anterior. Estudos mostram que transporte prolongado, manejo agressivo e mistura social causam depleção de glicogênio e ativação persistente do eixo hipotálamo–hipófise–adrenal (HPA) efeitos apenas parcialmente atenuados pelo repouso (Warriss, 2003; Grandin, 2014; Faucitano, 2018). Além disso, diferenças genéticas influenciam a susceptibilidade ao estresse, com linhagens mais reativas apresentando respostas mais intensas independentemente do descanso (Pérez et al., 2002; Dokmanović et al., 2014). Assim, o descanso é relevante, mas insuficiente isoladamente dentro do manejo pré-abate.

Dessa forma, os resultados não apontam para um “tempo ideal” universal, mas sim para uma faixa fisiológica de maior benefício, situada entre 3 e 12 horas. Após esse intervalo, observa-se um platô nos efeitos positivos, indicando que extensões adicionais do tempo de espera não promovem ganhos proporcionais na qualidade da carne

4.1 Recuperação Fisiológica e Padrões Não Lineares

Com base nos resultados desta metanálise e nas evidências complementares da literatura, não foi possível estabelecer um tempo único e universal de descanso pré-abate considerado ideal para suínos. Entretanto, os dados sugerem a existência de uma faixa temporal associada a melhores respostas fisiológicas e tecnológicas, bem como limites abaixo ou acima dos quais os benefícios tendem a ser reduzidos.

Os resultados indicam que períodos muito curtos de descanso (< 2 horas) podem ser insuficientes para a recuperação fisiológica após o transporte, uma vez que os animais permanecem sob os efeitos agudos do estresse, caracterizados por maiores concentrações de lactato, maior atividade muscular

e maior risco de alterações indesejáveis na qualidade da carne. Nessa condição, a recuperação metabólica ainda não foi plenamente estabelecida.

Por outro lado, períodos excessivamente longos de descanso (> 18–20 horas) tendem a reduzir ou mesmo reverter os benefícios observados nas primeiras horas. Evidências de Lee et al. (2023) demonstram aumento secundário das concentrações de cortisol após aproximadamente 20 horas de permanência nas pocilgas de descanso, indicando substituição progressiva do estresse agudo do transporte por um estado de estresse associado ao jejum prolongado, à fadiga e às interações sociais decorrentes da mistura de lotes. Resultados de Roldan-Santiago et al. (2013) corroboram essa interpretação ao relatarem alterações ácido-base e metabólicas em animais submetidos a longos períodos sem alimentação.

Dessa forma, os achados sugerem que a faixa compreendida entre aproximadamente 3 e 8 horas de descanso representa a condição mais favorável para equilibrar recuperação fisiológica, bem-estar animal e manutenção da qualidade da carne. Nesse intervalo, concentram-se os principais ganhos relacionados à redução de indicadores de estresse, sem que os efeitos negativos do jejum prolongado se tornem predominantes.

Assim, os resultados sustentam a existência de uma janela biológica de benefício situada entre 3 e 8 horas de descanso pré-abate, enquanto períodos inferiores a 2 horas podem ser considerados insuficientes para recuperação adequada e períodos superiores a 18–20 horas devem ser considerados limites críticos, pois podem favorecer o surgimento de novos fatores estressores. Todavia, essa faixa deve ser interpretada com cautela, uma vez que fatores como genética, duração do transporte, condições ambientais, densidade de alojamento e manejo prévio podem modificar substancialmente a resposta dos animais.

4.2 Integração entre Bem-estar Animal e Qualidade Tecnológica

O período de descanso pré-abate exerce papel central na preservação das reservas de glicogênio muscular, determinantes para a trajetória metabólica inicial após o abate. Os resultados desta metanálise indicam que períodos intermediários de descanso contribuem para maior estabilidade energética do músculo, prevenindo a glicólise acelerada e favorecendo um declínio de pH mais

controlado ($\text{pH}_{24\text{h}}$, $g = 0,26$). Esse padrão é coerente com os achados de Lee et al. (2023b), que, por meio de análises metabolômicas, demonstraram que suínos submetidos a repouso adequado apresentaram menores concentrações de metabólitos associados à degradação de purinas, como inosina e hipoxantina, indicando menor estresse metabólico no período post mortem.

Essa estabilização metabólica reflete-se diretamente nos parâmetros de qualidade tecnológica. A presente metanálise identificou redução significativa da perda por gotejamento (PLG) ($g = -0,62$), confirmando que o repouso contribui para maior capacidade de retenção de água. De forma consistente, Zhen et al. (2013) observaram que apenas 3 horas de descanso retardaram a degradação do glicogênio e reduziram a PLG em comparação a animais abatidos imediatamente após a chegada. Em seus estudos Aaslyng et al. (2001) também destacaram que a melhora na retenção de água e a redução da exsudação são consequências diretas do repouso, uma vez que o estresse reduzido minimiza a desnaturação proteica associada à queda abrupta do pH enquanto a carcaça ainda se encontra em temperaturas elevadas.

A conexão entre bem-estar animal e rentabilidade industrial é, portanto, direta: menores níveis de estresse residual resultam em carnes com características sensoriais e tecnológicas superiores. Śmiecińska et al. (2011) associaram o repouso à redução da atividade da enzima creatina quinase (CK), correlacionando o menor dano muscular a uma carne de melhor textura e menor incidência de anomalias como PSE (pale, soft, exudative). De forma complementar, Jerez-Timaure et al. (2013) demonstraram que tempos intermediários (3–4 h) são suficientes para assegurar carcaças com pH e coloração adequados, sem necessidade de esperas prolongadas que poderiam comprometer o rendimento industrial.

Dessa forma, a integração entre os resultados desta metanálise e as evidências da literatura confirma que o repouso pré-abate não constitui apenas uma medida ética de bem-estar animal, mas também uma etapa tecnológica essencial para garantir a funcionalidade proteica, a estabilidade metabólica e a qualidade final do produto.

4.3 O Papel do Cortisol na Evidência Global

Um dos pontos mais relevantes para a interpretação crítica destes resultados é a ausência de uma resposta global significativa nos níveis de cortisol, apesar das melhorias observadas em outros marcadores fisiológicos. Os resultados desta metanálise mostraram neutralidade estatística para esse hormônio (Hedges' $g = -0,48$), em contraste com reduções consistentes em lactato e creatina quinase (CK). Essa discrepância não implica necessariamente ineficácia do descanso, mas reflete a alta variabilidade e a natureza pulsátil do cortisol como biomarcador de estresse agudo.

Essa variabilidade é confirmada por diferentes estudos. Em seus estudos Śmiecińska et al. (2011) observaram que 24 h de tempo de descanso pré-abate, reduziram os níveis de cortisol em comparação ao abate imediato, mas sem impacto claro na qualidade da carne. Zhen et al. (2013) relataram que 3 h de descanso foram suficientes para reduzir significativamente o cortisol circulante, mas períodos mais longos (8–24 h) não trouxeram benefícios adicionais. De forma semelhante, Pérez et al. (2002) identificaram reduções de cortisol e glicose após 3 h de tempo de descanso pré-abate, mas sem manutenção desse efeito em tempos prolongados. Esses achados reforçam que o cortisol responde de forma aguda e não linear, sendo altamente sensível ao momento da coleta.

Além disso, fatores externos modulam fortemente essa resposta. Conforme Dalla Costa et al. (2019) demonstraram, as variáveis como sazonalidade e intervalo de jejum prévio influenciam a resposta endócrina, podendo “diluir” o efeito isolado do tempo de descanso pré-abate. Por outro lado, Lee et al. (2023a) mostraram que após 20 h de tempo de descanso pré-abate, o cortisol plasmático volta a subir, indicando que o estresse crônico do confinamento substitui o estresse agudo do transporte.

Portanto, nesta metanálise, o cortisol deve ser interpretado como um indicador que reflete o estresse acumulado nos minutos imediatamente anteriores à insensibilização, e não como um marcador cumulativo da recuperação fisiológica durante o período de espera. Essa característica explica a discrepância observada entre os níveis de cortisol e marcadores de recuperação metabólica mais estáveis, como lactato e CK, que refletem de forma mais fiel os benefícios da janela fisiológica de descanso ($I^2 = 87,5\%$).

4.4 Limitações da Evidência Disponível

Apesar da robustez dos modelos estatísticos aplicados nesta metanálise, o conhecimento científico sobre o manejo pré-abate ainda se apresenta fragmentado, e a interpretação dos resultados deve considerar essa característica. Todos os estudos incluídos concentraram-se na variável tempo de espera pré-abate, o que foi fundamental para a análise e permitiu consolidar evidências comparáveis entre diferentes contextos. No entanto, essa ênfase cronológica evidencia também uma limitação da literatura disponível: fatores ambientais e de manejo nem sempre foram descritos ou controlados com o mesmo nível de detalhe, embora sejam igualmente determinantes para o bem-estar animal e a qualidade da carne.

Uma limitação central da evidência atual é que não é possível definir um único tempo de espera pré-abate ideal para todas as situações. Os estudos indicam que diferentes durações de descanso podem gerar benefícios ou prejuízos dependendo das condições de chegada dos animais ao abatedouro. Fatores como densidade nos currais, mistura de lotes sociais e estabilidade dos grupos influenciam diretamente o bem-estar, podendo intensificar comportamentos agressivos e lesões cutâneas (Śmiecińska et al., 2011; Pérez et al., 2002).

Nos estudos de Dokmanović et al. (2014, 2017), observa-se que a resposta ao descanso não pode ser dissociada do contexto físico e social. De forma semelhante, em sistemas de baixo estresse, como no Experimento 2 de Aaslyng & Barton Gade (2001), o efeito do tempo de espera mostrou-se condicionado às condições ambientais e ao manejo adotado, reforçando que o tempo ótimo deve ser entendido como uma variável adaptativa, ajustada à realidade local, e não como um parâmetro universal fixo.

Além disso, a elevada heterogeneidade estatística observada em parâmetros críticos desta metanálise ($I^2 > 75\%$ para a maioria das variáveis) provavelmente reflete a influência de fatores ambientais e operacionais que nem sempre foram adequadamente descritos nos estudos incluídos, especialmente aqueles relacionados ao microclima dos currais de espera. Poucos trabalhos relataram de forma detalhada aspectos como sazonalidade, temperatura ambiente, ventilação e sistemas de resfriamento. Segundo Dalla Costa et al.

(2019), sem a padronização de fatores como ventilação, nebulização e temperatura, o próprio conceito de "tempo de espera" torna-se relativo, uma vez que uma hora de permanência sob condições de estresse térmico intenso pode representar um desafio fisiológico substancialmente maior do que uma hora em ambiente termicamente confortável. Dessa forma, os efeitos atribuídos ao tempo de descanso devem ser interpretados em conjunto com as condições ambientais às quais os animais foram submetidos, uma vez que esses fatores podem modificar significativamente as respostas fisiológicas, comportamentais e os parâmetros de qualidade da carne.

4.5 Implicações Práticas, Científicas e Direções Futuras

A aplicação prática dos resultados desta metanálise à rotina industrial sugere que a definição de um tempo de descanso pré-abate não deve basear-se em valores fixos, mas em critérios adaptativos que considerem as condições ambientais, logísticas e operacionais de cada sistema de produção. A eficiência do período de descanso depende fortemente de fatores como duração do transporte, densidade de alojamento, temperatura ambiente, ventilação e condições de manejo, os quais podem modificar substancialmente as respostas fisiológicas e comportamentais dos animais. Nesse contexto, os resultados permitem identificar três zonas gerais de resposta biológica e tecnológica:

- Zona de Risco (< 3 h): Períodos de descanso muito curtos, ou a ausência total, representam alto risco de comprometimento da qualidade da carne. O estresse agudo do transporte e do manejo prévio não recuperados mantém níveis elevados de lactato sanguíneo e acelera a glicólise post mortem, predispondo a carcaça à ocorrência de carne PSE (Pérez et al., 2002; Zhen et al., 2013; Dokmanović et al., 2014). Além disso, manejos agressivos nessa fase podem elevar rapidamente o cortisol, anulando qualquer tentativa de estabilização fisiológica.
- Zona de equilíbrio (3–12 h): Este intervalo representa a faixa segura entre recuperação metabólica e bem-estar animal. Mesmo após transportes curtos, o descanso dentro desta janela estabiliza marcadores de estresse e a homeostase muscular, garantindo atributos tecnológicos superiores (García-Celdrán et al., 2012; Jerez-Timaure et al., 2013; Roldan-Santiago et al., 2013; Dalla Costa et al., 2019; Lee et al., 2023b; Choi et al., 2024).

Jerez-Timaure et al. (2013) recomendam especificamente o intervalo de 6 a 12 horas como o mais adequado para reduzir lesões na carcaça e manter a qualidade da carne, sem necessidade de prolongar o descanso além desse limite.

- Zona de Alerta (> 12 h): Descansos prolongados introduzem riscos adicionais. A mistura social de lotes desconhecidos e o confinamento excessivo aumentam agressividade e lesões cutâneas (Dokmanović et al., 2017), resultando em novos picos de cortisol por estresse social e de fome (Lee et al., 2023a). Nessas condições, observa-se desequilíbrio ácido-base (Roldan-Santiago et al., 2013), e períodos superiores a 12–18 horas podem comprometer a estabilidade oxidativa dos lipídios, afetando negativamente a conservação da carne (Pérez et al., 2002; Choi et al., 2024).

O descanso pré-abate exerce papel crucial na preservação do glicogênio muscular, determinante da estabilidade metabólica. Lee et al. (2023b), por meio de análises metabolômicas, demonstraram que suínos descansados apresentam níveis significativamente menores de metabólitos de degradação de purinas (inosina e hipoxantina), indicando maior preservação da energia muscular. Essa reserva metabólica impede quedas abruptas do pH e se reflete em parâmetros essenciais, como capacidade de retenção de água e redução da perda por gotejamento (Zhen et al., 2013; Aaslyng & Gade, 2001).

A relação entre bem-estar e rentabilidade é direta: menores níveis de estresse residual reduzem a atividade da enzima creatina quinase (CK), diminuindo dano muscular e incidência de anomalias qualitativas (Śmiecińska et al., 2011). Contudo, essa resposta é modulada por fatores externos; conforme Dalla Costa et al. (2019), a sazonalidade e o jejum prévio na granja interagem com o período de descanso, exigindo protocolos flexíveis de acordo com a época do ano.

