

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Enriquecimento ambiental, biomecânica óssea e bem-estar animal na
produção de suínos em terminação**

Mariana Coelly Modesto Santos Tavares

Tese apresentada para obtenção de título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de
Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2023**

Mariana Coelly Modesto Santos Tavares
Médica Veterinária

Enriquecimento ambiental, biomecânica óssea e bem-estar animal na produção de suínos em terminação

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **IRAN JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA**

Tese apresentada para obtenção de título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Tavares, Mariana Coelly Modesto Santos

Enriquecimento ambiental, biomecânica óssea e bem-estar animal na produção de suínos em terminação / Mariana Coelly Modesto Santos Tavares. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2023.

103 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2023.

1. Bem-estar animal 2. Suínos 3. Enriquecimento ambiental 4. Qualidade da carne
5. Biomecânica óssea I. Título

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela criação e por todas as bênçãos da minha vida!

A minha mãe, minha maior inspiração de vida, e a minha avó por todo carinho em estar ao meu lado, e dedicarem suas vidas à nossa família.

Aos meus pais, genitores ou criadores, por me permitirem a vida, que sempre torcem e me incentivam nessa caminhada.

Ao meu marido Guilherme, meu porto seguro, pelo amor, companheirismo, por acreditar em mim, e principalmente por estar sempre ao meu lado e da nossa família.

Ao Augusto, Bruno, Carol e Jéssica por serem companheiros, amigos, confidentes, protetores e por sempre me darem força diante de qualquer dificuldade.

À Universidade de São Paulo e à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, por proporcionar esta oportunidade de conhecimento pelo doutorado.

Ao Programa e todos seus funcionários da Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas e do Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB/ESALQ), SAPG e SVPG.

Ao meu orientador e amigo, Prof^o Iran José Oliveira da Silva, pelos ensinamentos acadêmicos e de vida, por ser um exemplo de profissional, de autenticidade e de amizade.

Aos amigos do NUPEA Carol, Glauber, Giovane, João, Karen, Marcela, Marcos, Vivian, Sérgio e, em especial, à Alessandra, por todo apoio e amizade.

Aos membros da banca de qualificação, Prof^a Késia Miranda, Prof^a Carla Molento, Dr^a Aérica e membros da banca avaliadora, Prof^o Leandro Batista Costa, Prof^o Idemauro de Lara e a Dr^a Charli Ludtke pelo incentivo e confiança depositada em mim, permitindo começar toda essa jornada de oportunidade de desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao Prof^o Idemauro de Lara, Prof^a Sílvia de Freitas e a Maria Leticia, pela dedicação em ensinar, acolher e participar de todo processo de análise deste trabalho, com tanta propriedade e sabedoria.

Aos profissionais e colegas que estiveram comigo na realização deste trabalho, contribuindo em diferentes momentos, minha eterna gratidão à Aracilda Lima, Carla de Andrade, Cleomar Estraizer, Diego Cabreira, Edilson Caldas, Eliane Horning, Fabrício Delgado, Geremias Souza, Giovani Caetano, Michel Farah, Neil Peixoto, Rodrigo Torres, Thiago Freitas, e todos aqueles que contribuíram neste trabalho.

Por fim, com muita gratidão, dedico esta conquista a todos que, de alguma forma, acreditaram e contribuíram para a realização deste grande sonho!

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim”.

Chico Xavier

SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMO..... | 7 |
| ABSTRACT..... | 8 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 9 |
| LISTA DE TABELAS..... | 11 |
| LISTA DE QUADROS..... | 12 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 1.2 Revisão Bibliográfica..... | 16 |
| 1.2.1 Panorama comercial da suinocultura..... | 16 |
| 1.2.2 Enriquecimento ambiental..... | 16 |
| 1.2.3 Desempenho zootécnico..... | 19 |
| 1.2.4 Comportamento dos suínos..... | 20 |
| 1.2.5 Qualidade e biomecânica óssea | 22 |
| 1.2.6 Qualidade da carne suína..... | 23 |
| 1.2.7 Resultados de pesquisas..... | 25 |
| 1.3 Materiais e Métodos | 27 |
| 1.3.1 Local do estudo | 27 |
| 1.3.2 Delineamento experimental..... | 35 |
| 1.3.3. Variáveis respostas..... | 35 |
| 1.3.4 Coleta de dados..... | 36 |
| 1.3.5 Transporte dos animais..... | 36 |
| 1.3.6 Abate dos animais..... | 37 |
| Referências | 37 |
| 2. ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL E SEUS EFEITOS SOBRE OS ÍNDICES ZOOTÉCNICOS E COMPORTAMENTAIS DE SUÍNOS EM TERMINAÇÃO | 43 |
| Resumo..... | 43 |
| 2.1 Introdução..... | 44 |
| 2.2 Materiais e Métodos..... | 45 |
| 2.3 Resultados..... | 51 |
| 2.4 Discussão | 54 |
| 2.5 Conclusão | 56 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Referências..... | 58 |
| 3. ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL E SEUS EFEITOS SOBRE A QUALIDADE FINAL DA CARNE DE SUÍNOS EM TERMINAÇÃO..... | 61 |
| Resumo..... | 61 |
| 3.1 Introdução..... | 62 |
| 3.2 Materiais e Métodos..... | 64 |
| 3.3 Resultados..... | 71 |
| 3.4 Discussão..... | 75 |
| 3.5 Conclusão..... | 77 |
| Referências..... | 78 |
| 4. ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL E SEUS EFEITOS SOBRE A BIOMECÂNICA ÓSSEA DE SUÍNOS EM TERMINAÇÃO | 81 |
| Resumo..... | 81 |
| 4.1 Introdução..... | 82 |
| 4.2 Materiais e Métodos..... | 84 |
| 4.3 Resultados..... | 90 |
| 4.4 Discussão..... | 91 |
| 4.5 Conclusão..... | 93 |
| Referências..... | 94 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 99 |

RESUMO

Enriquecimento ambiental, biomecânica óssea e bem-estar animal na produção de suínos em terminação

O trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho zootécnico, o comportamento e a qualidade da carne de suínos com acesso ou não ao enriquecimento ambiental (EA) na fase de terminação e seus efeitos sobre a estrutura óssea dos animais, utilizando técnicas de biomecânica. A pesquisa foi realizada em uma granja experimental e em um abatedouro de suínos, localizados na região Sul do Brasil. Foram alojados 432 suínos, machos e fêmeas, da linhagem HS (Hampshire), com peso inicial entre 22-27 kg (63-70 dias de idade) e peso médio final entre 110-125 kg (183-190 dias de idade) durante 112 dias de experimentação. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 6 tratamentos, distribuídos em esquema fatorial 2x3 (sexo x condições de criação) e 12 repetições por tratamento, totalizando 72 baias. Os tratamentos foram: corrente ramificada para machos (T1); corda sisal ramificada para machos (T2), grupo controle para machos – sem uso de EA (T3); corrente ramificada para fêmeas (T4); corda sisal ramificada para fêmeas (T5) e grupo controle para fêmeas – sem uso de EA (T6). Ao final do período experimental, todos os animais foram abatidos em um frigorífico industrial, sendo coletado de 72 animais o osso fêmur para a análise de biomecânica óssea e o lombo (*longissimus dorsi*) músculo do dorso suíno para análises sensoriais de qualidade de carne. Para a análise estatística dos dados, foram empregadas técnicas uni e multi-variadas por meio de modelos lineares e generalizados, com ou sem efeitos aleatórios. Fêmeas dos blocos leve/médio enriquecidas com cordas ramificadas apresentaram maior interação meio ambiente (IMA) no período da manhã, comparativamente aos machos. A interação objeto (IB) foi maior no período da manhã para machos leves e fêmeas dos blocos leve/médio com cordas ramificadas. Com correntes ramificadas, machos leves apresentaram maior IB no período da manhã, enquanto ambos os sexos do bloco médio apresentaram maior IB no período da tarde. Machos e fêmeas sem EA mostraram-se menos calmos e com maior IMA no período da tarde. As temperaturas foram mais elevadas ($p < 0,01$) no período da tarde para cabeça, dorso, pernil e temperatura média. O grau de lesão foi avaliado por meio de uma escala ordinal, que variou de 0 a 4, sendo 4 o mais alto grau de lesão. Houve maior ocorrência de lesões no corpo nas categorias 2, 3 e 4 para os machos ($p = 0,0257$), independente do EA. Houve maior ocorrência (91,30%) de carne vermelha, firme e não exaustiva (RFN) para animais enriquecidos com a corda ramificada e para machos (88,57%) em relação às fêmeas (83,33%). Não houve efeito ($p > 0,05$) da interação e dos fatores individuais para peso dos ossos e tendões. Houve tendência ($p = 0,08$) da interação para força de flexão, sendo maior nos machos enriquecidos com as cordas e as correntes ramificadas. Para tensão de ruptura, houve efeito da interação ($p = 0,04$), sendo as fêmeas sem EA as que apresentaram menor tensão de ruptura, sem efeito da umidade. Portanto, o uso de cordas e correntes ramificadas garante desempenho zootécnico e comportamentos adequados de suínos, melhora a qualidade da carne nos machos e fortalece a estrutura óssea dos animais na fase de terminação, sem afetar a fisiologia e o grau de lesões, sendo uma importante estratégia utilizada para atender às exigências de bem-estar animal.

Palavras-chave: Bem-estar animal, Suínos, Enriquecimento ambiental, Qualidade da carne, Biomecânica óssea

ABSTRACT

Environmental enrichment, bone biomechanics and animal welfare in the production of finishing pigs

The objective of this work was to evaluate the zootechnical performance, behavior and meat quality of swine with or without access to environmental enrichment (EE) in the finishing phase and the effects on the bone structure of the animals, using biomechanical techniques. The research was carried out in an experimental farm and in a swine slaughterhouse, located in the southern region of Brazil. A total of 432 pigs, male and female, of the HS strain, with initial weight between 22-27 kg (63-70 days of age) and average final weight between 110-125 kg (183-190 days of age) were housed during 112 days of experimentation. The experimental design used was in randomized blocks, with 6 treatments, distributed in a 2x3 factorial arrangement (sex x environmental enrichment) and 12 replications per treatment, totaling 72 pens. The treatments were: branched chain for males (T1); branched sisal rope for males (T2), control for males – no use of EE (T3); branched chain for females (T4); branched sisal rope for females (T5) and control for females – without use of EE (T6). At the end of the experimental period, all animals were slaughtered in an industrial slaughterhouse, and 72 animals was collected the femur bone for the analysis of bone biomechanics and the part of the muscle (*longissimus dorsi*) was collect too for sensory analysis of meat quality. Univariate and multivariate techniques were employed through linear and generalized models, with or without random effects. Females from light/medium blocks enriched with branched sisal rope showed greater environmental interaction (IMA) in the morning, compared to males. Object interaction (IB) was higher in the morning for light males and females of light/medium blocks with branched sisal rope. With branched chains, light males had higher BI in the morning, while both sexes of the medium block had higher BI in the afternoon. Males and females without EE were less calm and had higher IMA in the afternoon. Temperatures were higher ($p<0.0.1$) in the afternoon for head, back, ham and average temperature. The degree of injury was assessed using an ordinal scale, which ranged from 0 to 4, with 4 being the highest degree of injury. There was a higher occurrence of body injuries in categories 2, 3 and 4 for males ($p=0.0257$), regardless of the EE. There was a higher occurrence (91.30%) of red, firm and non-exhaustive meat - RFN for animals enriched with the branched cord and for males (88.57%) in relation to females (83.33%). There was no effect ($p>0.05$) of interaction and individual factors on bone and tendon weight. There was a tendency ($p=0.08$) of the interaction for bending force, being higher in males enriched with ropes and branched chains. For tensile strength, there was an interaction effect ($p=0.04$), with females without EE being the ones that showed lower tensile strength, with no effect of humidity. Therefore, the use of ropes and branched chains guarantees zootechnical performance and adequate behaviors of pigs, improves meat quality in males and strengthens the bone structure of animals in the finishing phase, without affecting the physiology and degree of injuries, being an important strategy used to meet animal welfare requirements.