Os achados desta metanálise reforçam a necessidade de abordagens mais individualizadas e baseadas em evidências para o manejo pré-abate. Nesse contexto, ferramentas de monitoramento em tempo real, associadas ao uso de sensores, sistemas automatizados de coleta de dados e biomarcadores fisiológicos, podem contribuir para uma avaliação mais precisa das condições de bem-estar dos animais e de sua recuperação após o transporte (Lee et al.,

2023b). Essa perspectiva permite superar abordagens baseadas exclusivamente em tempos fixos de descanso, reconhecendo que as respostas dos suínos dependem da interação entre fatores biológicos, ambientais e operacionais. Assim, o período de descanso pré-abate deve ser compreendido como uma etapa dinâmica do manejo, cuja eficiência está relacionada não apenas à sua duração, mas também às condições em que é realizado.

5. CONCLUSÃO

Os achados desta metanálise demonstram a inexistência de um tempo de descanso pré-abate universalmente ideal. A eficácia do repouso é contextual, sendo modulada por fatores como densidade nos currais, microclima, manejo humanitário, histórico de transporte e condições ambientais especialmente em regiões tropicais de alta temperatura e umidade. O descanso deve ser compreendido não apenas como uma medida de recuperação, mas também como uma variável de risco: períodos excessivos podem desencadear estresse secundário por fome, sede e agressividade, levando à exaustão metabólica e ao comprometimento da qualidade da carne; em contrapartida tempos de espera excessivamente curtos impedem a dissipação do estresse do transporte, prejudicando igualmente os atributos tecnológicos do produto.

A recomendação científica atual preconiza um manejo dinâmico e adaptativo, que priorize o monitoramento do estado fisiológico e comportamental dos animais em tempo real em detrimento do simples controle cronológico, assegurando, simultaneamente, o bem-estar animal e a excelência tecnológica. Nesse contexto, diferentes ferramentas e estratégias podem ser incorporadas ao manejo para orientar decisões mais precisas sobre o tempo de descanso. Entre elas destacam-se o uso de indicadores fisiológicos de fácil mensuração (como temperatura superficial e frequência respiratória), a observação sistemática de comportamentos indicativos de estresse ou fadiga, e a adoção de sistemas de monitoramento ambiental que permitam ajustar o manejo às condições térmicas do momento. Em conjunto, esses elementos possibilitam que o período de descanso seja definido de forma responsiva, considerando o estado real dos animais e não apenas um intervalo fixo de horas.

6. REFERÊNCIAS

- AASLYNG, M. D.; GADE, P. B. Low stress pre-slaughter handling: effect of lairage time on the meat quality of pork. **Meat Science**, v. 57, p. 87–92, 2001.
- CHOI, M.; LEE, D.; LEE, H. J.; NAM, K. C.; MOON, S. S.; JUNG, J. H.; JO, C. The impact of overnight lairage on meat quality and storage stability of pork loin. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 66, p. 412–424, 2024.
- DALLA COSTA, F. A.; DALLA COSTA, O. A.; FEDERN, V.; COLDEBELLA, A.; MONTEIRO DE LIMA, G. J.; FERRAUDO, A. S. How do season, on-farm fasting interval and lairage period affect swine welfare, carcass and meat quality traits? **International Journal of Biometeorology**, v. 63, p. 1497–1505, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1527-1>.
- DALLA COSTA, F. A.; DEVILLERS, N.; PARANHOS DA COSTA, M. J. R.; FAUCITANO, L. Effects of applying preslaughter feed withdrawal at the abattoir on behaviour, blood parameters and meat quality in pigs. **Meat Science**, v. 119, p. 89–94, 2016.
- DOKMANOVIĆ, M.; IVANOVIĆ, J.; JANJIĆ, J.; BOŠKOVIĆ, M.; LAUDANOVIĆ, M.; PANTIĆ, S.; BALTIĆ, M. Ž. Effect of lairage time, behaviour and gender on stress and meat quality parameters in pigs. **Animal Science Journal**, v. 88, p. 500–506, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/asj.12649>.
- DOKMANOVIĆ, M.; VELARDE, A.; TOMOVIĆ, V.; GLAMOČLIJA, N.; MARKOVIĆ, R.; JANJIĆ, J.; BALTIĆ, M. Ž. The effects of lairage time and handling procedure prior to slaughter on stress and meat quality parameters in pigs. **Meat Science**, v. 98, p. 220–226, 2014.
- EDWARDS, L. N.; GRANDIN, T.; ENGLE, T. E.; PORTER, S. P.; RITTER, M. J.; SOSNICKI, A. A.; ANDERSON, D. B. Use of exsanguination blood lactate to assess the quality of pre-slaughter pig handling. **Meat Science**, v. 86, p. 384–390, 2010.
- EUROPEAN UNION. Council Regulation (EC) No 1099/2009 of 24 September 2009 on the protection of animals at the time of their killing. **Official Journal of the European Union**, L303, p. 1–30, 2009.
- FÀBREGA, E.; MANTECA, X.; FONT, J.; GISPERT, M.; CARRIÓN, D.; VELARDE, A.; RUIZ-DE-LA-TORRE, J. L.; DIESTRE, A. Effects of halothane gene and pre-slaughter treatment on meat quality and welfare from two pig crosses. **Meat Science**, v. 62, p. 463–472, 2002.
- FAUCITANO, L. Preslaughter handling practices and their effects on animal welfare and pork quality. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 2, p. 728–738, 2018.
- FORTIN, A. The effect of transport time from the assembly yard to the abattoir and resting time at the abattoir on pork quality. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 82, p. 141–150, 2002.
- GARCÍA-CELDRÁN, M.; RAMIS, G.; QUEREDA, J. J.; ARMERO, E. Reduction of transport-induced stress on finishing pigs by increasing lairage time at the slaughterhouse. **Journal of Swine Health and Production**, v. 20, p. 118–122, 2012.

GRANDIN, T. Animal welfare and society concerns: finding the missing link. **Meat Science**, v. 98, n. 3, p. 461–469, 2014.

GUÀRDIA, M. D.; ESTANY, J.; ÁLVAREZ-RODRÍGUEZ, J.; MANTECA, X.; TOR, M.; OLIVER, M. A.; GISPERT, M.; DIESTRE, A. A field assessment of the effect of pre-slaughter conditions and genetic-stress susceptibility on blood welfare indicators in pigs. **Animal Welfare**, v. 21, p. 517–526, 2012.

HAMBRECHT, E.; EISSEN, J. J.; NEWMAN, D. J.; SMITS, C. H. M.; VERSTEGEN, M. W. A.; DEN HARTOG, L. A. Preslaughter handling effects on pork quality and glycolytic potential in two muscles differing in fiber type composition. **Journal of Animal Science**, v. 83, p. 900–907, 2005.

HONKAVAARA, M. Influence of lairage on blood composition of pig and on the development of PSE pork. **Journal of Agricultural Science in Finland**, v. 61, p. 425–432, 1989.

HOOIJMANS, C. R.; ROVERS, M. M.; DE VRIES, R. B.; LEENAARS, M.; RITSKES-HOITINGA, M.; LANGENDAM, M. W. SYRCLE's risk of bias tool for animal studies. **BMC Medical Research Methodology**, v. 14, p. 43–52, 2014.

HUMPHREYS, J. L.; CARLSON, M. S.; LORENZEN, C. L. Dietary supplementation of magnesium sulfate and sodium bicarbonate and its effect on pork quality during environmental stress. **Livestock Science**, v. 125, p. 15–21, 2009.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Sistema Internacional de Unidades (SI). Brasília: Inmetro, 2025. 1 recurso eletrônico.

JAMA, N.; MAPHOSA, V.; HOFFMAN, L. C.; MUCHENJE, V. Effect of sex and time to slaughter (transportation and lairage duration) on the levels of cortisol, creatine kinase and subsequent relationship with pork quality. **Meat Science**, v. 116, p. 43–49, 2016.

JERÉZ-TIMAURE, N.; DE MORENO, L. A.; SÚLBARAN, M.; UZCÁTEGUI, S. Influence of the rest time on carcass quality and pork meat characteristics. **Cuban Journal of Agricultural Science**, v. 47, p. 55–60, 2013.

KYRIAZAKIS, I.; DOKOU, S.; TAYLOR, J.; GIANNENAS, I.; MURPHY, E. A meta-analysis of the sources of variation in the environmental impacts of different broiler production systems. **British Poultry Science**, v. 66, p. 193–205, 2025.

LEE, D.; LEE, H.; NAM, K.; JUNG, D.; KIM, J.; JUNG, J.; MOON, S.; JO, C. Metabolomic approach to understand the effect of lairage on the quality of pork loin. **Meat and Muscle Biology**, v. 7, p. 1–13, 2023a.

LEE, J.; KANG, D.; SHIM, K. Effect of lairage time prior to slaughter on stress in pigs: a path analysis. **Porcine Health Management**, v. 9, p. 55, 2023b.

LUNDSTRÖM, K.; MALMFORS, B.; MALMFORS, G.; STERN, S. Meat quality in boars and gilts after immediate slaughter or lairage for 2 hours. **Swedish Journal of Agricultural Research**, v. 17, p. 51–56, 1987.

MANALO, M. R.; GABRIEL, A. A. Influence of antemortem and slaughtering practices on the pH of pork and chicken meats. **Philippine Journal of Science**, v. 149, p. 1–19, 2020.

MILLIGAN, S. D.; RAMSEY, C. B.; MILLER, M. F.; KASTER, C. S.; THOMPSON, L. D. Resting of pigs and hot-fat trimming and accelerated chilling of carcasses to improve pork quality. **Journal of Animal Science**, v. 76, p. 74–86, 1998.

MOTA-ROJAS, D.; BECERRIL, M.; LEMUS, C.; SÁNCHEZ, P.; GONZÁLEZ, M.; OLMOS, S. A.; RAMÍREZ, R.; ALONSO-SPILSBURY, M. Effects of mid-summer transport duration on pre- and post-slaughter performance and pork quality in Mexico. **Meat Science**, v. 73, p. 404–412, 2006.

MOTA-ROJAS, D.; BECERRIL, M.; LEMUS, C.; SÁNCHEZ, P.; GONZÁLEZ, M.; OLMOS, S.; RAMÍREZ, R.; ALONSO-SPILSBURY, M. Effects of pre-slaughter transport, lairage and sex on pig chemical serologic profiles. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 8, p. 246–250, 2009.

OWEN, B. L.; MONTGOMERY, J. L.; RAMSEY, C. B.; MILLER, M. F. Preslaughter resting and hot-fat trimming effects on the incidence of pale, soft and exudative (PSE) pork and ham processing characteristics. **Meat Science**, v. 54, p. 221–229, 2000.

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. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, p. 1–9, 2021.

PÉREZ, M. P.; PALACIO, J.; SANTOLARIA, M. P.; ACEÑA, M. C.; CHACÓN, G.; GASCÓN, M.; CALVO, J. H.; ZARAGOZA, P.; BELTRÁN, J. A.; GARCÍA-BELENQUER, S. Effect of transport time on welfare and meat quality in pigs. **Meat Science**, v. 61, n. 4, p. 425–433, 2002.

PÉREZ, M. P.; PALACIO, J.; SANTOLARIA, M. P.; ACEÑA, M. C.; CHACÓN, G.; VERDE, M. T.; CALVO, J. H.; ZARAGOZA, M. P.; GASCÓN, M.; GARCÍA-BELENQUER, S. Influence of lairage time on some welfare and meat quality parameters in pigs. **Veterinary Research**, v. 33, p. 239–250, 2002.

RABASTE, C.; FAUCITANO, L.; SAUCIER, L.; MORMÈDE, P.; CORREA, J. A.; GIGUÈRE, A.; BERGERON, R. The effects of handling and group size on welfare of pigs in lairage and their influence on stomach weight, carcass microbial contamination and meat quality. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 87, p. 51–62, 2007.

ROCHA, L. M.; DIONNE, A.; SAUCIER, L.; NANNONI, E.; FAUCITANO, L. Hand-held lactate analyzer as a tool for the real-time measurement of physical fatigue before slaughter and pork quality prediction. **Animal**, v. 9, p. 707–714, 2015.

ROCHA, L. T.; CARVALHO, P. L. O.; LIMA, J. P. S.; AZEVEDO, L. B.; CARVALHO, S. T.; GENOVA, J. L.; FAUCITANO, L. Effects of stocking density in the pen and lairage time on blood stress indicators, skin lesion scores, and pork meat quality. **Animals**, v. 15, p. 634, 2025.

ROLDAN-SANTIAGO, P.; MOTA-ROJAS, D.; GUERRERO-LEGARRETA, I.; MORA-MEDINA, P.; BORDERAS-TORRESILLAS, F.; ALARCÓN-ROJO, A. D.; FLORES-PEINADO, S.; OROZCO-GREGORIO, H.; MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, R.; TRUJILLO-ORTEGA, M. E. Animal welfare of barrows with different antemortem lairage times without food. **Veterinární Medicina**, v. 58, p. 305–311, 2013.

- SALAJPAL, K.; DIKIĆ, M.; KAROLYI, D.; SINJERI, Z.; LIKER, B.; KOSTELIĆ, A. Blood serum metabolites and meat quality in crossbred pigs experiencing different lairage time. **Italian Journal of Animal Science**, v. 4, p. 119–121, 2005.
- ŚMIECIŃSKA, K.; DENABURSKI, J.; SOBOTKA, W. Slaughter value, meat quality, creatine kinase activity and cortisol levels in the blood serum of growing-finishing pigs slaughtered immediately after transport and after a rest period. **Polish Journal of Veterinary Sciences**, v. 14, p. 47–54, 2011.
- SOBRAL, V. S.; SILVEIRA, R. M. F.; GUESINE, G. D.; ARNO, A.; DE AZEVEDO, K. A. M.; LOBOS, C. M. V.; DA SILVA, I. J. O. Implications of lairage and environmental enrichment on behavioral responses and skin lesions in finishing pigs in a slaughterhouse. **Animals**, v. 14, p. 1591, 2024.
- SZILÁGYI, M.; TAKÁCS, I.; KOVÁCS, A. B. Correlation between some serum parameters, pre-slaughter stress and occurrence of PSE meat in pigs. **Acta Veterinariae Academiae Scientiarum Hungaricae**, v. 29, n. 2, p. 165–172, 1981.
- VAN DE PERRE, V.; CEUSTERMANS, A.; LEYTEN, J.; GEERS, R. The prevalence of PSE characteristics in pork and cooked ham: effects of season and lairage time. **Meat Science**, v. 86, p. 391–397, 2010b.
- VAN DE PERRE, V.; PERMENTIER, L.; DE BIE, S.; VERBEKE, G.; GEERS, R. Effect of unloading, lairage, pig handling, stunning and season on pH of pork. **Meat Science**, v. 86, p. 931–937, 2010a.
- VAN DER WAL, P. G.; ENGEL, B.; HULSEGGE, B. Causes for variation in pork quality. **Meat Science**, v. 46, p. 319–327, 1997.
- WARRISS, P. D. Optimal lairage times and conditions for slaughter pigs: a review. **Veterinary Record**, v. 153, n. 6, p. 170–176, 2003.
- WARRISS, P. D.; BROWN, S. N.; EDWARDS, J. E.; KNOWLES, T. G. Effect of lairage time on levels of stress and meat quality in pigs. **Animal Science**, v. 66, p. 255–261, 1998.
- WARRISS, P. D.; BROWN, S. N.; KNOWLES, T. G. Measurements of the degree of development of rigor mortis as an indicator of stress in slaughtered pigs. **Veterinary Record**, v. 153, p. 739–742, 2003.
- ZHANG, W.; JIANG, Y.; SHANG, Z.; NAN, Z.; TAO, G.; ZHANG, T.; HU, K.; LI, Y.; SHI, X.; ZHANG, Y.; YANG, J.; MA, B.; YANG, K. The methodological quality of animal studies: a cross-sectional study based on the SYRCLE's risk of bias tool. **bioRxiv**, p. 1–23, 2019.
- ZHAO, H.; ZHEN, S.; REN, F.; CUI, J. Effects of lairage time and stunning on stress and the meat quality of pigs. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 29, p. 272–277, 2013.
- ZHEN, S.; LIU, Y.; LI, X.; GE, K.; CHEN, H.; LI, C.; REN, F. Effects of lairage time on welfare indicators, energy metabolism and meat quality of pigs in Beijing. **Meat Science**, v. 93, p. 287–291, 2013.