Keywords: Animal welfare, Swine, Environmental enrichment, Meat quality, Bone biomechanics

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

| | | |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – | Principais articulações e estruturas anatômicas onde ocorrem as lesões de osteocondrose em suínos | 22 |
| Figura 2 – | Identificação individual dos animais com uso de brincos na orelha para monitoramento e rastreabilidade do lote | 27 |
| Figura 3 – | Galpão de alvenaria para alojamento dos animais em estudo | 28 |
| Figura 4 – | Alojamento dos suínos em baias na granja experimental..... | 31 |
| Figura 5 – | Enriquecimentos ambientais do tipo corrente ramificada (EA) e corda de sisal ramificada (EB) inseridas nas baias | 32 |
| Figura 6 – | Croqui experimental da pesquisa a campo, considerando 6 tratamentos: corrente para machos (T1); corda para machos (T2), grupo controle para machos – sem uso de enriquecimento ambiental (T3); corrente para fêmeas (T4); corda para fêmeas (T5), grupo controle para fêmeas – sem uso de enriquecimento ambiental (T6), sendo fêmeas (F) e machos (M) | 34 |
| Figura 7 – | Fluxograma de pesquisa (SE – grupo controle sem enriquecimento; EA – enriquecimento “Corrente ramificada”; EB – enriquecimento “Corda de sisal ramificada”) | 36 |

CAPÍTULO II

| | | |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – | Enriquecimentos ambientais do tipo corrente ramificada (EA) e corda de sisal ramificada (EB) inseridas nas baias, conforme padrão estabelecido no estudo..... | 48 |
| Figura 2 – | Animal selecionado para análise comportamental (identificado no dorso com bastão marcador azul) | 49 |
| Figura 3 – | Probabilidade de ocorrência de cada comportamento das fêmeas (A) e machos (B) no período da manhã e fêmeas (C) e machos (D) no período da tarde. Classificações de comportamento dos animais: calmo (C), alimentando (AL), locomovendo (L), interação animal (IA), interação meio ambiente (IMA), interação objeto (IB) e agressivo (A) | 53 |

CAPÍTULO III

| | | |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – | Lesões por caudofagia e mordedura de orelha (A) e Padrão para avaliação de lesão de cauda e orelha (B) | 67 |
| Figura 2 – | Padrão de classificação de claudicação. Protocolo Feet First Pontuação do Sistema Locomotor de Suínos® | 68 |
| Figura 3 – | Padrão PorkQuality (National Pork Board) para análise da carne suína | 69 |
| Figura 4 – | Frequências de ocorrência de lesão considerando a interação “corpo x sexo x tipo de enriquecimento” | 73 |
| Figura 5 – | Distribuição do tipo de carne de acordo com o enriquecimento ambiental (A) e o sexo (B) | 75 |

CAPÍTULO IV

| | | |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – | Enriquecimentos ambientais do tipo corrente ramificada (EA) e corda de sisal ramificada (EB) | 86 |
| Figura 2 – | Amostras identificadas do osso fêmur dos suínos para análise de biomecânica | 87 |
| Figura 3 – | Equipamento para teste de força de flexão do osso fêmur de suíno | 88 |
| Figura 4 – | Osso fêmur de suíno rompido após o teste de flexão | 89 |

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

| | | |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - | Tipos de ração comercial fornecida conforme a idade do animal | 29 |
| Tabela 2 - | Padrão de arraçamento utilizada na granja experimental | 30 |
| Tabela 3 - | Tipos de tratamentos considerando o tipo de enriquecimento e o sexo do animal..... | 33 |

CAPÍTULO II

| | | |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Tabela 1 - | Etograma utilizado para avaliação do comportamento dos animais durante o período experimental..... | 47 |
| Tabela 2 - | Índices zootécnicos de suínos (machos e fêmeas) na fase de terminação..... | |
| Tabela 3 - | Frequência de cada comportamento em relação aos tipos de tratamentos | 51 52 |

CAPÍTULO III

| | | |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - | Padrão para avaliação de lesão corporal em suínos em diferentes áreas do corpo: frente, meio do corpo e traseiro | 68 |
| Tabela 2 - | Frequência de ocorrência de lesões (%) no corpo dos animais | 73 |

CAPÍTULO IV

| | | |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - | Força de flexão e tensão de ruptura dos ossos de suínos (machos e fêmeas) com e sem uso de enriquecimento ambiental | 91 |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

LISTA DE QUADROS**CAPÍTULO I**

| | | |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - | Resultados obtidos na produção de suínos com aplicação de diferentes tipos de enriquecimento ambiental | 25 |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o quarto maior produtor e exportador mundial de carne suína, com 4,53% da produção global em 2020. Atualmente, a maioria da população brasileira já reconhece a carne suína como uma proteína saudável, devido ao rigoroso controle sanitário existente (ABPA, 2021). Para garantir o acesso e a manutenção no mercado mundial de proteína, a oferta de produtos seguros e sustentáveis tornou-se um dos compromissos da suinocultura atual. Dentre as principais tendências de mercado, o tema bem-estar animal vem ganhando destaque entre os consumidores, setores produtivos e governos.

A Organização Mundial para Saúde Animal (OIE) definiu bem-estar animal como o estado físico e mental de um animal em relação às condições em que ele vive e morre (OIE, 2021) e incluiu, no Código Sanitário para Animais Terrestres, oito princípios orientadores de bem-estar animal. Dentre os princípios, destacam-se as “cinco liberdades” internacionalmente reconhecidas (livre de fome, sede e desnutrição; livre de medo e angústia; ausência de desconforto físico e térmico; livre de dor, lesão e doença; e liberdade para expressar padrões normais de comportamento). O modelo dos “cinco domínios” é uma atualização das “cinco liberdades” tendo como base a fisiologia dos animais e os efeitos que teria sobre a experiência afetiva (termo que faz referência à experiência subjetiva da emoção – sentimentos e sensações). No atual modelo dos “cinco domínios” são incorporados princípios de experiências positivas em detrimento às experiências negativas. Os “cinco domínios” são 1. Nutrição (consumo adequado de alimentos nutritivos sendo uma experiência agradável e permanente); 2. Ambiente (boas condições que ofereça conforto e segurança); 3. Saúde física (cuidados que garantem robustez e vitalidade); 4. Interações Comportamentais: atividades variadas e desafios que sejam gratificantes e 5. Estado mental ou afetivo (evitar experiências negativas relacionadas com a sobrevivência e priorizar conforto, prazer, interesse, confiança).

Da mesma forma, nas últimas décadas, a Comunidade Europeia editou várias regulamentações, estabelecendo padrões mínimos aceitáveis de bem-estar para os animais de produção, sendo a mais representativa a Diretiva 2008/120/CE (CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2008).

No Brasil, o MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO), por meio da Secretaria da Defesa Agropecuária, publicou a Instrução Normativa nº 113, de 16 de dezembro de 2020 (BRASIL, 2020), e estabeleceu as boas práticas de manejo e bem-estar animal nas granjas de suínos de criação comercial. Em relação aos indicadores de bem-estar animal, de forma geral, determinou-se (Art. 43) que os suínos

devem ter acesso a um ambiente enriquecido, para estimular as atividades de investigação e manipulação e reduzir o comportamento anormal e agonístico. Todas as orientações estão alinhadas com as diretrizes da OIE para a produção de suínos (OIE, 2021), que caracteriza enriquecimento ambiental como aumento da complexidade do ambiente para promover a expressão do comportamento normal, fornecer a estimulação e reduzir a expressão de comportamento anormal, com o objetivo de melhorar o estado físico e mental do animal.

Ainda, mais recentemente, a Portaria nº 365 de julho de 2021, aprova o regulamento técnico de manejo pré-abate e abate humanitário e métodos de insensibilização, além de tornar obrigatório os programas de autocontrole de bem-estar animal. O processo de bem-estar no abate passa por diferentes áreas, se inicia no transporte dos animais da granja até o frigorífico, passando pelo manejo pré-abate, pelas áreas de descanso e instalações até o abate em si.

As estratégias utilizadas para melhorar o bem-estar animal, como o uso de enriquecimento ambiental (EA), podem aliviar o estresse, estimular o crescimento, promover a saúde do animal, aumentar o peso de abate e melhorar o desempenho zootécnico em suínos de 7 a 13 semanas quando brinquedos ou objetos são usados como enriquecimento ambiental nas granjas em espaços de 0,7-0,9 m²/suínos.

Deve-se considerar que o enriquecimento ambiental afeta o desenvolvimento comportamental e a capacidade de aprendizagem de leitões, assim como aumenta a atividade, o abanar do rabo e o comportamento de brincar de suínos em crescimento, típico de animais desta espécie. Por outro lado, estudos apontam que animais criados em um sistema enriquecido com cama sobreposta são mais ativos e visitam os bebedouros com maior frequência, enquanto a adoção de toras de madeira suspensas como EA reduz a incidência de interações agressivas/prejudiciais entre os animais.

Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2021), a União Europeia, que corresponde à segunda maior participação mundial na produção de carne suína, os suínos estão amparados legalmente para o acesso ao enriquecimento ambiental, o qual deve ser disponibilizado a todos os animais em todas as fases produtivas (CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2008). Todavia, existem poucos estudos no Brasil sobre os impactos do uso do enriquecimento ambiental na fase de terminação dos suínos.

O objetivo geral do trabalho foi avaliar se o uso do enriquecimento ambiental afeta o desempenho dos suínos criados com e sem enriquecimento ambiental na fase de terminação. Já os objetivos específicos foram:

- a) Avaliar o uso de enriquecimento ambiental nos índices zootécnicos e comportamentais de suínos em fase de terminação;
- b) Avaliar o uso do enriquecimento ambiental sobre a qualidade final da carne de suínos em fase de terminação;
- c) Avaliar o uso do enriquecimento ambiental na estrutura/resistência óssea dos suínos na fase de terminação.

Desta forma, a tese será apresentada em quatro capítulos, sendo o conteúdo distribuído da seguinte forma:

- a) Capítulo 1: Introdução Geral, Revisão Bibliográfica, Material e Método;
- b) Capítulo 2: Enriquecimento ambiental e seus efeitos sobre os índices zootécnicos e comportamentais de suínos em terminação;
- c) Capítulo 3: Enriquecimento ambiental e seus efeitos sobre a qualidade final da carne de suínos em terminação;
- d) Capítulo 4: Enriquecimento ambiental e seus efeitos sobre a biomecânica dos ossos de suínos em terminação;
- e) E por último, as Considerações Finais.

Os capítulos 2, 3 e 4, correspondentes aos artigos científicos, estão redigidos e formatados de acordo com as normas da revista *Animals* (ISSN 2076-2615), para a qual serão posteriormente a defesa e aprovação da tese, submetidos a publicação.

Ao final da tese, são apresentadas as Considerações Finais, que buscam trazer as principais implicações do trabalho para a área de estudo.

1.2. Revisão bibliográfica

1.2.1. Panorama comercial da suinocultura

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos, tendo grande aptidão para a produção agropecuária. Em 2020, 70,91% do abate de suínos ocorreu na região Sul do país, nos estados de SC (30,73%), PR (21,10%) e RS (19,08%), que responderam, juntos, por 91,06% das exportações (ABPA, 2021). 98,5% dos lares brasileiros consomem algum tipo de proteína animal de maneira regular e a maioria da população brasileira já reconhece a carne suína como proteína saudável, devido ao rigoroso controle sanitário existente atualmente (ABPA, 2021). Para atingir esse cenário, todas as cadeias do setor suinícola têm trabalhado alinhadas com alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) e com o conceito de Saúde Única (*One Health*) estabelecido pela Organização Mundial para Saúde Animal (OIE). O conceito de Saúde Única relaciona o bem-estar animal, o bem-estar humano e o meio ambiente, que se conectam em uma só saúde, mostrando que saúde humana, animal, e ambiental estão interconectadas e que devem ser trabalhadas de modo único para que haja equilíbrio no ambiente (MAPA, 2020).

Os consumidores, por sua vez, estão cada vez mais informados e pressionam as cadeias produtivas por padrões elevados de sustentabilidade e produção ética. Nesse sentido, a produção de suínos em ambientes intensivos deve atender às demandas de um consumidor moderno, que não deseja apenas atributos sensoriais da carne, como também o cumprimento de questões éticas relacionadas ao bem-estar dos animais, qualidade de vida das pessoas envolvidas e os cuidados com o meio ambiente (MAPA, 2020).

Nesse cenário, a forma como os animais são produzidos, alojados, transportados e abatidos adquire papel central no processo de produção da carne suína brasileira. Por isso, o tema bem-estar animal deixou de ser um mero valor agregado ao produto para se tornar critério obrigatório para quem deseja manter-se competitivo no mercado mundial.

1.2.2. Enriquecimento ambiental

A Organização Mundial para Saúde Animal (OIE, 2021) caracteriza enriquecimento ambiental (EA) como um ambiente que proporcione complexidade, manipulação e estimulação cognitiva para estimular o comportamento normal da espécie, reduzir o comportamento anormal e melhorar o seu estado físico e mental. Portanto, o EA consiste na promoção de um ambiente diversificado, com uso de materiais e procedimentos adequados, permitindo ao suíno demonstrar o comportamento típico da sua espécie e minimizar os eventos estressantes ao seu redor (BRASIL, 2020). Esses materiais podem proporcionar a

exploração e procura de alimentos (materiais comestíveis), mordida (materiais mastigáveis), raiz (materiais investigáveis) e manipulação de materiais, seja pela novidade, interação social e pelo contato positivo humano-animal (OIE, 2021).

Mundialmente, existe uma clara demanda dos cidadãos por sistemas de criação de suínos mais adequados às espécies com vários elementos de alojamento enriquecedores que garantem um comportamento adequado e bem-estar animal. Em estudo recente (SCHÜTZ; BUSCH; SONNTAG, 2020), elementos de enriquecimento naturais como cama de palha foram avaliados positivamente, enquanto objetos como bloco de plástico, mangueira de borracha, corda e bloco de madeira não tiveram a mesma aceitação. No Brasil, para atender as normas vigentes, devem-se criar formas que possam ser disponibilizados um ou mais materiais para manipulação, que não comprometam a saúde dos animais a exemplo de palha (MARCET-RIUS et al., 2019; WANG et al., 2020), feno (DUŠANKA et al., 2018; LAHRMANN et al., 2018), cordas (BACKUS; McGLONE, 2018; NANNONI et al., 2018), correntes (NANNONI et al., 2018), madeira (GIULIOTTI et al., 2019), serragem (CASAL-PLANA et al., 2017; LUO et al., 2019), borracha (LI, Y. et al., 2021) e plástico (GODYN; NOWICKI; HERBUT, 2019; MISRA et al., 2021).

Conforme as características dos materiais, os enriquecimentos ambientais podem ser classificados em: “ótimos”, “sub-ótimos” e “interesse marginal”. Os enriquecimentos ótimos são aqueles que possuem todas as características desejáveis e podem ser utilizados sozinhos. A categoria “sub-ótimo” contempla a maioria das características desejáveis e deve ser utilizada em combinação com outros materiais, sendo exemplos: casca de arroz, areia e cordas. As correntes, por sua vez, são classificadas como “interesse marginal”, pois proporcionam distração aos animais (MAPA, 2020), entretanto, não satisfazem todos os requisitos essenciais e devem ser fornecidas junto com materiais ótimos e sub-ótimos (GODYN; NOWICKI; HERBUT, 2019).

Na literatura científica, o termo enriquecimento ambiental refere-se ao provimento de substratos orgânicos (palha, casca de arroz) oferecidos no chão em grandes quantidades e dos popularmente denominados “brinquedos”, ambos disponibilizados no ambiente onde os animais estão alojados (FOPPA et al., 2018). Segundo levantamento realizado pelo MAPA (2020), os principais objetos utilizados como enriquecimento ambiental nas granjas brasileiras em 2018 foram: correntes metálicas (69,3%), galões de plásticos (44,5%), pedaços de madeira (26,1%), pneus (17,7%), terra (12,5%), tubos de PVC (11,6%), grama/capim (9,2%), música (6,9%), pedras (6,6%), cordas de plástico (4,1%) e mangueiras de plástico (3,6%).

No cenário mundial, 9 especialistas em bem-estar de suínos avaliaram um subconjunto de 64 materiais (BRACKE, 2018), sendo solo florestal, volumoso, beterraba forrageira, silagem de milho, capim (silagem), palha inteira com beterraba picada raízes, com silagem de milho ou com alimentação adicional, um fardo de palha, palha longa com abeto galhos e palha com casca e galhos da floresta os materiais considerados como enriquecimento aceitável. Posteriormente, outros autores (BRACKE; KOENE, 2019) investigaram o enriquecimento adequado como uma das muitas medidas para prevenir e tratar a mordedura de cauda em suínos e concluíram que o uso de correntes ramificadas, acrescentando “ramos”, com várias cadeias curtas terminando com duas a três extremidades na altura do focinho dos animais, já vem sendo recomendado como um primeiro passo para o enriquecimento adequado na criação intensiva de suínos.

Ao comparar diferentes materiais de enriquecimento indestrutíveis (como corrente no chão, madeira dura, tubulação, corrente lisa e curta, bola pequena e bola grande e corrente pendurada muito alta), e classificá-los como “alto” e “baixo” bem-estar (BRACKE; KOENE, 2019), as cadeias ramificadas obtiveram maior pontuação e seu índice de bem-estar ficou próximo ao pré-definido nível de aceitabilidade (5,5 em uma escala de 0, considerado “pior”, a 10, considerado “melhor”). A eficácia de um objeto de enriquecimento pode ser observada pela sua capacidade de redirecionar comportamentos indesejáveis e anormais, como agressão e estereotípias (comportamento repetitivo induzido pela frustração, repetidas tentativas de lidar ou disfunção do sistema nervoso central - OIE, 2021) para a expressão de comportamentos inatos à espécie (FOPPA et al., 2018). Todavia, um erro comum é a escolha inapropriada do tipo de enriquecimento em relação à espécie animal, desconhecendo o seu comportamento inato ou mesmo sendo um material que possa causar injúria ao animal.

Os suínos são animais naturalmente curiosos e têm um alto nível de motivação para expressar o comportamento de fuçar, cavar, comportamentos orais e de mascar (HFAC, 2018). Esses animais já demonstraram preferência por brinquedos que podem ser mastigados, como correntes, cordas e palha picada, refletindo o comportamento exploratório da espécie (LAHRMANN et al., 2018). Em estudo recente (SANTOS et al., 2021), os suínos preferiram como enriquecimento a corda de sisal quando comparada à corrente e à garrafa plástica *pet*. Por sua vez, as correntes ramificadas têm sido avaliadas quanto à sua capacidade de diminuir lesões gástricas e de pele em suínos em crescimento e terminação (MAPA, 2020), pois facilitam a interação dos suínos com o objeto, independentemente do tamanho do animal. Além disso, apresentam durabilidade e permitirão que os suínos tenham contato simultâneo com a corrente, promovendo benefícios sociais e a sincronização de comportamentos.

Diferentes resultados podem ser encontrados de acordo com o tipo de enriquecimento utilizado como item musical (CIBOROWSKA; MICHALCZUK; BIEN, 2021; LI, J. et al., 2021) e estímulos sensoriais (SARTOR et al., 2018), como estímulos olfativos (difusão do óleo essencial de tomilho) e visuais (iluminação azul), que reduzem a permanência dos leitões em áreas suscetíveis ao esmagamento, nas proximidades da porca. O uso de um elemento musical, por exemplo, pode afetar positivamente a saúde e o desempenho produtivo dos animais, aumentando a sensação de relaxamento (CIBOROWSKA; MICHALCZUK; BIEN, 2021), resposta ao estresse e resposta imune (LI, J. et al., 2021). Porém, o tempo de exposição aos sons e sua intensidade devem ser considerados, assim como a frequência das ondas sonoras. Para uso na pecuária, a escolha do gênero, o volume da música e o ritmo são fatores importantes, uma vez que algumas faixas musicais promovem relaxamento (música clássica, música de relaxamento e meditação), enquanto outras (*heavy metal* e música *tecno*) têm o efeito oposto, com risco de aumentar o estresse ou mesmo provocar arritmia cardíaca (CIBOROWSKA; MICHALCZUK; BIEN, 2021). Além disso, períodos sem estimulação auditiva também devem ser fornecidos e são igualmente importantes e necessários para o bem-estar animal.

1.2.3. Desempenho zootécnico

Suínos comumente passam por um conjunto de procedimentos invasivos desde o nascimento ao abate, que podem incluir castração cirúrgica, corte de cauda e corte dos dentes. Esses procedimentos potencialmente resultam em dor e estresse, que podem afetar negativamente a saúde, o bem-estar e o desempenho dos animais (MORGAN et al., 2019). As estratégias utilizadas para melhorar o bem-estar animal, como o uso de enriquecimento ambiental, podem aliviar o estresse, estimular o crescimento e promover a saúde do animal (HUBERT, 2019), além de reduzir a ansiedade, proteger de estressores e influenciar a sensibilidade à dor (BACKUS; McGLONE, 2018).

Animais expostos a diferentes tipos de enriquecimento, como jornal, terra, bola e corda, (BACKUS; McGLONE, 2018), cordas de cânhamo natural, serragem e bolas de borracha (CASAL-PLANA et al., 2017) e juta, cordas de algodão e palha (MORGAN et al., 2019) apresentaram maior peso corporal, especialmente quando procedimentos invasivos, como a castração cirúrgica, corte de cauda e dentes foram evitados (MORGAN et al., 2019). Animais foram também mais ativos que os leitões criados sem enriquecimento (BACKUS; McGLONE, 2018), e demonstraram efeito na resposta imune, com redução no número de

leucócitos e na proporção de neutrófilos para linfócitos. Porém, não houve nenhum efeito sobre o sofrimento induzido pela dor de castração e corte da cauda. Em outro estudo, houve diminuição do cortisol salivar (indicador de estresse agudo) do nascimento ao abate (MORGAN et al., 2019), o que sugere um aumento esperado de 1,48 a 1,92 bilhões de dólares se aplicado à suinocultura americana.