Anexo – Tabela Suplementar

Autores	Título	Motivo Da Exclusão	Categoria
Szilagyi et al. (1981)	<i>Correlation Between Some Serum Parameters, Pre-Slaughter Stress And Occurrence Of Pse Meat In Pigs</i>	Acesso indisponível ao texto completo, impossibilitando a extração dos dados metodológicos e quantitativos necessários para elegibilidade.	Acesso indisponível
Lundstrom et al. (1987)	<i>Meat Quality In Boars And Gilts After Immediate Slaughter Or Lairage For 2 Hours</i>	Acesso indisponível ao texto completo, impossibilitando a extração dos dados metodológicos e quantitativos necessários para elegibilidade.	Acesso indisponível
Warriss et al. (1998)	<i>Effect of lairage time on levels of stress and meat quality in pigs</i>	Ausência de média e dispersão por grupo experimental, impossibilitando cálculo do tamanho de efeito	Dados incompletos
Salajpal et al. (2005)	<i>Blood serum metabolites and meat quality in crossbred pigs experiencing different lairage time</i>	Ausência de dados quantitativos (médias e dispersão) para cálculo de tamanho de efeito	Dados incompletos
Mota-rosas et al. (2009)	<i>Effects of pre-slaughter transport, lairage and sex on pig chemical serologic profiles</i>	Dados quantitativos insuficientes para extração estatística	Dados incompletos
Guardiá et al. (2012)	<i>A field assessment of the effect of pre-slaughter conditions and genetic-stress susceptibility on blood welfare indicators in pigs</i>	Estudo ausência de dados quantitativos por grupo de tempo de descanso pré-abate necessários para metanálise	Dados incompletos
Honkavarva (1989)	<i>Influence of lairage on blood composition of pig and on the development of PSE pork</i>	Presença de fatores de confundimento relacionados à manipulação simultânea da temperatura, umidade e tempo de descanso, impossibilitando a avaliação isolada do efeito do período de descanso pré-abate.	Fatores de confundimento
van der Wal et al. (1997)	<i>Causes for variation in pork quality</i>	O estudo avaliou múltiplos fatores pré-abate associados à qualidade da carne suína, incluindo comportamento na fase de terminação, contrações musculares durante insensibilização, pendura e sangria, bem como diferentes durações de descanso	Fatores de confundimento
Milligan et al. (1998)	<i>Resting of Pigs and Hot-Fat Trimming and Accelerated Chilling of Carcasses to Improve Pork Quality</i>	O estudo avaliou simultaneamente três intervenções tecnológicas (tempo de descanso pré-abate, <i>hot-fat trimming</i> e resfriamento acelerado das carcaças), impossibilitando o isolamento do efeito específico do tempo de descanso sobre os parâmetros fisiológicos e de qualidade da carne.	Fatores de confundimento
Owen et al. (2000)	<i>Preslaughter resting and hot-fat trimming effects the incidence of PSE pork and ham processing characteristics</i>	Intervenção combinada (<i>hot-fat trimming</i>), impossibilitando isolamento do efeito do tempo de descanso pré-abate	Fatores de confundimento
Fábrega (2002)	<i>Effects of halothane gene and pre-slaughter treatment on meat quality and welfare from two pig crosses</i>	Delineamento com forte confundimento genético (gene halotano) e associação inseparável entre transporte e tempo de descanso pré-abate	Fatores de confundimento

Fortin (2002)	<i>The effect of transport time from the assembly yard to the abattoir and resting time at the abattoir on pork quality</i>	Confundimento entre tempo de transporte, tempo de descanso pré-abate e estação do ano, associado à ausência de dados contínuos com média e dispersão por grupo	Fatores de confundimento
Ham-brech et al. (2005)	<i>Preslaughter handling effects on pork quality and glycolytic potential in two muscles differing in fiber type composition</i>	Delineamento multifatorial com associação simultânea entre transporte, tempo de descanso pré-abate e estresse induzido, impossibilitando isolar o efeito específico do tempo de descanso pré-abate	Fatores de confundimento
Mota-Rojas et al. (2006)	<i>Effects of mid-summer transport duration on pre- and post-slaughter performance and pork quality in Mexico</i>	Tempo de descanso pré-abate fixo (8h) em todos os tratamentos, mas variável independente restrita ao tempo de transporte	Fatores de confundimento
Rabaste et al. (2007)	<i>The effects of handling and group size on welfare of pigs in lairage and their influence on stomach weight, carcass microbial contamination and meat quality</i>	Não avaliou diferentes tempo de descanso pré-abate; foco em manejo pré-abate e tamanho de grupo	Fatores de confundimento
Humphreys et al. (2009)	<i>Dietary supplementation of magnesium sulfate and sodium bicarbonate and its effect on pork quality during environmental stress</i>	O tempo de tempo de descanso pré-abate aparece apenas como variável secundária, não controlada experimentalmente	Fatores de confundimento
Edwards et al. (2010)	<i>Use of exsanguination blood lactate to assess the quality of pre-slaughter pig handling</i>	Avalia como foco principal é o manejo pré-abate imediato, tempo de descanso pré-abate é analisado como fator secundário	Fatores de confundimento
Rocha et al. (2015)	<i>Hand-held lactate analyzer as a tool for the real-time measurement of physical fatigue before slaughter and pork quality prediction</i>	Múltiplos fatores de estresse não controlados e ausência de delineamento experimental que permita isolar o efeito do tempo de descanso pré-abate	Fatores de confundimento
Jama et al. (2016)	<i>Effect of sex and time to slaughter (transportation and lairage duration) on the levels of cortisol, creatine kinase and subsequent relationship with pork quality</i>	Associação simultânea de transporte, tempo de descanso pré-abate prolongado (20 h) e efeito do sexo, impossibilitando isolar o efeito específico do tempo de descanso pré-abate	Fatores de confundimento
Manalo et al. (2020)	<i>Influence of antemortem and slaughtering practices on the pH of pork and chicken meats</i>	Estudo com múltiplos fatores de confundimento simultâneos (transporte, tempo de descanso pré-abate, manejo e método de atordoamento), impossibilitando isolar o efeito do tempo de descanso pré-abate	Fatores de confundimento
van de Perre et al. (2010a)	<i>Effect of unloading, lairage, pig handling, stunning and season on pH of pork</i>	Não isola o efeito do tempo de descanso pré-abate	Fatores de confundimento
van de Perre et al. (2010b)	<i>The prevalence of PSE characteristics in pork and cooked ham – Effects of season and lairage time</i>	Estudo com forte fator de confundimento sazonal	Fatores de confundimento
Zhao et al. (2013)	<i>Effects of lairage time and stunning on stress and the meat quality of pigs</i>	Artigo em chinês	Fora da Linguagem

Elaborado pelos autores (2026)

CAPÍTULO 3

Reavaliando o descanso pré-abate em suínos pesados de rápido crescimento em clima tropical: respostas fisiológicas e de qualidade de carne

RESUMO. O manejo pré-abate, em especial o tempo de descanso em pocilgas, é determinante para o bem-estar e a qualidade da carne. Nas últimas décadas, o melhoramento genético para maior velocidade de crescimento e o aumento do peso de abate modificaram o perfil dos suínos encaminhados ao frigorífico, sobretudo em clima tropical, tornando necessária a reavaliação da duração do descanso pré-abate. Este estudo foi conduzido em abatedouro comercial com o objetivo de avaliar os efeitos da redução do tempo de descanso sobre indicadores fisiológicos e de qualidade da carne de suínos pesados em ambiente tropical. Foram utilizados 180 suínos machos imunocastrados, de linhagem genética comercial, com peso médio de 130 ± 5.0 kg, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em quatro tratamentos de tempo de descanso pré-abate (0 – abate imediato, 30, 60 e 120 minutos). Durante o período de descanso, registraram-se comportamento, frequência respiratória e temperatura superficial da pele. Após os respectivos tempos de permanência em pocilgas, os animais foram insensibilizados e abatidos, coletando-se amostras de sangue durante a sangria para determinação de glicose, lactato, cortisol e parâmetros gasométricos. Quanto à qualidade da carne, avaliaram-se pH45min. e pH24h, perda de líquido por gotejamento e por cocção, coloração e força de cisalhamento. Os dados foram submetidos à ANOVA e à regressão polinomial ($P < 0,05$). O tempo de descanso modulou a glicemia ($P = 0,0366$), com resposta quadrática e menores valores entre 30 e 60 minutos, enquanto os parâmetros gasométricos permaneceram estáveis ($P > 0,05$). Os níveis de cortisol plasmático apresentaram queda progressiva com o aumento do tempo de descanso (de 221 ng/mL no abate imediato para 87,3 ng/mL aos 120 minutos), indicando redução gradual da ativação do eixo hipotálamo–hipófise–adrenal. Na carne, o pH45min. exibiu comportamento quadrático ($P = 0,0006$), a intensidade de vermelho (a^*) foi maximizada aos 60 minutos ($P = 0,0296$) e a perda por cocção reduziu-se até 120 minutos, com discreta melhoria da maciez instrumental. Em suínos pesados abatidos em clima tropical, aproximadamente 60 minutos de permanência em pocilgas mostraram-se suficientes para reduzir o estresse e otimizar a qualidade da carne; contudo, o tempo de 120 minutos ainda se destaca como a recomendação mais indicada do ponto de vista de segurança operacional e estabilidade das respostas fisiológicas, especialmente em contextos industriais com maior variabilidade de manejo e condições ambientais.

Palavras-chave: abate, bem-estar animal, capacidade de retenção de água, cortisol, estresse, lactato.

REEVALUATING PRE-SLAUGHTER LAIRAGE IN HEAVY, FAST-GROWING PIGS UNDER TROPICAL CONDITIONS: PHYSIOLOGICAL AND MEAT QUALITY RESPONSES

ABSTRACT. Pre-slaughter handling, particularly lairage time, is a key determinant of animal welfare and meat quality. Over recent decades, genetic selection for faster growth and increased slaughter weight has changed the profile of pigs arriving at the abattoir, especially under tropical conditions, making it necessary to re-evaluate lairage duration. This study was conducted in a commercial slaughterhouse to assess the effects of reduced lairage time on physiological indicators and meat quality in heavy pigs in a tropical environment. A total of 180 immunocastrated male pigs (130 ± 5.0 kg, commercial genotype) were randomly allocated to four lairage treatments (0 – immediate slaughter, 30, 60 and 120 min). During lairage, behavior, respiratory rate and skin surface temperature were recorded. Blood samples were collected at exsanguination to determine glucose, lactate, cortisol and blood gas parameters. Meat quality was assessed by pH45 and pH24, drip and cooking losses, color and shear force. Data were analyzed by ANOVA and polynomial regression ($P < 0.05$). Lairage time modulated blood glucose ($P = 0.0366$), with a quadratic response and lower values between 30 and 60 min, whereas blood gas variables remained stable ($P > 0.05$). Plasma cortisol showed a progressive decrease with increasing lairage time (from 221 ng/mL at 0 min to 87.3 ng/mL at 120 min), indicating gradual attenuation of hypothalamic–pituitary–adrenal activation. In meat, pH45 showed a quadratic pattern ($P = 0.0006$), redness (a^*) was maximized at 60 min ($P = 0.0296$) and cooking losses decreased up to 120 min, with slight improvement in instrumental tenderness. Under tropical conditions, about 60 min of lairage in heavy pigs provides a good balance between physiological recovery and meat quality, whereas 120 min remains the most conservative recommendation from a technological and operational standpoint.

Keywords: slaughter, animal welfare, water-holding capacity, cortisol, stress, lactate

1. INTRODUÇÃO

O manejo pré-abate de suínos constitui um componente crítico para a garantia do bem-estar animal e a preservação da qualidade tecnológica da carne. O período de descanso, compreendido entre a chegada dos animais ao frigorífico e o momento da insensibilização, tem como principal finalidade permitir a recuperação do estresse metabólico e físico ocasionado pelo transporte e pelo manejo anterior (Warriss, 2003; Dokmanović et al., 2014). Em suínos pesados de linhagens genéticas modernas, caracterizados por elevada taxa de deposição de carne magra e maior produção de calor metabólico, a eficácia desse descanso torna-se particularmente sensível às condições ambientais, sobretudo em climas tropicais.

Períodos inadequados de espera podem resultar em níveis elevados de cortisol e lactato sanguíneos, aumento de comportamentos agonísticos e maior ocorrência de lesões, culminando em carnes com problemas de qualidade tecnológica (Hambrecht et al., 2005; Zhen et al., 2013; Choi et al., 2024). Fisiologicamente, intervalos muito curtos de descanso não permitem a recuperação do eixo hipotálamo–hipófise–adrenal após o transporte, mantendo o cortisol elevado e estimulando a mobilização de glicogênio hepático e muscular, o que intensifica a glicólise anaeróbia, aumenta o lactato e reduz as reservas energéticas disponíveis no momento do abate, favorecendo quedas aceleradas de pH e a ocorrência de carnes PSE. Em contraste, períodos prolongados de espera podem desencadear estresse social e térmico, devido à competição hierárquica, disputas por espaço e maior exposição ao calor, o que sustenta a ativação simpática, eleva a temperatura corporal, promove desidratação e acelera o consumo de glicogênio muscular, aumentando o risco de carnes DFD e de lesões decorrentes de interações agonísticas (Dokmanović et al., 2017; Lee et al., 2023b; Sobral et al., 2024). Assim, a definição do tempo ideal de descanso é complexa porque envolve equilibrar a recuperação metabólica pós-transporte com a prevenção de estressores adicionais associados à permanência prolongada nos currais.