O fornecimento de brinquedos como borracha estrelada e corrente de ferro, usados como enriquecimento ambiental em espaços de 0,7-0,9 m²/suínos, melhorou o desempenho zootécnico e o bem-estar dos animais de 7 a 13 semanas de idade quando comparados com espaço de 0,5 m²/suíno (LI, Y. et al., 2021). Da mesma forma, a maior disponibilidade de espaço para suínos em terminação (1,28 m²/suíno) associada a objetos de enriquecimento (estruturas plásticas, cordas de sisal, pedaços de madeira no chão das baias e correntes de metal suspensas) melhorou os resultados para peso final, ganho de peso diário e conversão alimentar, sem afetar o comportamento dos animais (CALDAS et al., 2020). Levando em consideração o enriquecimento ambiental de suínos em crescimento e terminação, o espaço maior parece ser um fator chave para proporcionar conforto animal (GODYN; NOWICKI; HERBUT, 2019).

A associação de aparas de madeira (como cama) com brinquedos pendurados nas baias melhorou o desempenho de leitões e a ocorrência de comportamentos típicos e desejáveis (OLIVEIRA et al., 2016). Em outros casos, o uso de cordas, correntes e outros materiais não afetaram o desempenho dos animais (consumo diário de ração, ganho de peso diário, conversão alimentar e peso), mas garantiram parâmetros de bem-estar semelhantes (NANNONI et al., 2018), sugerindo a necessidade de pesquisa mais ampla sobre o design e a função do tipo de enriquecimento escolhido.

1.2.4. Comportamento dos suínos

Os suínos têm uma propensão natural para comportamentos de socialização, exploração e mastigação (GIULIOTTI et al., 2019). O enriquecimento ambiental afeta o desenvolvimento comportamental e a capacidade de aprendizagem de leitões, quando fornecido na forma de blocos, em que os animais poderiam empurrar os blocos pelo chão da baia (RALPH; HEBART; CRONIN, 2018), aumenta a atividade de abanar o rabo e o comportamento de brincar de suínos em crescimento (LI, J. et al., 2021) e diminui o comportamento ocioso quando os suínos têm a possibilidade de escolher brinquedos (SANTOS et al., 2021). A longo prazo, especula-se que os suínos expostos ao enriquecimento estariam mais bem preparados para lidar com desafios e, portanto, poderiam adaptar-se mais

rapidamente a novos ambientes. Está comprovado que o enriquecimento ambiental fornecido na fase neonatal melhora as habilidades de manipulação e pode facilitar comportamento social em estágios posteriores da vida do animal (GODYN; NOWICKI; HERBUT, 2019).

Da mesma forma, suínos em terminação criados em um sistema enriquecido com cama sobreposta foram mais ativos e visitaram os bebedouros com mais frequência (AMARAL et al., 2021), assim como fêmeas suínas enriquecidas com palha apresentaram maior comportamento de construção do ninho, incluindo maiores frequência e duração do comportamento. A palha aumentou o comportamento exploratório dos suínos de 70 a 170 dias de idade, quando comparada ao papel, correntes e madeira (FÀBREGA et al., 2019). A palha já foi considerada como a solução ideal para alojamento de suínos, no entanto, existem algumas limitações na sua utilização em grande quantidade, portanto, outros objetos e brinquedos têm sido utilizados como enriquecimento na produção de suínos (GODYN; NOWICKI; HERBUT, 2019). Não se pode concluir, a partir desses dados, que os animais apresentaram maior grau de bem-estar com o uso de diferentes materiais, porém, quando os indivíduos são incapazes de expressar os seus comportamentos naturais, por exemplo, em ambientes pouco enriquecidos, atividades anormais ou estereotípias podem surgir.

A mordida da cauda, por exemplo, é um sério problema para o bem-estar animal na suinocultura moderna (BUIJS; MUNS, 2019). Os surtos de mordidas de cauda podem ser evitados fornecendo aos suínos acesso a material de enriquecimento extra, como pequena quantidade de palha no chão ou feno nas baias, assim que o primeiro dano de cauda for notado (LAHRMANN et al., 2018). Materiais como forragem, sacos de juta, madeira fresca, divisórias de espaço, corda e fornecimento de novos objetos regularmente podem reduzir significativamente os danos na cauda, porém, outros fatores que influenciam a mordida da cauda também devem ser investigados (BUIJS; MUNS, 2019). A redução de comportamentos anormais como estereotípias e comportamentos redirecionados associados ao uso do enriquecimento com cordas, bolas de borracha e serragem (CASAL-PLANA et al., 2017), podem ter também efeitos comerciais e implicações relacionadas ao desenvolvimento de estratégias para reduzir as mordidas de cauda e evitar o corte da cauda, além de aumentar o comportamento exploratório nos suínos machos (CASAL-PLANA et al., 2017; FÀBREGA et al., 2019). Interações agressivas também foram reduzidas com a adoção de toras de madeira suspensas para suínos em crescimento, sem efeito nos demais comportamentos, proporcionando um ambiente mais confortável e sugerindo maior bem-estar dos animais (GIULIOTTI et al., 2019).

1.2.5. Qualidade e biomecânica óssea

A saúde do aparelho locomotor dos suínos em crescimento tem recebido atenção nos últimos tempos, uma vez que as lesões nos membros e cascos de leitões, suínos em crescimento e reprodutores são comuns na produção intensiva (MAPA, 2020). Dentre as complicações locomotoras, as perdas relacionadas à claudicação representam de 1 a 5% da produção e incluem menor ingestão de alimentos, perdas de desempenho e descarte precoce (SCHWARTZ; MADSON, 2014; WADDELL, 2015).

A osteocondrose, doença degenerativa e não infecciosa da cartilagem articular epifiseal e da placa de crescimento (Figura 1), é considerada a principal causa de fraqueza nas pernas dos suínos, sendo a segunda razão para o abate das fêmeas suínas, depois dos problemas de fertilidade (GREVENHOF et al., 2012). Ela é decorrente de falha no processo de ossificação endocondral e reconhecida como a principal causa de claudicação de origem articular ou estrutural em suínos de rápido crescimento (SCHWARTZ; MADSON, 2014), assim como a principal causa de artrite em suínos abatidos, levando a perdas econômicas e reduzindo o bem-estar animal (IBELLI et al., 2018; OIE, 2021).

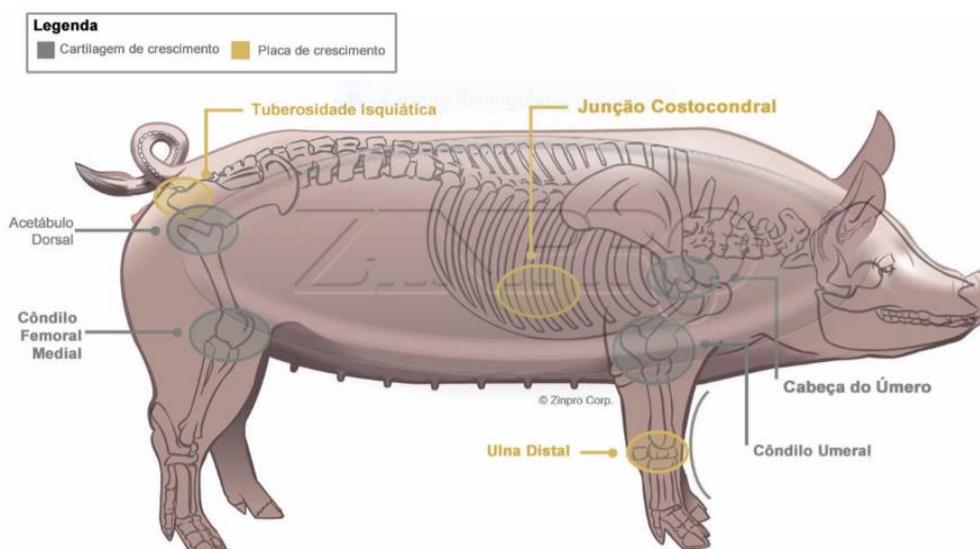


Figura 1. Principais articulações e estruturas anatômicas onde ocorrem as lesões de osteocondrose em suínos (CARLSON, 2011)

De acordo com a Organização Mundial para a Saúde Animal (OIE, 2021), taxas de doenças infecciosas e metabólicas, claudicação, problemas nas pernas e nos cascos, lesões e outras formas de morbidade, acima dos limites reconhecidos, podem ser indicadores diretos ou indiretos de bem-estar animal no nível do rebanho. Além disso, as características do

ambiente em que os animais são criados têm impacto significativo na integridade e saúde do aparelho locomotor (MAPA, 2020).

Os sistemas de produção animal frequentemente consistem em instalações simples e monótonas, com pouca ou nenhuma oportunidade para que os animais expressem comportamentos inatos (MAPA, 2020). O enriquecimento ambiental torna-se uma importante estratégia para favorecer os comportamentos de socialização, exploração e mastigação (GIULIOTTI et al., 2019), além da locomoção (GÜZ et al., 2021), promovendo aumento na mobilidade e na saúde do tecido ósseo do animal.

Em frangos de crescimento lento, os mecanismos fisiológicos relacionados à ossificação e mineralização foram beneficiados pelo enriquecimento ambiental com poleiros, rampas e plataformas, demonstrando melhores características da tíbia (GÜZ et al., 2021). Em outros casos, o uso de enriquecimento ambiental não influenciou o desempenho zootécnico, mas foi benéfico para aumentar o ganho de massa muscular e óssea nas principais partes comerciais da carcaça de frangos de corte (NAZARENO et al., 2022).

Em estudo recente (SKIBA et al., 2022), a suplementação de uma dieta com fonte orgânica de zinco para leitões desmamados também aumentou o grau de mineralização óssea e os parâmetros de resistência óssea, uma vez que o zinco desempenha várias funções fisiológicas e, como componente de muitas metaloenzimas, está envolvido em quase todos os processos metabólicos no animal. Por sua vez, para suínos em crescimento e terminação, considerando o impacto no desempenho produtivo e econômico da produção, e sua relação com o bem-estar animal, não existem estudos que avaliem os benefícios do enriquecimento ambiental sobre a estrutura óssea dos animais.

1.2.6. Qualidade da carne suína

A qualidade da carne, do ponto de vista técnico, assume vários aspectos, que compreendem desde a qualidade nutricional, a qualidade tecnológica para comercialização *in natura* e para processamento, a qualidade do ponto de vista sensorial e a segurança quanto à presença de resíduos ou contaminantes (BERTOL, 2019). Os padrões desejáveis para vários atributos relativos à qualidade tecnológica e sensorial da carne suína incluem pH final de 5,6 a 5,9, coloração de rosa avermelhado a vermelho púrpura, aparência com superfície não aquosa, textura firme, escore de marmoreio de 2 a 4, perda de fluidos por gotejamento menor ou igual a 2,5% do peso da carcaça e força de cisalhamento menor do que 3,2 kg (BERTOL, 2019). As características sensoriais da carne suína, incluindo aroma, textura, maciez, cor e aparência

(coloração e exsudação), são extremamente relevantes e influenciam sensivelmente a decisão dos consumidores na hora da compra do produto.

Praticamente todos os desvios de qualidade encontrados nas carcaças e nos cortes suínos têm origem no manejo pré-abate e nas operações pós-abate (BRANDT; AASLYNG, 2015; DALLA COSTA et al. 2017; DALLA COSTA et al., 2018; DRIESSEN et al., 2020; LUDKE et al., 2016). Se as condições de manejo proporcionarem estresse e sofrimento ao animal, isso refletirá negativamente na qualidade da carne (ČOBANOVIĆ et al., 2016; DALLA COSTA et al. 2019; DRIESSEN et al., 2020; GRANDIN et al., 2017; GUIMARÃES et al., 2017; ZHEN et al., 2013). Após a morte do suíno ocorre um processo metabólico que converte o músculo em carne. Esse processo decorre da conversão do glicogênio muscular para ácido láctico, sendo mais rápido no suíno quando comparado a outras espécies como bovinos e ovinos. Alterações neste metabolismo post mortem podem resultar em anomalias na qualidade da carne, sendo as mais comuns a carne pálida, flácida e exsudativa (PSE) e a carne escura, firme e seca (DFD). A incidência de carne PSE, caracterizada principalmente pela menor capacidade de retenção de água e cor anormal do meio (ZEQUAN et al., 2021), é muito mais frequente e impactante na qualidade final de produtos cozidos do que a DFD, podendo causar sérios prejuízos às indústrias (CIBOROWSKA et al., 2021; LIU et al., 2022; LUDKE et al., 2016; THÉRON et al., 2019; ZEQUAN et al., 2021).

O bem-estar animal tem um impacto positivo na qualidade do produto, na segurança alimentar e na aceitação dos consumidores (CASAL et al., 2018; CHOU et al., 2020; MKWANAZI et al., 2019; GODYN; NOWICKI; HERBUT, 2019). Alguns manejos realizados nas diferentes fases da vida do animal estão diretamente ligados à qualidade de carne, sendo assim, boas condições de manejo são de fundamental importância para garantir o bem-estar animal (GODYN; NOWICKI; HERBUT, 2019 + autores). O enriquecimento ambiental é uma importante estratégia de manejo prevista na legislação nacional (BRASIL, 2020) e internacional (CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2008; OIE, 2021) visando reduzir o comportamento anormal e agonístico e melhorar o bem-estar animal e a qualidade do produto final.

O uso de pequena quantidade de palha e feno (100 g/animal/dia) melhorou a qualidade da carne de suínos, diminuindo a incidência de carne escura, firme e seca (DFD) (DUŠANKA et al., 2018). O enriquecimento com palha também propiciou diminuição nas lesões cutâneas de suínos machos em comparação aos suínos enriquecidos com papel, com menor porcentagem de comportamento social negativo (FÀBREGA et al., 2019). No entanto,

a qualidade da carne e da carcaça não foram afetadas pelos diferentes enriquecimentos utilizados (palha, papel, correntes e madeira).

Em estudos anteriores, a qualidade da carne e da carcaça de suínos não foi afetada pelo fornecimento de enriquecimento ambiental como toras de madeira ou blocos comestíveis, em alternativa às correntes metálicas suspensas comuns (VITALI et al., 2019), embora os suínos alimentados com compostos fitoterápicos à base de plantas (contendo *Valeriana officinalis* e *Passiflora incarnata*) e enriquecidos com cordas, serragem e bolas de borracha (CASAL et al., 2018) apresentaram maior peso corporal em relação ao grupo controle. Em outras espécies animais, como tilápias, os enriquecimentos ambientais (caverna, aguapé) e alimentar (triptofano) resultaram em carne com melhor qualidade em termos de cor e textura, impactando de forma eficiente na qualidade do produto ofertado (FAVERO NETO et al., 2019).

1.2.7. Resultados de pesquisas

Diversos estudos têm mostrado diversos benefícios em relação a aplicação do enriquecimento ambiental na produção de suínos em diferentes fases de criação, quando observado seus efeitos sobre o desempenho, o comportamento e a qualidade de carne destes animais (Quadro 1).

Quadro 1 – Resultados obtidos na produção de suínos com aplicação de diferentes tipos de enriquecimento ambiental

| Autor (ano) | Espécie animal | Tipo de enriquecimento | Resultados obtidos |
|------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nazareno et al. (2022) | Frangos de corte | Escada com poleiro no topo como enriquecimento ambiental | Aumentou o ganho de massa muscular e óssea nas principais partes comerciais da carcaça, sem afetar o desempenho zootécnico |
| Amaral et al. (2021) | Suínos em terminação | Cama sobreposta de aparas de madeira e cascas de arroz | Os animais foram mais ativos e visitaram os bebedouros com mais frequência com enriquecimento |
| Güz et al. (2021) | Frangos de corte | Poleiros, rampas e plataformas | Ossificação e mineralização foram beneficiadas, resultando em melhor qualidade da tibia |
| Li, J. et al. (2021) | Suínos em crescimento | Brinquedos usados como enriquecimento ambiental em espaços maiores de 0,7-0,9 m ² /animal | Melhorou o desempenho zootécnico, aumentou a atividade, o abanar do rabo e o comportamento de brincar |

| | | | |
|------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Li, Y. et al. (2021) | Suínos em crescimento (40 a 100 dias de idade) | Música (Mozart K.448, 60 a 70 dB), ruído (ruído mecânico gravado, 80 a 85 dB), controle (som de fundo, <40 dB) e estimulação sonora de 6 h por dia (1000 a 1600 horas) | Estímulo musical de curta duração (8 d) reduziu o resposta ao estresse, enquanto o estímulo musical de longa duração (60 d) aumentou as respostas imunes |
| Autor (ano) | Espécie animal | Tipo de enriquecimento | Resultados obtidos |
| Schodl et al. (2021) | Suínos em crescimento e terminação | Densidade de 1 m ² /porco e palha ou feno em grade como material de enriquecimento adicional | Melhorou aspectos do bem-estar animal, sem exigir modificações construtivas no galpão |
| Caldas et al. (2020) | Suínos em terminação | Maior (1,28 m ² /suíno) e menor (0,85 m ² /suíno) disponibilidade de espaço associada a objetos de enriquecimento (estruturas de PVC, cordas de sisal, pedaços de madeira no chão das baias e correntes de metal suspensas) | Melhorou os resultados para peso final, ganho de peso diário e conversão alimentar, sem afetar o comportamento dos animais |
| Chou et al. (2020) | Suínos (nascimento ao abate) | Leitões (copo de papelão, brinquedo de borracha, pano de juta e bambu), fêmeas suínas no parto (cordas), pós-desmame (rack com grama, objetos de madeira, bambu, borracha e materiais de tecido) | Reduziu os comportamentos prejudiciais e aumentou a taxa de crescimento; menor escore de lesão da orelha no pós-desmame |
| Wang et al. (2020) | Fêmeas suínas múltiparas em diferentes idades de parição | Currais enriquecidos com palha | Aumentou a expressão de hormônios relacionados à comportamentos de nidificação pré-natal, o comportamento de amamentação das fêmeas suínas e reduziu o estresse |
| Blackie e Souza (2019) | Leitões desmamados | Óleo de alho como enriquecimento olfativo em cordas e correntes | Maior interação e preferência pelo enriquecimento olfativo |
| Giulioti et al. (2019) | Suínos em crescimento | Correntes metálicas suspensas (Grupo 1); correntes de metal penduradas e toras penduradas (Grupo 2); correntes de metal penduradas e troncos no chão (Grupo 3) | O uso de toras suspensas reduziu a incidência de interações agressivas/prejudiciais entre os animais, sem efeito nos demais comportamentos |
| Morgan et al. (2019) | Suínos (nascimento ao abate) | Enriquecimento ambiental associado a métodos não invasivos | Aumentou o peso de abate, diminuiu o cortisol salivar (indicador de estresse) |

| | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ralph; Hebart; Cronin (2018) | Leitões desmamados | Blocos de enriquecimento | Afetou o desenvolvimento comportamental e a capacidade de aprendizagem, sugerindo bem-estar e desenvolvimento de leitões |
| Casal et al. (2018) | Suíños machos inteiros (10 a 16 semanas de idade) | (1) Enriquecimento ambiental com cordas de cânhamo, serragem e bolas de borracha e (2) suplementação de um composto fitoterápico | Maior peso corporal em relação ao grupo controle, sem afetar a qualidade de carne e da carcaça |

1.3. Materiais e Métodos

1.3.1. Local do estudo

O estudo foi conduzido em 2019 em uma granja experimental de suínos de terminação e em um frigorífico comercial de abate de suínos localizados na região Sul do Brasil (27° 14' 02" S, 52° 01' 40" O), entre os meses de Abril a Agosto. Já os testes de biomecânica óssea foram conduzidos em um Laboratório de análise de força e resistência de embalagens, no Sudeste do país.

Foram utilizados 432 animais da linhagem HS (Hampshire), de ambos os sexos, machos inteiros e fêmeas, pesando entre 22 e 27 kg, com idade entre 63 e 70 dias de vida. O estudo com uso de animais foi realizado de acordo com as recomendações do protocolo número 2019-07 sob responsabilidade do Professor Iran José de Oliveira, aprovado pelo Comitê Institucional de Cuidados e Uso de Animais (CEUA), da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, Brasil, Universidade de São Paulo. De acordo com a Lei nº 11.794/2008, e com as normas emanadas do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal – CONCEA. Todos os animais foram identificados individualmente por meio de brincos numerados para sua rastreabilidade e monitoramento durante todo o estudo (Figura 2).



Figura 2. Identificação individual dos animais com uso de brincos na orelha para monitoramento e rastreabilidade do lote.

Os animais foram alojados em um galpão comercial de 901 m² (8,5 m de largura x 106 m de comprimento) com ventilação natural contendo 80 baias, sendo que destas 8 ficaram como bordadura e 72 foram utilizadas para o experimento (Figura 3). Todas as baias têm piso compacto e possuem 6,43 m² de espaço sem o cocho, e 7,15m³ considerando o espaço do cocho. Os suínos machos receberam vacina comercial de imunocastração, sendo a primeira dose entre 30 e 40 dias de alojamento e segunda dose conforme a data de abate (considerando 21 a 28 dias antes da data prevista de abate).



Figura 3. Galpão de alvenaria para alojamento dos animais em estudo

Durante todo período experimental o ambiente de criação dos animais na granja foi monitorado por meio do registro de dados com equipamentos *dataloggers* da marca HOB0® (U10-003), com coletas automáticas a cada 15 minutos. Os equipamentos foram instalados internamente do galpão sendo 01 no centro geométrico da instalação, 01 na entrada do galpão, 01 na saída do galpão e 01 na parte externa do galpão em um abrigo meteorológico a uma distância de 3 metros do galpão e a altura de 1,70m do solo, sob uma área com cobertura vegetal.

Durante todo o manejo dos animais na granja, os animais receberam água a vontade por meio de bebedouros nipple instalados dentro de cada baia e a quantidade e o tipo de ração fornecida aos animais, seguiu o padrão de arraçamento da granja utilizando rações comerciais, dieta comercial padrão da empresa integradora, formulada de acordo com as exigências do animal, com base na *Nutrient Requirements of Swine* (NRC) [22] (Tabela 1).