No contexto brasileiro, manuais técnicos e guias de boas práticas adotados pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) tradicionalmente recomendam intervalos entre 2 e 4 horas de descanso (Ludtke et al., 2006;

2010). Na prática, muitas agroindústrias operam sistematicamente no limite mínimo de 120 minutos para manter o fluxo contínuo de abate e atender às exigências normativas. Esse tempo, porém, pode tornar-se um gargalo para o aumento do número de animais abatidos por dia e, em condições tropicais, potencialmente intensificar a carga térmica sobre suínos pesados de alto rendimento. Diante da combinação entre clima quente, genótipos modernos de alta produção de calor e pressão por eficiência logística, torna-se crucial verificar se é possível reduzir o período de descanso sem comprometer, e idealmente melhorando, o bem-estar e a qualidade da carne.

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da redução do período de descanso pré-abate, tendo 120 minutos como referência operacional, sobre indicadores de bem-estar e parâmetros de qualidade da carcaça e da carne.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos adotados nesta pesquisa foram conduzidos em estrita conformidade com as diretrizes brasileiras (Portaria MAPA nº 365/2021) e os protocolos científicos de bem-estar animal e de boas práticas em experimentação, tendo sido previamente aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal da Grande Dourados (CEUA/UFGD), sob o protocolo nº CONCEA/MCTI/03 01002024/PESQUISA/000008/2025.

2.1 Local

O experimento foi realizado em setembro de 2025, em um abatedouro comercial, localizado no município de Dourados, MS, Brasil, operando sob o Serviço de Inspeção Federal (SIF) e com capacidade de abate de até 9.000 suínos ao dia. O município situa-se a 430 m de altitude, com latitude de 22° 13' S e longitude de 54° 48' W, apresentando clima do tipo *Cwa* (mesotérmico úmido, com verões quentes e invernos secos), segundo a classificação de *Köppen* (Fietz e Fisch, 2008).

As pocilgas de descanso eram dispostas sequencialmente em uma instalação coberta, com pé-direito de aproximadamente 6 m, equipado com sistema de climatização por ventilação forçada. Cada baia apresentava piso

compacto e área total de 44 m², contendo em nove bebedouros tipo chupeta distribuídos ao longo da baia, na qual também estavam presentes duas correntes metálicas fixadas à estrutura, utilizadas como enriquecimento ambiental.

O microclima das pocilgas de espera foi monitorado por meio de termohigrômetros digitais (AKSO®, modelo AK28), posicionados a 1,50 m do solo. Durante o período experimental, a temperatura ambiente variou de 28,7 °C a 32,0 °C, e a umidade relativa oscilou em torno de 40–45%.

2.2 Animais, Delineamento e Tratamentos

Na ocasião, foram utilizados 180 suínos machos imunocastrados de linhagem comercial (Agrocères PIC), negativos para o gene halotano (RYR1), com peso médio de 130 ± 5,0 kg. Todos os animais eram provenientes de uma mesma unidade terminadora, o que assegurou maior homogeneidade do lote experimental em termos de histórico sanitário, manejo prévio e manuseio pré-abate (carregamento, transporte, descarregamento). O transporte dos suínos foi realizado em caminhão de três pisos, com ventilação passiva, em percurso de 38 km entre a granja e o abatedouro, com duração de 57 minutos. A densidade de carregamento foi de 0,55 m²/animal, os animais foram submetidos a jejum prévio de 10 horas na granja.

Ao chegarem à unidade, os suínos foram imediatamente desembarcados e submetidos ao protocolo padrão de recepção, que incluiu o uso de chuveiro de aspersão para higienização e auxílio na termorregulação inicial. Este manejo utilizou água potável à temperatura ambiente (~20 a 25 °C) e pressão moderada (1,5 a 2,0 kgf/cm²), visando a remoção eficiente de sujidades e o resfriamento por condução e convecção, conforme preconizado pela Portaria nº 711 (BRASIL, 1995).

Assim, foram incluídos no estudo apenas animais clinicamente saudáveis, sem ferimentos ou sinais aparentes de doenças, a fim de padronizar as condições iniciais entre os grupos. Os suínos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em quatro tratamentos de tempo de descanso pré-abate: Tratamento 1 – 0 minutos de descanso (abate imediato); Tratamento 2 – 30 minutos de descanso; Tratamento 3 – 60 minutos de

descanso; e Tratamento 4 – 120 minutos de descanso (controle). A alocação foi realizada de forma aleatória no desembarque, por sorteio sistemático na ordem de saída do caminhão: a cada grupo de 20 suínos desembarcados, cinco eram destinados a cada uma das pocilgas correspondentes aos quatro tratamentos. Esse procedimento foi repetido até que cada pocilga atingisse a capacidade de 45 animais, mantendo a densidade de alojamento praticada pelo frigorífico, resultando em uma baia de descanso completa por tratamento e reduzindo potenciais efeitos da posição dos animais nos diferentes pisos do veículo de transporte.

Ao serem conduzidos para as respectivas pocilgas, os animais eram marcados no dorso com bastão de tinta atóxico, utilizando-se uma cor distinta para cada tratamento, o que permitiu a identificação individual nas etapas subsequentes. Adicionalmente, ao deixarem as pocilgas e avançarem para o corredor de acesso à insensibilização, cada suíno recebia no dorso e no pernil uma marca de martelo numérica correspondente ao seu tratamento, assegurando a rastreabilidade individual ao longo de toda a linha de abate. No tratamento de abate imediato (0 min), tão logo as quatro pocilgas atingiram sua lotação total, os animais foram retirados e encaminhados diretamente ao abate, sem período de descanso em pocilgas.

2.3 Avaliações durante período de descanso

Após o alojamento nas pocilgas de descanso, os animais dos tratamentos de 30, 60 e 120 minutos foram avaliados quanto à temperatura superficial, frequência respiratória e comportamento. As medidas de temperatura superficial e frequência respiratória foram realizadas a cada 5 minutos nos primeiros 30 minutos após o alojamento e, em seguida, a cada 10 minutos até a saída dos animais das pocilgas. No tratamento de abate imediato (0 min), essas avaliações não foram realizadas, uma vez que os suínos foram encaminhados diretamente à linha de abate.

A temperatura superficial foi registrada por meio de câmera de termografia infravermelha (Testo 882). As imagens de cada grupo foram registradas a aproximadamente 1,0 m de distância com escala de temperatura fixada manualmente entre 25,0 °C e 40,0 °C e emissividade adotada de 0,98. Embora

as imagens fossem capturadas em nível de baía, para cada tempo de avaliação foram selecionados aleatoriamente, dentro da mesma imagem, 10 animais posicionados mais próximos da câmera, de modo a padronizar a distância de captura e garantir que sua silhueta corporal estivesse completamente delimitada. Em cada um desses suínos foram demarcados 12 pontos distribuídos ao longo do dorso, e a média desses pontos foi utilizada como estimativa da temperatura corporal média individual (Figura 1). As imagens termográficas foram processadas no *software* Testo IRTSoft®.

A frequência respiratória de 10 animais, selecionados aleatoriamente em cada tempo de avaliação por tratamento, foi determinada pela contagem visual dos movimentos do flanco durante 15 segundos, multiplicando-se o valor obtido por quatro para expressá-la em movimentos por minuto. As medições foram realizadas com os animais em repouso e sem interferência direta do avaliador, de modo a preservar condições naturais de observação. Todos os avaliadores foram previamente treinados e, para garantir a confiabilidade dos dados, adotou-se um sistema de dupla checagem em amostras aleatórias, com registros independentes realizados por dois observadores.

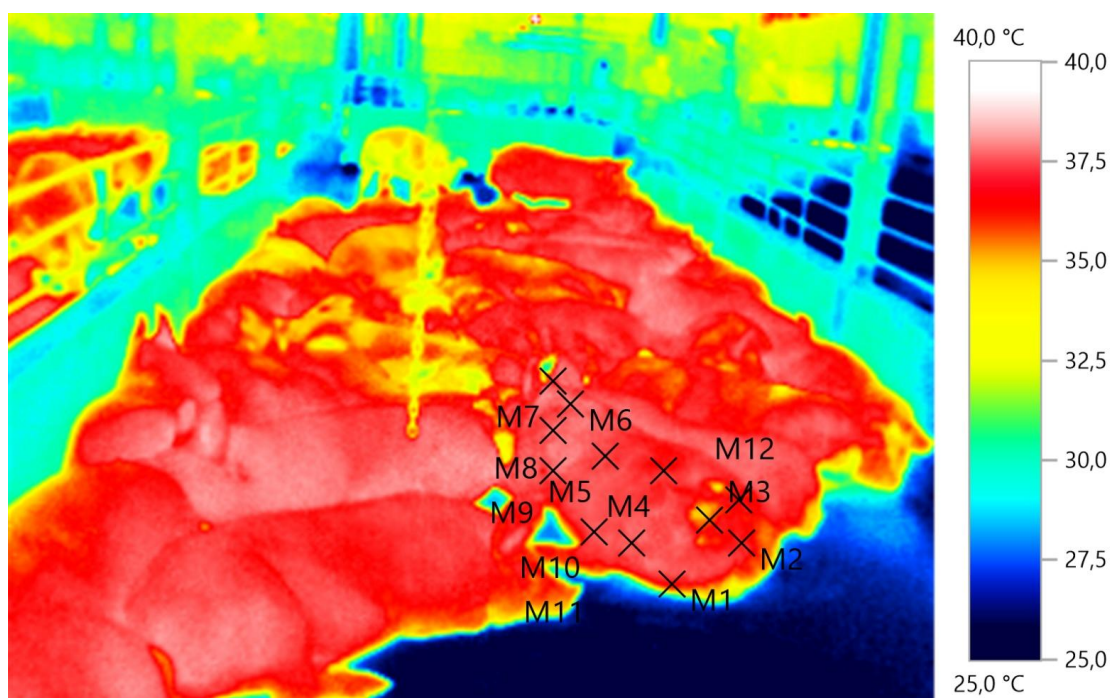


Figura 1. imagem termográfica de suínos em pocilga de descanso, com indicação dos pontos de mensuração (M1–M12) da temperatura superficial e escala de cores correspondente às faixas de temperatura (25–40 °C).

A avaliação comportamental dos suínos foi realizada por meio da análise de imagens gravadas. Para isso, foram instaladas câmeras digitais de ação com lente grande angular (uma por pocilga), posicionadas de forma a permitir a visualização completa de todos os animais e a gravação contínua, sem interferência humana no ambiente (Figura 2). A análise dos vídeos baseou-se em um etograma pré-estabelecido, contendo a definição operacional de cada comportamento de interesse (Tabela 1).

Seguindo as metodologias de van Staaveren et al. (2015), Sobral et al. (2024) e Pasquale et al. (2024), o registro sistemático das atividades foi realizado pelo método de varredura (*scan sampling*) associado à amostragem no tempo, com observações a cada 2 minutos desde a entrada até a saída dos animais das pocilgas. Todas as análises foram conduzidas por um observador previamente treinado, sob condições de aleatorização e cegamento em relação aos tratamentos, a fim de minimizar vieses de avaliação.



Figura 2. Pocilgas de descanso equipadas com câmeras filmadoras para avaliação comportamental

Tabela 1. Etograma utilizado para a avaliação comportamental de suínos em pocilgas submetidos a diferentes tempos de descanso pré-abate

Comportamento	Descrição Operacional
Deitado	Animal em decúbito lateral ou esternal, com olhos abertos ou fechados
Em pé parado	Animal em estação quadrupedal, sem deslocamento corporal por pelo menos 3 segundos.
Sentado	Animal apoiando a região posterior do corpo no piso, com os membros posteriores fletidos sob o tronco ou ligeiramente lateralizados, enquanto os membros anteriores permanecem em extensão por pelo menos 2 segundos, desconsiderando transições rápidas entre decúbito e estação.
Locomoção	Animal deslocando-se ativamente dentro da baia (mínimo 2 passos consecutivos).
Agressão	Interação agonística incluindo empurrar com cabeça, morder, perseguir, briga corporal ou tentativa clara de dominância com resistência do outro animal.
Monta	Animal posiciona-se sobre o dorso de outro com elevação dos membros anteriores, independentemente de haver cópula.
Contato social não agressivo	Contato físico entre animais sem sinais de agressividade (ex.: encostar, cheirar outro animal sem reação negativa).
Bebendo água	Animal com focinho em contato direto com o bebedouro, realizando movimentos de sucção ou ingestão visível.

Interagindo com Enriquecimento	Manipulação ativa da corrente com focinho ou boca, incluindo puxar, morder ou empurrar.
Exploração do Ambiente	Cheirar, fuçar ou investigar piso, parede ou estruturas da baía, sem interação social.

Etograma elaborado com base nas definições operacionais propostas por Van Staaveren et al. (2015), Sobral et al. (2024) e Pasquale et al. (2024).

2.4 Insensibilização e Abate

Após cumpridos os respectivos tempos de descanso, todos os animais foram abatidos seguindo procedimentos operacionais e fluxo de rotina da unidade industrial, realizados em estrita conformidade com o Portaria nº 365/2021 do MAPA, RIISPOA (Decreto nº 9.013/2017), as diretrizes de bem-estar animal da IN 113/2020 e as normas técnicas para a espécie suína da Portaria nº 711/1995 (BRASIL, 1995; 2017; 2020).

A condução dos suínos das pocilgas até a área de insensibilização foi realizada em grupos homogêneos de seis animais, de maneira contínua, sem o uso de estímulos aversivos e respeitando o ritmo natural do lote. O manejo foi executado por funcionários treinados, utilizando painéis direcionadores e barreiras visuais para facilitar o fluxo e reduzir o estresse.

Na área de insensibilização, os animais foram conduzidos a uma plataforma de contenção coletiva que os transportou automaticamente para a câmara de insensibilização. Essa câmara consistiu em um sistema de descida gradual, no qual os suínos foram expostos a uma atmosfera controlada com 85% a 90% de CO₂, garantindo indução rápida e eficaz da inconsciência. A exposição ao gás teve duração média de 90 segundos. A eficácia da insensibilização foi monitorada com base em sinais clínicos, como ausência de reflexo palpebral, reflexo corneano e movimentos voluntários. Animais que apresentassem sinais de recuperação da consciência deveriam ser imediatamente submetidos a nova insensibilização.

A sangria foi realizada imediatamente após a saída da câmara, mediante a secção dos grandes vasos do pescoço (artérias carótidas e veias jugulares) por operador treinado.