Tabela 1 - Tipos de ração comercial fornecida conforme a idade do animal

| Dia de alojamento | Tipo de ração |
|-------------------|---------------|
| 1° ao 20° dia | ST31 |
| 21° ao 42° dia | ST32 |
| 43° ao 64° dia | ST33 |
| 65° ao 86° dia | ST34 |
| 87° ao 101° dia | ST35 |
| 102° ao 117° dia | ST36 |

Todos os animais foram pesados individualmente no início (1° dia) e no final do experimento (112° e 113° dia). A pesagem foi realizada sempre pela manhã antes do arração dos animais, no qual se monitorava por semana o consumo de ração dos suínos (Tabela 2).

Os animais foram abatidos somente ao término da fase de enriquecimento ambiental na granja com peso médio entre 110 -125 kg e 183 – 190 dias de idade, conforme descrito mais adiante.

Tabela 2 - Padrão de arração utilizada na granja experimental

| Semana | Dias | Consumo de ração (kg/suíno/dia) | | |
|--------|------|---------------------------------|--------|-------|
| | | Pesados | Médios | Leves |
| 1 | 7 | 1,25 | 1,20 | 1,15 |
| 2 | 14 | 1,35 | 1,30 | 1,25 |
| 3 | 21 | 1,45 | 1,40 | 1,35 |
| 4 | 28 | 1,55 | 1,50 | 1,45 |
| 5 | 35 | 1,70 | 1,65 | 1,60 |

| | | | | |
|----|-----|------|------|------|
| 6 | 42 | 1,85 | 1,80 | 1,75 |
| 7 | 49 | 2,00 | 1,95 | 1,90 |
| 8 | 56 | 2,15 | 2,10 | 2,05 |
| 9 | 63 | 2,30 | 2,25 | 2,20 |
| 10 | 70 | 2,45 | 2,40 | 2,35 |
| 11 | 77 | 2,60 | 2,55 | 2,50 |
| 12 | 84 | 2,70 | 2,65 | 2,60 |
| 13 | 91 | 2,70 | 2,70 | 2,70 |
| 14 | 98 | 2,70 | 2,70 | 2,70 |
| 15 | 105 | 2,70 | 2,70 | 2,70 |
| 16 | 112 | 2,70 | 2,70 | 2,70 |
| 17 | 119 | 2,70 | 2,70 | 2,70 |
| 18 | 126 | 2,70 | 2,70 | 2,70 |
| 19 | 133 | 2,70 | 2,70 | 2,70 |
| 20 | 140 | 2,70 | 2,70 | 2,70 |

1.3.2. Delineamento experimental

Os animais foram distribuídos em 72 baias com a densidade de 6 animais por baia (Figura 4), sendo que os tratamentos foram divididos em machos e fêmeas, com densidade de 1,07 m²/animal, com acesso ou não a enriquecimento ambiental. A instalação dos materiais para enriquecimento ambiental foi realizada previamente a chegada dos animais e a manutenção dos mesmos tais como reparos e/ou reposição, ocorreu quando necessária, ao longo do período de estudo. Os materiais de enriquecimento ambiental utilizados foram:

- Enriquecimento do Tipo A: EA – Correntes ramificadas
- Enriquecimento do Tipo B: EB – Corda de sisal ramificadas
- Grupo controle: SE – sem enriquecimento



Figura 4. Alojamento dos suínos em baias na granja experimental

Para a instalação dos enriquecimentos na granja foi realizado um “Teste Piloto” para avaliação preliminar de comportamento e instalação dos enriquecimentos ambientais. Para esta análise de teste, uma semana antes do início do experimento, os enriquecimentos ambientais “EA” - corrente ramificada e “EB” - corda de sisal ramificada (Figura 5) foram disponibilizados nas baias para os animais que receberiam os tratamentos com enriquecimento. Durante uma semana, os comportamentos dos animais foram observados e registrados. Pode-se observar que os animais no 3º dia de “teste” destruíram facilmente as cordas com 12 mm de espessura, sendo necessário substituir por cordas com espessura de 20 mm. Além disso, foi observado que não havia impacto sob o interesse do animal quando se mantinha ou retirava o enriquecimento, porém retirar e colocar o objeto gerava muito estresse aos animais, pois era necessário entrar na baía para retirar e recolocar o objeto. Além disso, o fato de retirar e recolocar o objeto aumentava mais uma etapa de manejo na granja, o que não era o objetivo do trabalho. Dado essas observações, ficou decidido pela permanência dos materiais de enriquecimento durante todo o experimento.

A partir deste teste preliminar foi definido o período de permanência dos enriquecimentos nas baias dos animais e os horários das coletas de dados. Este teste foi importante para definir e entender a curva de interação dos animais e em qual momento o animal perde o interesse pelo enriquecimento avaliado, para se definir o protocolo de uso dos enriquecimentos.

Para instalação dos enriquecimentos ambientais, considerou-se como protocolo:

- Instalar 01 corrente em todo eixo horizontal do galpão, sobre todas as baias, onde cada enriquecimento foi pendurado de forma central e vertical a essa corrente.

- Colocar 01 corrente ramificada (EA) de 7 mm de espessura ou uma corda ramificada (EB) de 20 mm de espessura, pendurada no centro das baias selecionadas para ter algum tipo de enriquecimento ambiental. A ponta central, da corrente/corda, obrigatoriamente deve encostar no chão, mas não deve se arrastar pelo piso para evitar o pisoteio do animal no enriquecimento, com um comprimento aproximado de 1,20 – 1,50 (a depender da altura da corrente central do galpão citada no item anterior);
- Ramificações: cada corrente/corda deve ter obrigatoriamente 2 ramificações de aproximadamente 20 – 25 cm de comprimento e estas não devem encostar no chão. O comprimento das ramificações pode variar conforme o tamanho do animal e devem ser adaptadas para que atenda a altura recomendada das ramificações descritas:
 - A primeira ramificação deve permitir o acesso do animal quando ele estiver em pé (1ª ramificação acaba na altura do dorso do animal).
 - A segunda ramificação deverá estar a uma altura que permita que o animal estique o pescoço para alcançá-la sem ficar de pé (2ª ramificação acaba na altura do focinho do animal);
- Para o estudo em questão, o preço médio da corda de sisal de 20 mm de espessura foi de R\$ 6,50/m e de R\$ 75,00/m para a corrente soldada em elo com 7 mm.



Figura 5. Enriquecimentos ambientais do tipo corrente ramificada (EA) e corda de sisal ramificada (EB) inseridas nas baias, conforme padrão estabelecido neste estudo

Para o delineamento experimental desta pesquisa foram considerados 6 tratamentos (2 x 3) (Tabela 3), sendo 3 relacionados ao enriquecimento ambiental e 2 ao gênero da espécie (macho e fêmea).

Tabela 3 - Tipos de tratamentos considerando o tipo de enriquecimento e o sexo do animal

| Tratamento | Enriquecimento | Sexo |
|------------|----------------|-------|
| Trat1 | Corrente | Macho |
| Trat2 | Corda | Macho |
| Trat3 | nenhum | Macho |
| Trat4 | Corrente | Fêmea |
| Trat5 | Corda | Fêmea |
| Trat6 | nenhum | Fêmea |

Na chegada à granja, os animais foram pesados e distribuídos em 3 blocos: Bloco leve (20,3 a 24,8 kg), Bloco médio (24,8 a 27,7 kg) e Bloco pesado (27,7 a 33,8 kg), a partir da pesagem realizada na semana anterior ao início do experimento.

De acordo com a disponibilidade da granja, foram adotadas 12 repetições por tratamento totalizando 72 baias em estudo, consideradas neste caso, o espaço amostral do estudo. Foi feita a casualização dos tratamentos por sorteio, considerando esta distribuição em esquema fatorial de tratamentos 2 x 3 (sexo x condições de criação), conforme pode ser observado no croqui experimental representado na Figura 6.

| Bloco | Baia | Sexo | Material | Trat | Entrada | Trat | Material | Sexo | Baia | Bloco | | |
|-------------|------|------|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|------|-------------|-------|------|
| Sem animais | 80 | - | - | bordadura | CORREDOR | bordadura | - | - | 1 | Sem animais | | |
| | 79 | - | - | bordadura | | bordadura | - | - | 2 | | | |
| MEDIO | 78 | M | nenhum | Trat3 | | Trat2 | Corda | M | 3 | PESADO | | |
| | 77 | M | nenhum | Trat3 | | Trat1 | Corrente | M | 4 | | | |
| | 76 | F | Corrente | Trat4 | | Trat3 | nenhum | M | 5 | | | |
| | 75 | M | Corrente | Trat1 | | Trat3 | nenhum | M | 6 | | | |
| | 74 | M | Corda | Trat2 | | Trat5 | Corda | F | 7 | | | |
| | 73 | F | nenhum | Trat6 | | Trat2 | Corda | M | 8 | | | |
| | 72 | F | Corrente | Trat4 | | Trat6 | nenhum | F | 9 | | | |
| | 71 | F | nenhum | Trat6 | | Trat1 | Corrente | M | 10 | | | |
| | 70 | F | Corda | Trat5 | | Trat6 | nenhum | F | 11 | | | |
| | 69 | M | Corrente | Trat1 | | Trat4 | Corrente | F | 12 | | | |
| | 68 | M | Corda | Trat2 | | Trat4 | Corrente | F | 13 | | | |
| | 67 | F | Corda | Trat5 | | Trat5 | Corda | F | 14 | | | |
| | LEVE | 66 | F | Corda | | Trat5 | Trat5 | Corda | F | | 15 | LEVE |
| | | 65 | M | Corrente | | Trat1 | Trat1 | Corrente | M | | 16 | |
| 64 | | F | nenhum | Trat6 | | Trat4 | Corrente | F | 17 | | | |
| 63 | | F | Corrente | Trat4 | | Trat5 | Corda | F | 18 | | | |
| 62 | | M | nenhum | Trat3 | | Trat4 | Corrente | F | 19 | | | |
| 61 | | F | Corda | Trat5 | | Trat2 | Corda | M | 20 | | | |
| 60 | | F | Corrente | Trat4 | | Trat3 | nenhum | M | 21 | | | |
| 59 | | M | nenhum | Trat3 | | Trat1 | Corrente | M | 22 | | | |
| 58 | | M | Corrente | Trat1 | | Trat3 | nenhum | M | 23 | | | |
| 57 | | M | Corda | Trat2 | | Trat6 | nenhum | F | 24 | | | |
| 56 | | M | Corda | Trat2 | | Trat6 | nenhum | F | 25 | | | |
| 55 | | F | nenhum | Trat6 | | Trat2 | Corda | M | 26 | | | |
| PESADO | | 54 | M | Corda | | Trat2 | Trat2 | Corda | M | 27 | MEDIO | |
| | | 53 | M | Corrente | | Trat1 | Trat4 | Corrente | F | 28 | | |
| | 52 | M | Corrente | Trat1 | | Trat5 | Corda | F | 29 | | | |
| | 51 | F | Corda | Trat5 | | Trat3 | nenhum | M | 30 | | | |
| | 50 | M | nenhum | Trat3 | | Trat1 | Corrente | M | 31 | | | |
| | 49 | M | nenhum | Trat3 | | Trat3 | nenhum | M | 32 | | | |
| | 48 | M | Corda | Trat2 | | Trat1 | Corrente | M | 33 | | | |
| | 47 | F | nenhum | Trat6 | | Trat2 | Corda | M | 34 | | | |
| | 46 | F | Corrente | Trat4 | | Trat4 | Corrente | F | 35 | | | |
| | 45 | F | Corda | Trat5 | | Trat5 | Corda | F | 36 | | | |
| Sem animais | 42 | - | - | bordadura | | Trat6 | nenhum | F | 37 | Sem animais | | |
| | 41 | - | - | bordadura | | Trat6 | nenhum | F | 38 | | | |
| Sem animais | 42 | - | - | bordadura | | bordadura | - | - | 39 | Sem animais | | |
| | 41 | - | - | bordadura | | bordadura | - | - | 40 | | | |

Figura 6. Croqui experimental da pesquisa a campo, considerando 6 tratamentos: corrente para machos (T1); corda para machos (T2), grupo controle para machos – sem uso de enriquecimento ambiental (T3); corrente para fêmeas (T4); corda para fêmeas (T5), grupo controle para fêmeas – sem uso de enriquecimento ambiental (T6), sendo fêmeas (F) e machos (M)*

*Para a análise estatística, foram consideradas as baias 3 até 78, sendo desconsideradas as baias de bordadura (baias localizadas nas extremidades do galpão experimental).