2.5 Avaliações *post mortem*

Para as avaliações post-mortem, foram aleatoriamente selecionados 18 dos 45 animais alojados em cada pocilga. Para as análises metabólicas e gasométricas, foram utilizadas amostras de sangue coletadas durante a sangria, obtidas diretamente do escoamento dos grandes vasos (carótidas e jugulares). Após a coleta, o sangue foi centrifugado por 10 minutos a 3.000 RPM em sala climatizada a 20 °C, permitindo a separação completa do soro, que foi imediatamente acondicionado em caixas térmicas com gelo e transportado ao laboratório em até 2 horas. O soro foi aliquoteado em microtubos de polipropileno e armazenado a -20 °C até as análises, nas quais foram determinados pH, pCO₂, pO₂, Na⁺, Cl⁻, glicose e lactato, além de parâmetros calculados pelo analisador, como bicarbonato, TCO₂, excesso de base, capacidade tampão, oxigênio alveolar, razão alvéolo-arterial, relação pO₂/FIO₂ e saturação de oxigênio, permitindo caracterizar o estado ácido-base e o perfil metabólico dos animais submetidos aos diferentes tempos de descanso pré-abate.

A concentração sérica de cortisol foi determinada por meio de ensaio imunoenzimático (ELISA), utilizando kit comercial validado para amostras de suínos. Todas as etapas seguiram rigorosamente as instruções do fabricante, incluindo a preparação dos padrões, aplicação das amostras e reagentes, etapas de incubação e lavagem, e a leitura final em espectrofotômetro a 450 nm. Os resultados foram expressos em ng/mL, e todas as amostras foram analisadas em duplicata. Os níveis de lactato foram obtidos por meio do kit Desidrogenase láctica – UV (Katal®) e as determinações foram realizadas em espectrofotômetro semiautomático (BIOPLUS® - 200). Os valores obtidos foram expressos em mmol/L, sendo todas as amostras analisadas em duplicata. Adicionalmente foram avaliados os seguintes parâmetros sanguíneos: pH, pCO₂, pO₂ e HCO₃.

As medidas de pH das carcaças foram realizadas por meio de um peagâmetro digital Testo 205 (Testo SE & Co. KGaA, Alemanha), previamente calibrado com duas soluções tampões (pH 4,0 e pH 7,0 + 0,05/25°C), inserindo-se o eletrodo entre a 4ª e a 5ª vértebra lombar, perpendicularmente à linha média, na face medial da ½ carcaça esquerda, mantendo profundidade constante de 3,5 cm na altura do músculo *Longissimus lumborum* (Figura 3A). Duas mensurações foram efetuadas: a primeira aos 45 minutos após o abate (pH inicial) e a segunda

24 ± 1 hora após o abate (pH final) de acordo com a metodologia adaptada por Bridi e Silva (2009).

Após o resfriamento, as carcaças foram desossadas e coletadas amostras de 10 cm de espessura do músculo *Longissimus lumborum*, retiradas na região da última costela das ½ carcaças de cada tratamento e enviadas para análise no Laboratório de Análise de Produtos Agropecuários da Universidade Federal da Grande Dourados. As porções foram dissecadas para remoção de gordura aparente, excesso de tecido conjuntivo e músculos adjacentes, sendo posteriormente seccionadas transversalmente em três bifes de aproximadamente 2,5 cm de espessura cada. Dois desses bifes foram processados imediatamente, ainda em condição de carne resfriada, para as análises de pH, coloração e perda de líquido por gotejamento. O terceiro bife foi pesado e congelado, sendo destinado às avaliações de perda por descongelamento, perda por cocção e força de cisalhamento.

Para avaliação da coloração da carne, as amostras foram expostas ao ar durante 30 minutos, visando a oxigenação. Após este período, foram submetidas à avaliação objetiva da cor por meio de um colorímetro portátil, (Minolta CR-400), utilizando-se a escala L* (luminosidade), a* (teor de vermelho), b*(teor de amarelo) do sistema CIELAB, com fonte de luz de D65 e ângulo de 90°. As medidas foram realizadas em três pontos distintos na superfície da amostra, tomando-se a média como o valor determinado (Caldara et al., 2013; Gajana et al., 2013).

A avaliação da perda de líquido por gotejamento foi baseada em metodologia adaptada de Honikel (1998). Amostras de aproximadamente 100 gramas do músculo *Longissimus lumborum*, foram pesadas em balança semi-analítica. Em seguida, embaladas em redes plásticas, e acondicionadas suspensas em recipiente fechado (Figura 3B). As amostras permaneceram por 24 horas sob refrigeração à 4°C, e foram pesadas novamente. A perda líquida por gotejamento foi expressa em porcentagem do peso inicial da amostra.

Para as demais avaliações, as amostras previamente congeladas foram retiradas do freezer e colocados sob refrigeração a 4°C por 24 horas. Ao final desse período, as amostras foram secas com papel absorvente para remoção do excesso de líquido superficial e novamente pesadas após o

descongelamento. A perda de peso por descongelamento foi calculada pela diferença entre o peso inicial (pré congelamento) e o peso final (pós descongelamento), sendo os resultados expressos em porcentagem do peso inicial da amostra.

A perda de líquido na cocção foi determinada utilizando-se o mesmo bife previamente empregado na avaliação de perda por descongelamento, com aproximadamente 2,5 cm de espessura. Após o descongelamento e a pesagem inicial, as amostras foram assadas em forno elétrico pré-aquecido a 170 °C, sendo viradas quando a temperatura interna atingiu 50 °C e mantidas no forno até alcançarem 70 °C. Em seguida, os bifes foram resfriados à temperatura ambiente e novamente pesados. A perda de líquido na cocção foi expressa como a porcentagem de peso perdido em relação ao peso inicial da amostra, de acordo com a metodologia descrita por Bridi e Silva (2009).

A análise da força de cisalhamento foi realizada utilizando-se as amostras assadas na etapa anterior, das quais foram retirados quatro cilindros de 13 mm de diâmetro, no sentido paralelo às fibras musculares, com o auxílio de um vazador. As amostras foram submetidas ao texturômetro TAXT 2i (*Stable Micro Systems*), equipado com lâmina Warner-Bratzler, operando a uma velocidade de 200 mm/min, conforme metodologia descrita por Moeller et al. (2010). O valor da força máxima de corte foi expresso em quilograma-força (kgf).



Figura 3. Em **A** - mensuração do pH das carcaças utilizando-se peagâmetro. Em **B** - amostras refrigeradas durante avaliação de perda de líquido por gotejamento.

2.6 Análises Estatísticas

As premissas estatísticas de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias foram previamente avaliadas por meio dos testes de Shapiro–Wilk e Levene, respectivamente, para todos os dados obtidos no presente estudo. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o procedimento MIXED do SAS (SAS, versão 9.4, *SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA*). No modelo estatístico, os tempos de descanso pré-abate foram considerados como efeitos fixos, enquanto os animais foram incluídos como efeito aleatório. Quando identificado efeito significativo dos tratamentos, os tempos de descanso pré-abate foram submetidos à análise de regressão polinomial. A seleção dos modelos para descrever o comportamento das variáveis baseou-se na significância estatística dos parâmetros, no valor do coeficiente de determinação (R^2) e na coerência biológica das estimativas obtidas. Em todas as análises estatísticas, adotou-se o nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

Os dados comportamentais foram obtidos por amostragem instantânea, em intervalos regulares de dois minutos, registrando-se o número de animais que expressavam cada comportamento dentro de um grupo de 45 suínos por tempo de espera pré-abate. As contagens observadas foram organizadas em formato longitudinal, de modo que cada linha do banco de dados representasse uma combinação de tratamento, tempo de observação (em minutos) e tipo de comportamento. Para fins descritivos, as contagens foram convertidas em proporções ($n/45$) para construção das curvas temporais. A análise estatística foi realizada separadamente para cada variável comportamental. Para cada comportamento, ajustou-se um modelo linear generalizado utilizando a distribuição binomial negativa e função de ligação logarítmica (log), considerando a contagem de animais como variável resposta.

O modelo incluiu como efeitos fixos o tempo de espera pré-abate (tratamento), o tempo de observação (em minutos) e a interação entre esses fatores, permitindo avaliar se a evolução temporal dos comportamentos diferiu entre os tratamentos. A escolha da distribuição binomial negativa foi baseada na

presença de superdispersão observada nos modelos iniciais (Pearson Chi-Square/DF > 1), sendo este modelo considerado mais adequado para acomodar a variabilidade extra-binomial típica de dados comportamentais de contagem.

Os parâmetros foram estimados pelo método de máxima verossimilhança utilizando aproximação de Laplace. A significância dos efeitos fixos foi avaliada por meio dos testes do tipo III, adotando-se nível de significância de 5%. As médias ajustadas dos tratamentos foram obtidas por meio do comando LSMEANS, sendo apresentadas na escala da resposta utilizando a opção ILINK.

Para visualização da dinâmica comportamental, foram construídas curvas temporais da proporção de animais exibindo cada comportamento ao longo do tempo de observação. Os gráficos foram organizados em painéis, nos quais cada painel representou um comportamento distinto e as linhas corresponderam aos diferentes tempos de espera pré-abate.

Todas as análises foram conduzidas no software SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA), utilizando o procedimento PROC GLIMMIX para ajuste dos modelos generalizados e PROC SGPanel para geração das representações gráficas.

Os dados de temperatura superficial foram analisados por meio de modelo linear misto para medidas repetidas no tempo, utilizando o procedimento MIXED do SAS (versão 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). O modelo incluiu os efeitos fixos de tratamento, tempo de mensuração (minutos) e a interação tratamento $\times$ tempo. O tempo foi considerado como variável contínua. As medidas repetidas realizadas em cada baia foram consideradas como unidade experimental, adotando-se estrutura de covariância composta simétrica (CS), selecionada com base na convergência do modelo e nos critérios de informação.

A normalidade dos resíduos foi verificada por inspeção gráfica. Inicialmente, foi testada a inclusão de termo quadrático do tempo para avaliação de possível efeito não linear; entretanto, como não foi significativo ($P > 0,05$), o modelo linear foi mantido. Quando observada interação significativa entre tratamento e tempo ($P < 0,05$), foram estimadas as inclinações (β) de cada tratamento, representando a variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) por minuto. As diferenças entre inclinações foram avaliadas por meio de contrastes específicos.

3. RESULTADOS

3.1 Avaliações *ante mortem*

A dinâmica comportamental dos suínos durante a espera pré abate foi caracterizada, em todos os tratamentos, por uma rápida transição de um estado inicial de maior atividade para um padrão predominantemente de repouso ao longo do tempo de permanência nas pocilgas (Figura 4). No tratamento de 30 minutos, observou-se um aumento acentuado na proporção de animais deitados logo nos primeiros minutos, atingindo valores elevados já na metade do período de espera. Dinâmica semelhante foi observada no tratamento de 60 minutos, com os suínos passando rapidamente de comportamentos ativos para o repouso, embora com maior variação temporal. No tratamento de 120 minutos, a proporção de animais deitados permaneceu alta (próxima de 0,8–1,0) durante praticamente todo o intervalo de observação, indicando manutenção de um estado de repouso estável ao longo do período.

O comportamento “em pé” apresentou padrão complementar ao Deitado, concentrando-se nos instantes iniciais após o alojamento nas pocilgas e reduzindo-se progressivamente à medida que os animais se acomodavam. Nos tratamentos de 30 e 60 minutos, essa redução coincidiu temporalmente com o aumento da proporção de animais deitados, sugerindo uma rápida estabilização do grupo em posição de repouso.

Os comportamentos Explorando, Bebendo água e Interação com corrente ocorreram em baixa frequência e foram mais evidentes nos primeiros minutos de permanência, com oscilações pontuais e tendência de declínio ao longo do tempo, especialmente nos tratamentos de 60 e 120 minutos (Figura 4). Os comportamentos Interação social, Isolado, Agressivo e Monta foram raramente observados e permaneceram próximos de zero durante todo o período de espera, indicando baixa ocorrência de conflitos sociais ou de perturbações marcantes na coesão do grupo. O comportamento Sentado também foi esporádico e em baixa proporção, com discretos aumentos em alguns momentos no tratamento de 120 minutos, sem, contudo, modificar o padrão geral de predominância do repouso.

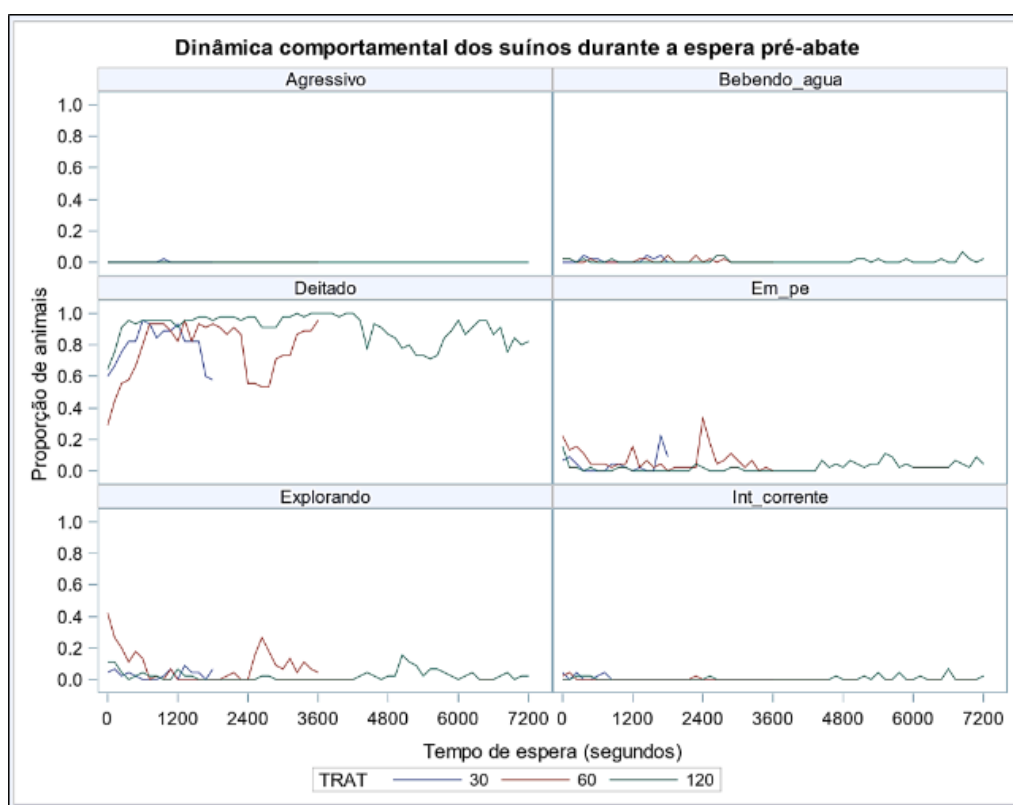


Figura 4. Dinâmica temporal dos comportamentos de suínos durante o período de descanso pré-abate (0–7200 segundos), sob três tempos de permanência (30, 60 e 120 minutos).

Nota: Os painéis representam os diferentes comportamentos avaliados. Curvas preditas pelo modelo linear generalizado misto (GLMM) para a proporção de suínos ($n/45$) exibindo diferentes comportamentos ao longo do tempo de descanso pré-abate. As curvas representam os valores estimados pelo modelo binomial com função de ligação logist, evidenciando interação significativa entre o tempo de observação e o tempo de espera.

A frequência respiratória (FR) não foi influenciada de forma significativa pelo período de descanso ($P = 0,1424$), apresentando médias de $42,9 \pm 1,3$ mov/min nos animais com tempo de espera de 30 minutos, $41,8 \pm 1,7$ mov/min do tratamento com 60 minutos de espera e $38,9 \pm 1,2$ mov/min com 120 minutos de espera.

No presente estudo, a avaliação da temperatura superficial por modelo linear misto revelou uma interação significativa entre tratamento e tempo ($P = 0,0134$), indicando que a dinâmica térmica durante a espera não foi homogênea entre os diferentes períodos de descanso. A inclusão de termo quadrático não melhorou o ajuste ($P = 0,6071$), evidenciando que a resposta foi

predominantemente linear ($P = 0,0166$). As inclinações estimadas mostraram que, nos tratamentos de 30 e 60 minutos, a temperatura superficial permaneceu praticamente estável ao longo do tempo ($\beta = 0,0056$ e $-0,0030$ °C/min; $P = 0,2125$ e $0,8137$, respectivamente), enquanto no tratamento de 120 minutos houve aumento progressivo e significativo ($\beta = 0,0151$ °C/min; $P < 0,0001$) (Tabela 2).

Tabela 2. Inclinações estimadas da temperatura superficial ao longo do tempo de espera para abate em suínos submetidos a diferentes tempos de permanência.

Tratamentos	Inclinação (°C/min)	Erro Padrão	p-valor
30 min	0,01	0,00001	0,21
60 min	0	0,01	0,81
120 min	0,0151	0,00001	<0,0001

Nota: Inclinações (β) estimadas pelo modelo linear misto para medidas repetidas no tempo, considerando tratamento, tempo e interação tratamento $\times$ tempo como efeitos fixos e estrutura de covariância composta simétrica (CS). β representa a variação da temperatura (°C) por minuto. $\Delta\beta$ 120 vs 60 = $0,0103$ °C/min ($P = 0,0056$).

Além disso, a taxa de aquecimento foi significativamente maior em 120 minutos em comparação a 60 minutos ($\Delta\beta = 0,0103$ °C/min; $P = 0,0056$), sem diferença entre 30 e 60 minutos. (Figura 5).

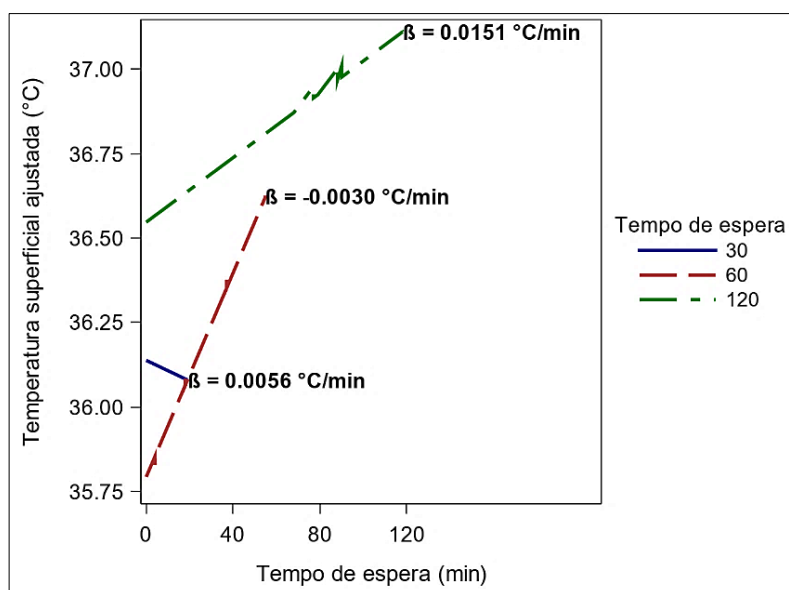


Figura 5. Gráfico *Funnel Plot* de temperatura superficial estimada ao longo do tempo de espera para abate em suínos submetidos a 30, 60 e 120 minutos de permanência.

Nota: as curvas representam os valores ajustados pelo modelo misto para medidas repetidas no tempo.

A concentração sérica de cortisol foi significativamente influenciada pelo tempo de descanso pré-abate ($P < 0,0001$), ajustando se a um modelo quadrático com elevado coeficiente de determinação ($y = 0,0033x^2 - 1,56198x + 225,68443$; $R^2 = 0,94$). As maiores concentrações médias foram observadas nos suínos abatidos imediatamente após a chegada ao frigorífico (0 min: 221,07 ng/mL), com redução progressiva aos 30 e 60 minutos de descanso (197,45 e 133,92 ng/mL, respectivamente) e valores mínimos em 120 minutos de espera (87,35 ng/mL). Esse padrão descreve queda acentuada do cortisol na primeira hora pós transporte, seguida de redução adicional, porém mais gradual, entre 60 e 120 minutos. O modelo quadrático estimou o ponto de mínima em aproximadamente 237 minutos, fora da faixa de tempos avaliada, de modo que, entre 0 e 120 minutos, observou se apenas a fase descendente da curva, com queda contínua dos níveis de cortisol.

3.2 Avaliações *post mortem*

O tempo de descanso afetou significativamente a concentração de glicose sanguínea ($P < 0,05$), com suínos que descansaram por 30 e 60 minutos apresentando valores de glicose mais baixos em comparação àqueles abatidos imediatamente após o desembarque (0 min). Esse padrão foi confirmado por um efeito quadrático significativo do tempo de descanso sobre a glicose ($P = 0,0452$), indicando um declínio inicial seguido de recuperação parcial aos 120 minutos (Tabela 3; Figura 6). De acordo com o ajuste do modelo, a concentração mínima de glicose foi estimada em torno de 50 minutos de descanso, sugerindo que a redução da glicemia é mais pronunciada em tempos intermediários de espera, com leve elevação posterior em períodos mais prolongados (120 minutos). Não foram observados efeitos significativos do tempo de descanso sobre as concentrações de pH, pCO_2 , pO_2 , Na^{2+} , Cl^- ou lactato ($P > 0,10$).

Tabela 3. Parâmetros metabólicos e gasométricos séricos de suínos submetidos a diferentes tempos de descanso pré-abate.

Parâmetro Avaliado	Períodos de descanso (minutos)				EPM	p-valor
	0	30	60	120		
pH	7,276	7,249	7,225	7,258	0,009	0,2947
pCO ₂ (mmHg)	76,471	76,700	75,415	81,646	2,072	0,7279
pO ₂ (mmHg)	132,83	152,14	138,26	141,39	2,861	0,1124
Na ⁺ (mmol/L)	125,99	129,67	131,28	129,64	1,246	0,4772
Cl ⁻ (mmol/L)	113,66	110,74	115,41	109,27	0,911	0,0822
Glicose (mg/dL)	273,36	197,82*	195,92*	206,45	11,134	0,0366
Lactato (mmol/L)	14,618	14,87	13,69	13,933	0,344	0,6093
	Efeito	p-Valor	Equação		r²	
Glicose (mg/dL)	Quadrático	0,0452	$y = 0,00434x^2 - 0,44044x + 110,61351$		0,0596	
Parâmetro Calculado	0	30	60	120	EPM	p-Valor
pH T	7,267	7,249	7,225	7,250	0,009	0,2995
pCO ₂ T (mmHg)	76,471	78,466	75,415	83,616	1,965	0,4852
pO ₂ T (mmHg)	132,83	152,14	138,26	137,54	2,764	0,0785
hCO ₃ ⁻ (mmol/L)	35,342	33,258	31,438	37,058	0,783	0,0602
TCO ₂ (mmol/L)	37,700	35,608	33,769	39,616	0,823	0,0668
BE-ecf (mmol/L)	8,357	5,808	3,584	8,046	0,742	0,0705
BE-b (mmol/L)	6,264	3,991	1,992	3,866	0,600	0,0612
SBC (mmol/L)	30,235	28,075	26,323	29,827	6,12	0,0789
Alveolar O ₂ (mmHg)	48,214	47,658	48,623	43,190	2,293	0,8498
a/A	2,907	3,372	3,069	3,318	0,143	0,6442
pO ₂ /FiO ₂ (mmHg)	635,52	727,97	661,49	658,16	13,224	0,0783
SO ₂ (%)	98,04	98,70	98,15	98,43	0,117	0,1828

Nota: * Número seguido de asterisco difere do controle (120 minutos) pelo teste de Tukey, $P < 0,05$. pCO₂ (mmHg) – pressão parcial de CO₂ (gás carbônico), pO₂ (mmHg) – pressão parcial de O₂ no sangue, pH T – pH corrigido para a temperatura, pCO₂ T (mmHg) – pCO₂ corrigida para a temperatura, pO₂ T (mmHg) – pO₂ corrigida para a temperatura, HCO₃⁻ (mmol/L) – bicarbonato plasmático, TCO₂ (mmol/L) – CO₂ total no sangue, BE-ecf (mmol/L) – base excess no fluido extracelular, BE-b (mmol/L) – base excess no sangue; SBC (mmol/L) – standard bicarbonate (bicarbonato padrão), Alveolar O₂ (mmHg) – pressão parcial de O₂ alveolar, FiO₂ - fração inspirada de oxigênio, a/A – razão entre pO₂ arterial (a) e O₂ alveolar (A); pO₂/FiO₂ (mmHg) – razão entre pO₂ e FiO₂.

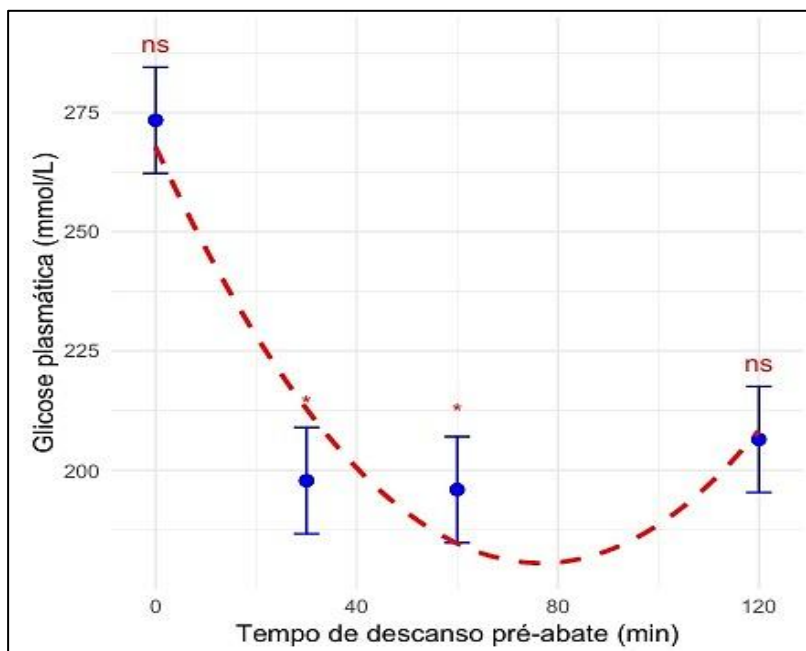


Figura 6. Efeito do tempo de descanso pré-abate sobre a glicose plasmática em suínos. Gráfico de dispersão (*scatter plot*) com linha de regressão quadrática. Valores médios $\pm$ EPM, $P < 0,05$.

Considerando os parâmetros sanguíneos calculados, o tempo de descanso não afetou significativamente nenhuma das variáveis avaliadas ($P \geq 0,05$). Contudo, observou-se tendência de efeito ($0,05 \leq P < 0,10$) sobre HCO_3^- , TCO_2 , BE ecf, BE b e SBC, com os suínos abatidos imediatamente após o desembarque (0 min) tendendo a apresentar valores mais elevados em comparação aos animais descansados, especialmente àqueles mantidos em descanso por 30 e 60 minutos. Esse padrão sugere uma discreta redução da capacidade tampão e do estado de base após curtos períodos de descanso.

De forma semelhante, variáveis relacionadas à oxigenação também apresentaram tendência de efeito do tempo de descanso sobre pO_2 (T) e sobre a razão pO_2/FiO_2 ($P = 0,0785$ e $0,0783$, respectivamente), com os maiores valores médios observados aos 30 minutos e os menores em 0 minuto, indicando leve melhora da oxigenação após um curto período de descanso. Em contraste,

a pressão alveolar de O_2 e a saturação de O_2 ($SO_2\%$) mantiveram se relativamente estáveis entre os tempos de descanso ($P > 0,10$).

O pH muscular medido aos 45 minutos apresentou redução significativa conforme o aumento do tempo de descanso, exibindo comportamento quadrático ($P = 0,0006$; $r^2 = 0,861$). Apesar dessas diferenças iniciais, todos os valores de pH mantiveram se dentro da faixa considerada normal para esse tempo pós abate e a magnitude das variações observadas foi muito pequena. Por outro lado, o pH final (24 horas) permaneceu estável entre todos os tratamentos ($P = 0,3586$) (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios $\pm$ EPM de pH e temperatura das carcaças de suínos submetidos a diferentes períodos de descanso pré-abate.

Variáveis	Períodos de descanso (minutos)				EPM	p-Valor
	0	30	60	120		
pH ₄₅	6,572	6,488*	6,481*	6,428*	0,007	<0,0001
pH ₂₄	5,912	5,818	5,859	5,871	0,018	0,3586
	Efeito	p-Valor	Equação		r ²	
pH 45 min	QUAD	0,0006	0,00000867x ² - 0,00215x + 6,56493		0,8609	

Nota: *Número seguido de asterisco difere do controle (120 minutos) $p < 0,05$.

Quanto aos atributos qualitativos e tecnológicos da carne, enquanto as perdas por gotejamento mantiveram-se estáveis entre os tratamentos, as perdas por cocção reduziram-se linearmente com o aumento do tempo de descanso ($P = 0,0129$; $r^2 = 0,1274$). A luminosidade (L^*) e o teor de amarelo da carne (b^*) não foram afetados pelos tempos de descanso ($P > 0,05$), entretanto, o teor de vermelho (a^*) apresentou aumento linear ($P = 0,0142$), com o tempo de descanso ($P = 0,0296$) (Tabela 5).