1.3.3. Variáveis respostas

O fluxograma de pesquisa (Figura 7) foi elaborado para esquematizar o estudo e suas variáveis. Foram consideradas as seguintes variáveis respostas para avaliação, descritas em cada um dos capítulos seguintes da tese, sendo elas:

- **Avaliação comportamental:** realizada pela aplicação do método “Animal Focal” através de um etograma de trabalho, em função do uso e tempo de uso dos enriquecimentos testados.
- **Avaliação dos índices zootécnicos** (fisiológicas, produtivas e escore de lesões): considerado a temperatura superficial do animal (TS) coletada por meio de um termômetro infravermelho digital com mira laser da marca Minipa MT-350; a Conversão alimentar (CA), por média do grupo; Ganho de peso diário (GPD), individual; Peso médio dos animais (PM), individual e Mortalidade (M), de todos animais; e Escore de lesões considerado as “Lesões por caudofagia e mordedura de orelha”, classificados de 0 a 3; assim como “Lesões no corpo dos animais”, classificados de 0 a 4; e Claudicação (classificado de 1 a 3 conforme o protocolo ® Feet First Pontuação do Sistema Locomotor de Suínos), que já era um protocolo usual adotado pela granja. Todos os animais foram pesados individualmente e controlados pelo brinco cadastrado no início do estudo.
- **Avaliação da qualidade de carne:** foram coletados o músculo *Longissimus dorsi* (lombo suíno) dos animais de cada tratamento previamente identificados a campo, e avaliado o padrão de cor e marmoreio considerando o padrão de referência da *PorkQuality* da National Pork Board, (2021), o qual classifica a carne em: carne carnes pálida, mole e exsudativa (PSE), carne vermelha, firme e não exaustiva (RFN) e carne dura, escura e seca (DFD).
- **Avaliação da Biomecânica óssea:** foram coletados o osso fêmur do lado esquerdo de cada animal identificado na baia como ponto focal. Os ossos foram acondicionados em câmaras frias a -18 graus *Celsius* e transportados acondicionados até o laboratório para análise de flexão. Para este teste, foi adotado o protocolo padrão da American *Society of Agricultural and Biological Engineers* - ASABE (2012). As avaliações foram realizadas por meio de uma máquina universal de ensaios mecânicos, acoplada a um computador que registrou continuamente os dados referentes a carga mecânica aplicada.

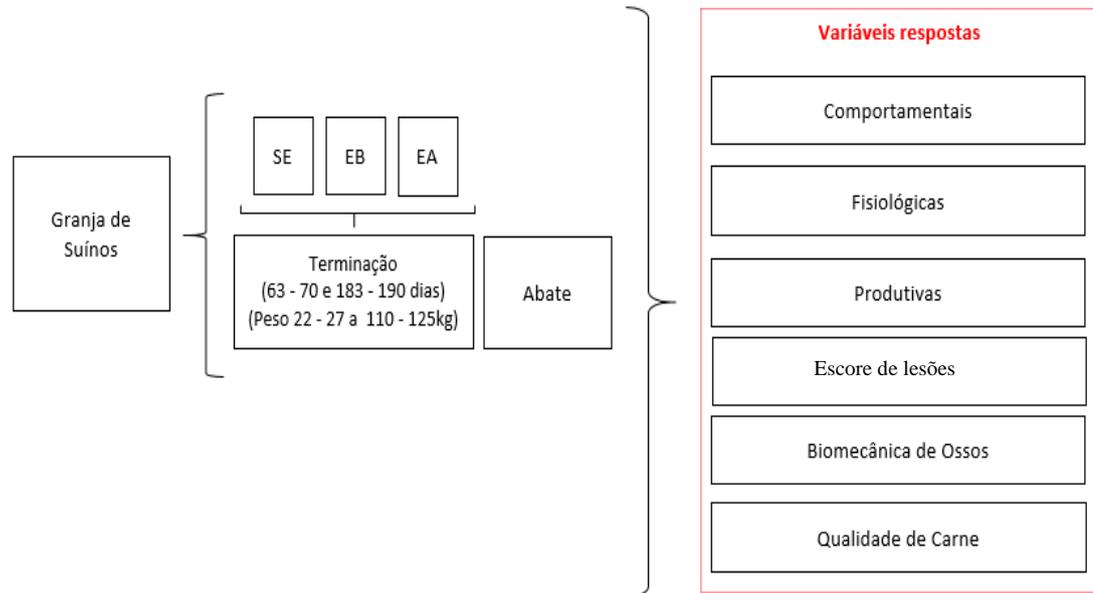


Figura 7. Fluxograma de pesquisa (SE – grupo controle sem enriquecimento; EA – enriquecimento “Corrente ramificada”; EB – enriquecimento “Corda de sisal ramificada”)

1.3.4. Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada a campo, no frigorífico e no laboratório de resistência mecânica, por profissionais da pós-graduação do departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP, previamente treinados em relação as coletas de cada fase do estudo.

1.3.5. Transporte dos animais

Após o término do estudo e coleta de dados na granja, os animais foram destinados para frigorífico abatedouro comercial de suínos no qual o transporte foi realizado por caminhões de piso duplo hidráulico, com apenas animais oriundos da granja e alojados em baias de descanso, identificadas no frigorífico como “Animais de Teste”. Para o transporte destes animais de estudo, são utilizados caminhões próprios do abatedouro com baias que comportam 15 animais, sendo a densidade nos caminhões de 0,42 m²/100 kg. Ao chegar no frigorífico os suínos são descarregados, tatuados individualmente e encaminhados às pocilgas (cuja densidade é de 0,60 m² /100 kg).

As baias de descanso possuem nebulizadores de água e dieta hídrica para os animais, que permanecem no local em temperatura ambiente. Os animais com fratura de transporte são

destinados para o abate de emergência ou sacrificados com o uso de pistola de dardo cativo, seguindo todo o protocolo de abate humanitário do frigorífico. Animais com doença visíveis são destinados às pocilgas de sequestro e são abatidos no fim do turno. Os animais que chegam já constatados mortos são diretamente destinados ao container de suínos mortos com destino à necropsia e a graxaria. Os suínos passam pelo exame ante-mortem realizado pelo médico veterinário do Serviço de Inspeção Federal - SIF e descansam por no mínimo 3 horas, sendo então posteriormente encaminhados à insensibilização, que ocorre por eletrocussão de 3 pontos.

1.3.6. Abate dos animais

Todos os animais alojados na granja experimental foram abatidos, sendo que 72 animais identificados tiveram uma amostra coletada após o abate, composta pelo osso fêmur do lado esquerdo para análises de biomecânica óssea e o músculo *longissimus dorsi* para análise de qualidade de carne. Os animais após insensibilizados, foram sangrados manualmente dentro do tempo máximo de 30 segundos, e em seguida foram pendurados na nória. O processo de escoamento do sangue ocorre por no mínimo 3 minutos, onde após o processo de sangria os suínos passaram por um chuveiro e posteriormente foram escaldados submersos em tanque de concreto aberto, com renovação constante da água durante o turno e o esgotamento total no final do abate permanecendo entre 2 a 5 minutos a uma temperatura da água de 62°C a 72°C.

Após a saída do tanque, os animais são depilados e direcionados para o chamuscador por elevador de carcaça. Seguem por polidores secos, chamuscamento (onde a temperatura é de aproximadamente 300°C, com uma duração de aproximadamente 4 a 5 segundos) e polidores úmidos para a remoção de pêlos.

Os suínos seguiram para as próximas etapas que foram: retirada de casquinho, processo de retirada manual com uso de facas dos pêlos restantes (o processo envolve dois operadores, o primeiro retira os pelos do lado direito da barriga e lombo, o segundo operador retira os pelos do lado esquerdo da barriga e lombo) e após é realizada a retirada do ouvido médio. Os animais foram lavados por chuveiro e destinados para a área limpa da evisceração, seguindo o fluxo de abate normal.

Referências

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório anual 2021**. Disponível em: http://abpa-br.org/wp-content/uploads/2021/04/ABPA_Relatorio_Anual_2021_web.pdf
Acesso em: 10 ago. 2021

AMARAL, P.I.S.; CAMPOS, A.T.; ESTEVES JUNIOR, R.C.; ESTEVES, G.F.; YANAGI JUNIOR, T.; LEITE, M.E.C.R. Behavioral responses of pigs finished in deep bedding and conventional bed systems. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 41, n. 1, p. 25-33, 2021.

BACKUS, B.L.; McGLONE, J.J. Evaluating environmental enrichment as a method to alleviate pain after castration and tail docking in pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 204, p. 37-42, 2018.

BERTOL, T.M. Estratégias nutricionais para melhoria da qualidade da carne suína. Editora técnica. - Brasília, DF: Embrapa, 2019. 296 p.

BLACKIE, N.; SOUZA, M. The use of garlic oil for olfactory enrichment increases the use of ropes in weaned pigs. **Animals**, v. 9, n. 148, p. 1-8, 2019.

BRACKE, M.B.M. Chains as proper enrichment for intensively-farmed pigs? In: Spinka M, editor. *Advances in Pig Welfare*: Elsevier; 2018. p. 167–197.

BRACKE, M.B.M.; KOENE, P. Expert opinion on metal chains and other indestructible objects as proper enrichment for intensively-farmed pigs. **PLOS one**, 1-19, 2019.

BRANDT, P.; AASLYNG, M.D. Welfare measurements of finishing pigs on the day of slaughter: A review. **Meat Science**, v. 103, p. 13-23, 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 113, de 16 de dezembro de 2020**. Estabelecer as boas práticas de manejo e bem-estar animal nas granjas de suínos de criação comercial. Diário Oficial [da] União, Brasília, DF. Publicado em 18 de dezembro de 2020, Edição 242, Seção 1, p. 5. 2020.

BUIJS; S.; MUNS, R. A review of the effects of non-straw enrichment on tail biting in pigs. **Animals**, v. 9, n. 824, p. 1-23, 2019.