A maciez instrumental da carne, avaliada por meio da força de cisalhamento, não apresentou variação estatisticamente significativa entre os tempos de descanso ($P = 0,0553$), com valores variando entre 2,88 e 3,412 kgf (Tabela 5). Embora esse resultado não atenda ao critério convencional de significância ($P < 0,05$), o valor limítrofe de P e o comportamento dos dados merecem atenção: a força de cisalhamento foi menor aos 120 minutos de

descanso (2,88 kgf), em comparação aos demais tempos, que permaneceram em torno de 3,3–3,4 kgf. Apesar de não ter sido realizada análise de regressão em função da ausência de significância formal, esse padrão sugere uma possível tendência de melhoria da maciez com o aumento do tempo de descanso, ainda que a magnitude das diferenças seja relativamente pequena.

Tabela 5. Atributos de qualidade da carne de suínos submetidos a diferentes períodos de descanso pré-abate

períodos de descanso (minutos)						
Variáveis	0	30	60	120	EPM	p-Valor
PLG (%)	9,43	8,92	8,76	9,60	0,238	0,5637
PLC (%)	30,48	28,50	30,32	27,21*	0,378	0,0040
L*	50,73	50,30	49,81	50,53	0,303	0,7363
a*	4,68	5,09	5,418*	5,26	0,095	0,0296
b*	2,70	3,08	2,71	2,68	0,078	0,2018
FC (kgf)	3,412	3,39	3,30	2,88	0,076	0,0553
EQUAÇÕES						
	Efeito	p-Valor	Equação	r ²		
a*	LIN	0,0142	y=0,00462x+4,87639	0,0898		
PLC (%)	LIN	0,0129	y=-0,02194x+30,29441	0,1274		

Nota: *Número seguido de asterisco difere do controle (120min) p<0.05. PLG – perda de líquido por gotejamento, PLC – perda de líquido por cocção; Valores médios ± EPM, P e equações de regressão.

4. DISCUSSÃO

Em condições tropicais controladas, os diferentes tempos de descanso pré-abate promoveram ajustes consistentes no perfil fisiológico e na qualidade da carne de suínos pesados, com efeitos mais pronunciados sobre os indicadores de estresse agudo e moderados sobre os parâmetros tecnológicos. De forma integrada, observou-se que a espera após o transporte contribuiu para a modulação da resposta de estresse agudo e para melhorias mais discretas em parâmetros como glicose, frequência respiratória e características tecnológicas da carne, ao passo que variáveis gasométricas e ácido básicas do sangue, bem como pH final da carne permaneceram estáveis entre os tratamentos.

O descanso mais prolongado não promoveu mudanças drásticas adicionais em relação aos tempos mais curtos, mas esteve associado a concentrações mais baixas de cortisol, menor frequência respiratória, redução

da perda de líquido da carne por cocção e discreta melhora da maciez, concomitantemente a um aumento gradual da temperatura superficial ao longo da permanência nas pocilgas. Em conjunto, esses achados sugerem que o aumento do tempo de descanso, embora produza efeitos, exige ponderar entre a atenuação do estresse fisiológico com a maior exposição a condições térmicas e sociais potencialmente desafiadoras.

A resposta quadrática da glicemia, com redução acentuada dos 0 para cerca de 30–60 minutos de descanso e recuperação parcial aos 120 minutos, indica que o ajuste glicêmico mais intenso à resposta aguda ao transporte ocorre na primeira hora pós desembarque. Nos animais abatidos imediatamente (0 min), o estresse agudo mantém elevada a liberação de cortisol e catecolaminas, estimulando glicogenólise e aumentando a glicose circulante. Entre 30 e 60 minutos de descanso, observa-se a queda da glicemia como reflexo da diminuição desses hormônios do estresse, reduzindo a mobilização de glicogênio hepático e muscular. Após 60 minutos, porém, a glicemia volta a se elevar parcialmente, sugerindo ativação de mecanismos homeostáticos mediados pelo glucagon, que restabelecem a glicose plasmática por meio de glicogenólise residual, gliconeogênese e mobilização de lipídios, caracterizando a transição do metabolismo de resposta ao estresse para o metabolismo de recuperação.

As maiores concentrações de glicose observadas em suínos abatidos imediatamente após a chegada ao abatedouro são compatíveis com o estresse agudo desencadeado pelo transporte, manejo e desembarque, que ativa intensamente o sistema nervoso simpático e o eixo hipotálamo–hipófise–adrenal. Nessa condição, o aumento abrupto do cortisol, associado à liberação de catecolaminas, favorece a glicogenólise hepática como parte da resposta metabólica de “luta ou fuga”, elevando rapidamente a glicose sanguínea para sustentar maior demanda energética dos tecidos em situação de estresse (Pérez et al., 2002; García Celdrán et al., 2012). Essa mobilização acelerada de glicogênio explica os valores superiores de glicemia nos animais abatidos sem período de descanso, refletindo a influência direta dos hormônios do estresse sobre o metabolismo energético.

A subsequente redução da glicemia em tempos intermediários de descanso sugere atenuação da hiperglicemia aguda, provavelmente associada à diminuição da liberação de catecolaminas, maior captação tecidual de glicose e início da recuperação da homeostase, em linha com o efeito amortecedor do descanso pré-abate proposto por Warriss (2003). De acordo com a equação ajustada, o ponto de mínima da curva glicêmica situa-se em torno de 50 minutos de descanso, sugerindo que o principal ajuste da glicose em resposta ao estresse agudo ocorre nesse intervalo. A elevação discreta dos valores aos 120 minutos pode refletir a menor intensidade da resposta ao estresse em si e aliada a combinação entre um período de jejum mais prolongado e a mobilização de reservas energéticas para manutenção da glicemia, resultando no padrão de queda inicial seguido de recuperação parcial, semelhante ao relatado por Aaslyng & Gade (2001), Roldan Santiago et al. (2013) e Zhen et al. (2013).

A interpretação da curva glicêmica torna-se mais clara quando considerada em conjunto com o cortisol. No presente estudo, as concentrações séricas de cortisol diminuíram progressivamente com o aumento do tempo de descanso, ajustando-se a um modelo quadrático, mas com comportamento monotonicamente decrescente no intervalo de 0 a 120 minutos. Enquanto a glicose apresentou um comportamento não linear, refletindo a interação entre resposta ao estresse, jejum e ajuste metabólico fino, o cortisol mostrou um declínio mais consistente ao longo de todo o período avaliado, sugerindo que a recuperação do eixo hipotálamo hipófise adrenal se prolonga para além do ponto de mínima da glicemia.

Esse desacoplamento parcial entre os perfis de glicose e cortisol é coerente com o fato de que a glicemia é modulada por múltiplos mecanismos (incluindo insulina/ glucagon, captação tecidual e gliconeogênese/ glicogenólise) (Gerich, 1993), ao passo que o cortisol reflete de forma mais direta o grau de ativação do eixo de estresse. Assim, embora o ajuste glicêmico mais marcado ocorra em torno de 50–60 minutos, a redução adicional de cortisol até 120 minutos indica benefícios fisiológicos adicionais do descanso prolongado, ainda que nem sempre acompanhados de outras mudanças metabólicas evidentes.

Em contraste com os perfis de glicose e cortisol, o lactato plasmático manteve-se estável entre os tratamentos, assim como os parâmetros

gasométricos diretamente mensurados. Essa estabilidade indica ausência de acidose láctica relevante e de alterações respiratórias significativas no período pré-abate. Resultados semelhantes foram relatados por Da Rocha et al. (2025), que observaram que o tempo de descanso não modificou indicadores sanguíneos de estresse na exsanguinação, sugerindo que, sob condições adequadas de manejo e densidade, o equilíbrio ácido-básico tende a ser preservado independentemente da duração da espera.

A manutenção dos níveis de lactato reforça que os animais não foram submetidos a esforço anaeróbico intenso ou estresse agudo imediatamente antes da insensibilização. Contudo, a interpretação isolada desses biomarcadores requer cautela. A metanálise conduzida no Capítulo 1 mostrou que, de forma geral, aumentos moderados no tempo de descanso reduzem o lactato (SMD = $-0,31$; $p = 0,018$), mas também evidenciou elevada heterogeneidade entre estudos, especialmente em ambientes tropicais. Essa variabilidade sugere que a resposta do lactato é altamente dependente das condições ambientais e do manejo.

Como exposto por Flores-Peinado et al. (2020), o lactato pode permanecer estável em ambientes controlados, mas aumentar substancialmente sob estresse térmico — condição relevante em clima tropical. No presente estudo, a estabilidade observada sugere que as condições de alojamento e a densidade adotada foram suficientes para evitar sobrecarga metabólica. Além disso, conforme destacado por Pasquale (2022), a resposta endócrina dos suínos apresenta grande variabilidade, e níveis de glicocorticoides podem oscilar mesmo na ausência de estressores evidentes, reforçando a necessidade de interpretar lactato e gasometria em conjunto com a resposta quadrática da glicemia e o declínio progressivo do cortisol observados.

Em suínos pesados sob clima tropical, a termorregulação é um ponto crítico, pois linhagens modernas produzem mais calor metabólico e dependem amplamente de mecanismos evaporativos como a taquipneia (Brown Brandl et al., 2022). Em suínos pesados sob clima tropical, a termorregulação é um ponto crítico, pois linhagens modernas produzem mais calor metabólico e dependem amplamente de mecanismos evaporativos, como a taquipneia (BROWN BRANDL et al., 2022). Neste estudo, a temperatura superficial avaliada por

termografia apresentou interação significativa entre tempo de descanso e tempo de avaliação, com tendência globalmente linear. As inclinações estimadas indicaram que, nos tratamentos de 30 e 60 minutos, a temperatura manteve-se estável ao longo da espera, enquanto em 120 minutos houve aumento progressivo e significativo, compatível com acúmulo gradual de calor na superfície corporal em períodos mais longos de permanência. Esses resultados devem, contudo, ser interpretados com cautela, uma vez que as imagens termográficas foram obtidas em uma única baía por tratamento, caracterizando avaliação essencialmente descritiva da dinâmica térmica em cada cenário.

A combinação desses achados contribui para refinar a interpretação da dinâmica térmica em suínos pesados. Em 30 e 60 minutos, a estabilidade da temperatura superficial, associada aos níveis mais baixos de glicose e ao perfil gasométrico sanguíneo estável, sugere que os animais superaram o estresse agudo do manejo prévio e alcançaram um estado de equilíbrio fisiológico satisfatório, sem evidência de acúmulo progressivo de calor. Em contraste, apenas no descanso de 120 minutos se observou um padrão claro de aquecimento contínuo da superfície corporal, compatível com transferência de calor do núcleo para a periferia em animais de elevada massa (Brown Brandl et al., 2022). Entretanto, considerando-se conjuntamente a redução progressiva do cortisol, o descanso de 120 minutos parece oferecer benefícios adicionais à recuperação fisiológica, mas ao custo potencial de maior desafio térmico, sobretudo em ambientes quentes e com ventilação limitada.

Do ponto de vista do bem-estar, a literatura indica que a resposta hormonal ao transporte é mais intensa imediatamente após o manejo, com picos de cortisol que tendem a diminuir ao longo da primeira hora (Mota Rojas et al., 2009). Dokmanović et al. (2014), Guàrdia et al. (2012) e Jama et al. (2016) apontaram intervalos de 1–2 horas, como suficientes para redução de cortisol e creatina quinase em suínos pesados. Em contrapartida, descansos muito prolongados podem voltar a elevar cortisol, uma vez que se aumentam os riscos de ocorrência de comportamentos agonísticos (Warriss, 2003; Dalla Costa et al., 2016; Rabaste et al., 2007; Van Staaveren et al., 2015; Lee et al., 2023b), com depleção adicional de glicogênio muscular e maior incidência de carnes DFD e lesões de carcaça (Van der Wal et al., 1997; Jeréz Timaure et al., 2013).

No presente estudo, a expressão de comportamentos agressivos e de monta foi baixa em todos os tratamentos e não se observou prejuízo na qualidade final da carne, o que indica que, nas condições específicas avaliadas (grupo estável e densidade controlados), tempos de espera de até 120 minutos não resultaram em evidência clara de estresse social adicional. Ainda assim, a ausência de aumento de agressividade não implica ausência de risco em outros contextos; por isso, a extrapolação para com diferentes manejos, densidades ou condições ambientais deve ser feita com cautela.

Os resultados de qualidade da carne indicam um equilíbrio entre vantagens e possíveis limitações ao comparar 60 e 120 minutos de descanso. Do ponto de vista fisiológico, os dados sugerem que boa parte da recuperação metabólica sistêmica ocorre predominantemente na primeira hora de descanso, enquanto parte dos ajustes finos relacionados à capacidade de retenção de água e, consequentemente, à maciez da carne parece consolidar-se no adicional até 120 minutos. Assim, aos 60 minutos os suínos já apresentam glicemia reduzida em relação ao abate imediato, e temperatura superficial relativamente estável, caracterizando estado de homeostase funcional sob clima tropical.

O prolongamento do descanso para 120 minutos não alterou de forma expressiva esses indicadores sistêmicos, mas foi associado à menor perda por cocção e à tendência de redução da força de cisalhamento da carne, sugerindo vantagem tecnológica em termos de capacidade de retenção de água, em concordância com os achados de Lundström et al. (1987) e Owen et al. (2000). No entanto, essa diferença entre 60 e 120 minutos foi relativamente pequena e, conforme Van de Perre et al. (2010a, 2010b), ganhos modestos de CRA podem ser neutralizados por maior estresse social e exaustão metabólica em períodos mais longos de espera, dependendo das condições de manejo e ambiente.

A cinética do pH aos 45 minutos também mostrou comportamento quadrático, com valores mais baixos em 120 minutos, compatíveis com glicólise inicial um pouco mais avançada; ainda assim, tanto pH₄₅ quanto pH final permaneceram em faixas consideradas normais, sem indicação de PSE ou DFD.

Em síntese, os resultados indicam que períodos de descanso entre 30 e 60 minutos atenuam as respostas metabólicas e endócrinas agudas ao transporte e ao desembarque, promovendo ajustes na glicemia e favorecendo a

homeostase térmica e respiratória. A extensão do descanso para 120 minutos oferece benefícios adicionais, particularmente em termos de redução de cortisol, perda por cocção e força de cisalhamento, mas associa-se a um padrão de aquecimento da superfície corporal e a maior tempo de exposição a potenciais estressores térmicos e sociais.

Assim, em suínos pesados sob clima tropical, o tempo de descanso pré-abate deve ser definido como um compromisso entre bem-estar e qualidade de carne, reconhecendo que intervalos próximos dos 60 minutos parecem suficientes para a recuperação fisiológica básica nas condições avaliadas, enquanto períodos mais longos podem agregar ganhos tecnológicos discretos, cuja relevância prática dependerá do contexto de manejo, e exigências de bem-estar de cada sistema produtivo.

5. CONCLUSÃO

Em suínos pesados sob clima tropical, o tempo de descanso em torno de 60 minutos mostrou-se suficiente para a recuperação fisiológica básica, com ajustes consistentes em glicemia, parâmetros térmicos e respiratórios. A extensão para 120 minutos oferece benefício adicional modesto, sobretudo pela maior redução do cortisol e discreta melhora em atributos tecnológicos da carne. Contudo, implica maior tempo de aquecimento superficial e de exposição a possíveis desafios térmicos e sociais, o que pode se tornar desfavorável caso as condições de ambiência e manejo não sejam rigorosamente controladas.

6. REFERÊNCIAS

Aaslyng M.D., Gade P.B. (2001). **Low stress pre-slaughter handling: effect of lairage time on the meat quality of pork.** Meat Science, v.57, p.87-92.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. (1995). **Portaria nº 711, de 01 de novembro de 1995.** Aprova as Normas Técnicas de Instalações e Equipamentos para Abate e Industrialização de Suínos. Brasília: Diário Oficial da União.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2017). **Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017.** Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal (RIISPOA). Brasília: Diário Oficial da União.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2020). **Instrução Normativa nº 113, de 16 de dezembro de 2020**. Estabelece os métodos humanitários de manejo pré-abate e abate de animais de açougue e os métodos de insensibilização autorizados. Brasília: Diário Oficial da União.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2021). **Portaria nº 365, de 1º de julho de 2021**. Regulamenta as boas práticas de manejo pré-abate e o abate humanitário, bem como os métodos de insensibilização autorizados. Brasília: Diário Oficial da União.

Bridi A.M., Silva C.A. (2009). **Avaliação da carcaça e qualidade da carne suína**. Londrina: Midiograf. 120 p.

Brown-Brandl T.M., Hayes M.D., Rohrer G.A., Eigenberg R.A. (2022). **Thermal comfort evaluation of three genetic lines of nursery pigs using thermal images**. Biosystems Engineering, v.224, p.118-128.

Caldara F.R., Moi M., Dos Santos L.S., Paz I.C.D.L.A., Garcia R.G., De Alencar Nääs I., Fernandes A.R.M. (2013). **Carcass characteristics and qualitative attributes of pork from immunocastrated animals**. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, v.26, p.1630-1636.

Choi M., Lee D., Lee H.J., Nam K.C., Moon S.S., Jung J.H., Jo C. (2024). **The impact of overnight lairage on meat quality and storage stability of pork loin**. Journal of Animal Science and Technology, v.66, p.412-424.

Dalla Costa F.A., Dalla Costa O.A., Federn V., Coldebella A., Monteiro de Lima G.J., Ferraudo A.S. (2019). **How do season, on-farm fasting interval and lairage period affect swine welfare, carcass and meat quality traits?** International Journal of Biometeorology, v.63, p.1497-1505.

Dalla Costa F.A., Devillers N., Paranhos da Costa M.J.R., Faucitano L. (2016). **Effects of applying preslaughter feed withdrawal at the abattoir on behaviour, blood parameters and meat quality in pigs**. Meat Science, v.119, p.89-94.

Da Rocha L.T., Carvalho P.L.O., De Lima J.P.S., De Azevedo L.B., Carvalho S.T., Genova J.L., Faucitano L. (2025). **Effects of stocking density in the pen and lairage time on blood stress indicators, skin lesion scores, and pork meat quality**. Animals, v.15, p.634.

Dokmanović M., Ivanovic J., Janjic J., Boskovic M., Laudanovic M., Pantic S., Baltic M.Z. (2017). **Effect of lairage time, behaviour and gender on stress and stress meat quality parameters in pigs**. Animal Science Journal, v.88, p.500-506.

Dokmanović M., Velarde A., Tomović V., Glamočlija N., Marković R., Janjić J., Baltić M.Ž. (2014). **The effects of lairage time and handling procedure prior to slaughter on stress and meat quality parameters in pigs**. Meat Science, v.98, p.220-226.

Fietz C.R., Fisch G.F. (2008). **O clima da região de Dourados, MS**. Embrapa Agropecuária Oeste, v.92, n.2, p.9-30.

Flores-Peinado S., Mota-Rojas D., Guerrero-Legarreta I., Mora-Medina P., Cruz-Monterrosa R., Gómez-Prado J., Martínez-Burnes J. (2020). **Physiological responses of pigs to preslaughter handling: infrared and thermal imaging applications**. International Journal of Veterinary Science and Medicine, v.8, n.1, p.71-84.

Gajana C.S., Nkukwana T.T., Makume U., Muchenje V. (2013). **Effects of transportation time, distance, stocking density, temperature and lairage time on incidences of pale soft exudative (PSE) and the physico chemical characteristics of pork**. Meat Science, v.95, n.3, p.520-525.

Garcia-Celdran M., Ramis G., Quereda J.J., Armero E. (2012). **Reduction of transport-induced stress on finishing pigs by increasing lairage time at the slaughter house**. Journal of Swine Health and Production, v.20, p.118-122.

Gerich J.E. (1993). **Control of glycaemia**. Baillieres Clinical Endocrinology and Metabolism, v.7, n.3, p.551-586.

Guàrdia M.D., Estany J., Álvarez-Rodríguez J., Manteca X., Tor M., Oliver M.A., Gispert M., Diestre A. (2012). **A field assessment of the effect of pre-slaughter conditions and genetic-stress susceptibility on blood welfare indicators in pigs**. Animal Welfare, v.21, p.517-526.

Hambrecht E., Eissen J.J., Newman D.J., Smits C.H.M., Verstegen M.W.A., Den Hartog L.A. (2005). **Preslaughter handling effects on pork quality and glycolytic potential in two muscles differing in fiber type composition**. Journal of Animal Science, v.83, p.900-907.

Hernandez R.O. et al. (2025). **Effects of microclimate during transport on physiological indicators of market pig welfare: a systematic review with meta-analysis**. Frontiers in Veterinary Science, v.12, p.1-15.

Honikel K.O. (1998). **Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat**. Meat Science, v.49, n.4, p.447-457.

Jama N., Maphosa V., Hoffman L.C., Muchenje V. (2016). **Effect of sex and time to slaughter (transportation and lairage duration) on the levels of cortisol, creatine kinase and subsequent relationship with pork quality**. Meat Science, v.116, p.43-49.

Jeréz-Timaure N., De Moreno L.A., Súlbaran M., Uzcátegui S. (2013). **Influence of the rest time on carcass quality and pork meat characteristics**. Cuban Journal of Agricultural Science, v.47, p.55-60.

Lee D., Lee H., Nam K., Jung D., Kim J., Jung J., Moon S., Jo C. (2023a). **Metabolomic approach to understand the effect of lairage on the quality of pork loin**. Meat and Muscle Biology, v.7, p.1-13.

Lee J., Kang D., Shim K. (2023b). **Effect of lairage time prior to slaughter on stress in pigs: a path analysis**. *Porcine Health Management*, v.9, p.55.

Ludtke C., Nogueira C.E.W., Bertoloni W., Dalla Costa O.A., Soares G.J.D. (2006). **O estresse no manejo pré-abate e na qualidade da carne suína**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. 40 p. (Documentos, 119).

Ludtke C.B., Ciocca J.R.P., Dandin T., Barbalho P.C., Vilela J.A., Dalla Costa O.A. (2010). **Abate humanitário de suínos**. Rio de Janeiro: WSPA. 132 p.

Lundström K., Malmfors B., Malmfors G., Stern S. (1987). **Meat quality in boars and gilts after immediate slaughter or lairage for 2 hours**. *Swedish Journal of Agricultural Research*, v.17, p.51-56.

Moeller S.J., Miller R.K., Aldredge T.L., Logan K.E., Edwards K.K., Zerby H.N., Boggess M., Box-Steffensmeier J.M., Stahl C.A. (2010). **Trained sensory perception of pork eating quality as affected by fresh and cooked pork quality attributes and end-point cooked temperature**. *Meat Science*, v.85, n.1, p.96-103.

Mota-Rojas D., Becerril M., Lemus C., Sánchez P., González M., Olmos S., Ramírez R., Alonso-Spilsbury M. (2009). **Effects of pre-slaughter transport, lairage and sex on pig chemical serologic profiles**. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, v.8, p.246-250.

Owen B.L., Montgomery J.L., Ramsey C.B., Miller M.F. (2000). **Preslaughter resting and hot-fat trimming effects on the incidence of pale, soft and exudative (PSE) pork and ham processing characteristics**. *Meat Science*, v.54, p.221-229.

Pasquale V. (2022). **Effects of space allowance on behaviour, physiology, skin lesions and meat quality of pigs transported in an actively ventilated vehicle in the summer and winter**. Tese (Doutorado) – University of Guelph.

Pasquale V., Bergeron R., Devillers N., Conte S., Faucitano L. (2024). **Effects of space allowance on behaviour during lairage, stress physiology, skin lesion scores, and meat quality of market-weight pigs transported in an actively ventilated vehicle in the summer**. *Canadian Journal of Animal Science*.

Pérez M.P., Palacio J., Santolaria M.P., Aceña M.C., Chacón G., Verde M.T., Calvo J.H., Zaragoza M.P., Gascón M., García-Belenguer S. (2002). **Influence of lairage time on some welfare and meat quality parameters in pigs**. *Veterinary Research*, v.33, p.239-250.

Rabaste C., Faucitano L., Saucier L., Mormède P., Correa J.A., Giguère A., Bergeron R. (2007). **The effects of handling and group size on welfare of pigs in lairage and their influence on stomach weight, carcass microbial contamination and meat quality**. *Canadian Journal of Animal Science*, v.87, p.51-62.

- Roldan-Santiago P., Mota-Rojas D., Guerrero-Legarreta I., Mora-Medina P., Borderas-Tordesillas F., Alarcon-Rojo A.D., Flores-Peinado S., Orozco-Gregorio H., Martinez-Rodriguez R., Trujillo-Ortega M.E. (2013). **Animal welfare of barrows with different antemortem lairage times without food.** Veterinarian Medicina, v.58, p.305-311.
- Sobral V.S., Silveira R.M.F., Guesine G.D., Arno A., Azevedo K.A.M., Lobos C.M.V., Silva I.J.O. (2024). **Implications of lairage and environmental enrichment on behavioral responses and skin lesions in finishing pigs in a slaughterhouse.** Animals, v.14, n.11, p.1591.
- Van de Perre V., Ceustermans A., Leyten J., Geers R. (2010a). **The prevalence of PSE characteristics in pork and cooked ham — Effects of season and lairage time.** Meat Science, v.86, p.391-397.
- Van de Perre V., Permentier L., De Bie S., Verbeke G., Geers R. (2010b). **Effect of unloading, lairage, pig handling, stunning and season on pH of pork.** Meat Science, v.86, p.931-937.
- Van der Wal P.G., Engel B., Hulsegge B. (1997). **Causes for variation in pork quality.** Meat Science, v.46, p.319-327.
- Van Staaveren N., Teixeira D.L., Hanlon A., Boyle L.A. (2015). **The effect of mixing entire male pigs prior to transport to slaughter on behaviour, welfare and carcass lesions.** PLOS ONE, v.10, p.e0122841.
- Warriss P.D. (2003). **Optimal lairage times and conditions for slaughter pigs: a review.** Veterinary Record, v.153, n.6, p.170-176.
- Warriss P.D., Brown S.N., Edwards J.E., Knowles T.G. (1998). **Effect of lairage time on levels of stress and meat quality in pigs.** Animal Science, v.66, p.255-261.
- Zhen S., Liu Y., Li X., Ge K., Chen H., Li C., Ren F. (2013). **Effects of lairage time on welfare indicators, energy metabolism and meat quality of pigs in Beijing.** Meat Science, v.93, p.287-291.

CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo da condução deste trabalho, buscou-se ir além da mera descrição de números e curvas para responder a uma demanda concreta e recorrente da cadeia produtiva: quanto tempo os suínos realmente precisam descansar antes do abate para se recuperar do transporte sem prejuízo ao bem-estar e à qualidade da carne.

Os resultados indicam, de forma consistente, que cerca de 60 minutos são suficientes, nas condições estudadas, para que suínos pesados em clima tropical saiam da fase de estresse agudo e alcancem um estado de equilíbrio fisiológico. Não se trata apenas de atender a um intervalo arbitrário, mas de reconhecer que, a partir desse ponto, os ganhos em recuperação metabólica tendem a se estabilizar, ao mesmo tempo em que aumenta o risco de transformar o período de descanso em uma nova fonte de desafio térmico e social.

É fundamental salientar que os resultados deste estudo não permitem uma resposta universal. A metanálise apresentada no Capítulo 2 já havia evidenciado que não existe um tempo único de descanso pré-abate aplicável a todos os sistemas, climas e categorias de animais. Os achados aqui relatados refletem uma realidade específica: suínos pesados, em ambiente tropical controlado, sob condições definidas de transporte, instalações e manejo.

Assim, embora a indústria tenha legítimo interesse em reduzir o tempo de descanso para otimizar o fluxo de abate, essa decisão não deve se apoiar apenas em um valor numérico isolado. Ela precisa considerar, de forma articulada:

- o clima e as condições de ambiência das pocilgas;
- o peso, o tipo genético e o estado corporal dos animais;
- a qualidade do transporte e do manejo na chegada;
- o patamar de bem-estar que se pretende assegurar;
- e os atributos de qualidade de carne priorizados pela planta industrial.

Nesse contexto, os 60 minutos apontados por este estudo configuram-se menos como um “atalho operacional” e mais como um marco técnico de referência, a partir do qual cada unidade frigorífica pode reavaliar os próprios procedimentos. Para algumas realidades, isso poderá significar oportunidade

concreta para reduzir tempos tradicionais de descanso, em torno de 120 minutos, mantendo ou até aprimorando os indicadores de bem-estar e qualidade. Para outras, servirá como alerta de que a simples reprodução de protocolos externos, sem considerar o contexto local, pode ser tão inadequada quanto a manutenção irrefletida de períodos prolongados de espera.

Em última análise, a principal contribuição deste trabalho não reside apenas em propor um novo intervalo de descanso, mas em reforçar que as decisões sobre manejo pré-abate podem ser orientadas por indicadores objetivos de recuperação fisiológica e de qualidade da carne, e não por convenções históricas ou metas de velocidade de abate. É precisamente na integração entre evidência científica, bem-estar animal, qualidade tecnológica e condições reais de campo que essas decisões se tornam, simultaneamente, mais robustas para a indústria e mais responsáveis do ponto de vista ético.