CALDAS, E.D.; MICHELON, A.; FOPPA, L.; SIMONELLI, S.M.; PIEROZAN, C.R.; DARIO, J.G.N.; DUARTE, J.V.S.; SILVA, C.C.R.; SILVA, C.A. Effect of stocking density and use of environmental enrichment materials on the welfare and the performance of pigs in the growth and finishing phases. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 18, n. 4, p. 1-10, 2020.

CARLSON, C.S. **An introduction to osteochondrosis in swine**. Zinpro Corporation. 2011.

CASAL, N.; FONT-I-FURNOLS, M.; GISPERT, M.; MANTECA, X.; FÀBREGA, E. Effect of environmental enrichment and herbal compounds-supplemented diet on pig carcass, meat quality traits, and consumers' acceptability and preference. **Animals**, v. 8, n. 118, p. 1-12, 2018.

CASAL-PLANA, N.; MANTECAB, X.; DALMAUA, A.; FÀBREGA, E. Influence of enrichment material and herbal compounds in the behaviour and performance of growing pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 195, p. 38-43, 2017.

CHOU, J.; SANDERCOCK, D.A.; D'EATH, R.; O'DRISCOLL, R. A high enrichment replenishment rate reduces damaging behaviors and increases growth rate in undocked pigs kept in fully slatted pens. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 13, 584706, 2020.

CIBOROWSKA, P.; MICHALCZUK, M. BIEN, D. The effect of music on livestock: cattle, poultry and pigs. **Animals**, v. 11, p. 1-16, 2021.

CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2008/120/CE, relativa às normas mínimas de proteção de suínos, de 18 de dezembro, 2008. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A32008L0120> Acesso em 21 abr. 2022.

ČOBANOVIĆ, N.; BOŠKOVIĆ, M.; VASILEV, D.; DIMITRIJEVIĆ, M.; PARUNOVIĆ, N.; DJORDJEVIĆ, J.; KARABASIL, N. Effects of various pre-slaughter conditions on pig carcasses and meat quality in a low-input slaughter facility. **South African Journal of Animal Science**, v. 46, p. 380-390, 2016.

DALLA COSTA, F.A.; DALLA COSTA, O.A.; COLDEBELLA, A., LIMA; G.J.M.M.; 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, 2018.

DALLA COSTA, O.A.; DALLA COSTA, F.A.; FEDDERN, V.; LOPES, L. S.; COLDEBELLA, A.; GREGORY, N.G.; LIMA, G.J.M.M. Risk factors associated with pig pre-slaughtering losses. **Meat Science**, v. 155, p. 61-68, 2019.

DALLA COSTA, F.A.; LOPES, L.; DALLA COSTA, O.A. Effects of the truck suspension system on animal welfare, carcass and meat quality traits in pigs. **Animals**, v. 7, p. 1-13, 2017.

DRIESSEN, B.; BEIRENDONCK, S.V.; BUYSE, J. The Impact of Grouping on Skin Lesions and Meat Quality of Pig Carcasses. **Animals**, v. 10, p. 544, 2020.

DUŠANKA, J.; GORJANC, G.; ŠTUHEC, I.; ŽGUR, S. Improvement of pork characteristics under commercial conditions with small amount of straw or hay. **Journal of Applied Animal Research**, v. 46, n. 1, p. 1317–1322, 2018.

FÀBREGA, E.; MARCET-RIUS, M.; VIDAL, R.; ESCRIBANO, D.; CERÓN, J.J.; MANTECA, X.; VELARDE, A. The effects of environmental enrichment on the physiology, behaviour, productivity and meat quality of pigs raised in a hot climate. **Animals**, v. 9, n. 235, p. 1-20, 2019.

FAVERO NETO, J.; GIAQUINTO, P.C.; SANTOS, C.T.; LALA, B. Efeito do enriquecimento ambiental e alimentar na qualidade da carne de tilápia. In: 29º CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 2019, Uberaba. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/zootec-2019/papers/efeito-do-enriquecimento-ambiental-e-alimentar-na-qualidade-da-carne-de-tilapia> Acesso em: 22 Abril. 2022.

FOPPA, L.; CALDARA, F.R.; MOURA, R.; MACHADO, S.P.; NÄÄS, I.A.; GARCIA, R.G.; GONÇALVES, L.M.P.; OLIVEIRA, G.F. Pig's behavioral response in nursery and growth phases to environmental enrichment objects. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 16, n. 3, p. 1-10, 2018.

GIULIOTTI, L.; BENVENUTI, M.N.; GIANNARELLI, A.; MARITI, C.; GAZZANO, A. Effect of different environment enrichments on behaviour and social interactions in growing pigs. **Animals**, v. 9, n. 101, p. 1-9, 2019.

GODYN, D.; NOWICKI, J.; HERBUT, P. Effects of environmental enrichment on pig welfare - a review. **Animals**, v. 9, n. 6, p. 383, 2019.

GRANDIN, T. On-farm conditions that compromise animal welfare that can be monitored at the slaughter plant. **Meat Science**, v. 132, p. 52-58, 2017.

GREVENHOF, E.M.; HEUVEN, H.C.M.; Van WEEREN, P.R.; BIJMA, P. The relationship between growth and osteochondrosis in specific joints in pigs. **Livestock Science**, v. 143, 85-90. 2012.

GUIMARÃES, D.; AMARAL, G.; MAIA, G.; LEMOS, M.; ITO, M.; CUSTODIO, S. Suinocultura: estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no brasil e no mundo e o apoio do BNDES. **Agribusiness BNDES Setorial**, v. 45, p. 85-136, 2017.

GÜZ, B.C.; Jong, I.C.; Silva, C.S.; Veldkamp, F.; Kemp, B.; Molenaar, R.; Van den Brand, H. Effects of pen enrichment on leg health of fast and slower-growing broiler chickens. **PLOS ONE**, p. 1-23, 2021.

HFAC. Human Farm Animal Care. Referencial de Bem-Estar Animal. Referencial HFAC para Suínos. 25 p. 2018.

HUBERT, L.E. Precision animal welfare for pigs. **Journal of Animal Science**, v. 97, Suppl. S3, p. 11, 2019.

IBELLI, A.M.G.; PEIXOTO, J.O.; SAVOLDI, I.R.; CARMO, K.B.; MORÉS, N.; MORÉS, M A.Z.; CANTÃO, M.E.; COUTINHO, L.L.; LEDUR, M.C. Biological processes related to ribosome and mitochondrial functions might be involved in the osteochondrosis latens manifestation in gilts. Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 11. 538, 2018.

LAHRMANN, H.P.; Hansen, C.F.; D'Eath, R.B.; Busch, M.E.; Nielsen, J.P.; Forkman, B. Early intervention with enrichment can prevent tail biting outbreaks in weaner pigs. **Livestock Science**, v 214, p. 272-277, 2018.

LI, J.; LI, X.; LIU, H.; LI, J.; HAN, Q.; WANG, C.; ZENG, X.; LI, Y.; JI, W.; ZHANG, R.; BAO, J. Effects of music stimulus on behavior response, cortisol level, and horizontal immunity of growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 99, n. 5, p. 1-9, 2021.

LI, Y.; WANG, C.; HUANG, S.; LIU, Z.; WANG, H. Space allowance determination by considering its coeffect with toy provision on production performance, behavior and physiology for grouped growing pigs. **Livestock Science**, v. 243, 104389, 2021.

LIU, R.; LI, K.; WU, G.; QIN, M.; YU, H.; WU, M.; GE, Q.; WU, S.; BAO, W.; ZHANG, W. A comparative study of S-nitrosylated myofibrillar proteins between red, firm and non-exudative (RFN) and pale, soft and exudative (PSE) pork by iodoTMT-based proteomics assay. **Food Chemistry**, v. 395, p. 133577, 2022.

LUDKE, C.; PELOSO, J.V.; DALLA COSTA, O.A.; ROHR, S.; DALLA COSTA, F.A. Bem-estar animal na produção de suínos. Da Recepção no Frigorífico até o abate com garantia de qualidade. ABCS: Brasília/DF. 2016, 46 p.

LUO, L.; REIMERT, I.; MIDDELKOOP, A.; KEMP, B.; BOLHUIS, J.E. Effects of early and current environmental enrichment on behavior and growth in pigs. **Frontiers in Veterinary Science**. v. 7, p. 1-14, 2019.

MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO). **Suinocultura: uma saúde e um bem-estar**. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. – Brasília: AECS, 2020. 500 p.

MARCET-RIUS, M.; KALONJIA, G.; COZZIB, A.; BIENBOIRE-FROSINIA, C.; MONNERETC, P.; KOWALCZYKC, I.; TERUELD, E.; CODECASAC, E.; PAGEAT, P. Effects of straw provision, as environmental enrichment, on behavioural indicators of welfare and emotions in pigs reared in an experimental system. **Livestock Science**, v. 221, p. 89-94, 2019.

MISRA, S.; BOKKERS, E.A.M.; UPTON, J.; QUINN, A.J.; O'DRISCOLL, K. Effect of environmental enrichment and group size on the water use and waste in grower-finisher pigs. **Scientific Reports**. v. 11, p. 16380, 2021.

MKWANAZI, M.V.; NCOBELA, C.N.; KANENGONI, A.T.; CHIMONYO, M. Effects of environmental enrichment on behaviour, physiology and performance of pigs — A review. **Asian-Australas J Anim Science**, v. 32, p. 1-13, 2019.

MORGAN, L.; ITINA-SWARTZ, B.; KOREN, L.; MEYER, J.; RAZ, T. Welfare implications of husbandry procedures impair piglets' welfare and production, and farms' economic. **Journal of Animal Science**, v. 97, Suppl. S3, p. 4, 2019.

NANNONI, E.; SARDI, L.; VITALI, M.; TREVISI, E.; FERRARI, A.; FERRI, M.E.; BACCI, M.L.; GOVONI, N.; BARBIERI, S.; MARTELLI, G. Enrichment devices for undocked heavy pigs: effects on animal welfare, blood parameters and production traits. **Italian Journal of Animal Science**, v. 18, n. 1, p. 1-12, 2018.

NAZARENO, A.C.; SILVA, I.J.O.; DELGADO, E.F.; MACHADO, M.; PRADELLA, L.O. Does environmental enrichment improve performance, morphometry, yield and weight of broiler parts at different ages? **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, v. 26, n. 4, p. 292-298, 2022.

OIE (Organização Mundial para Saúde Animal). **Terrestrial Animal Health Code**. 2009. Disponível em <http://www.oie.int/animal-welfare/animal-welfare-key-themes/> Acesso em 23 mar. 2021

OLIVEIRA, R.F.; SOARES, R.T.R.N.; MOLINO, J.P.; COSTA, R.L.; BONAPARTE, T.P.; SILVA JÚNIOR, E.T.; PIZZUTTO, C.S.; SANTOS, P. O enriquecimento ambiental melhora o desempenho e comportamento de leitões na fase de creche. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.68, n.2, p.415-421, 2016. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-8253>

RALPH, C.; HEBART, M.; CRONIN, G.M. Enrichment in the sucker and weaner phase altered the performance of pigs in three behavioural tests. **Animals**, v. 8, n. 74, p. 1-15, 2018.

SANTOS, J.V.; Farias, S.S.; Pereira, T.L.; Teixeira, C.P.; Titto, C.G. Preference for and maintenance of interest in suspended enrichment toys in confined growing pigs. **Journal of Veterinary Behavior**, v. 45, p. 68–73, 2021.

SARTOR, K.; FREITAS, B.F.; SOUZA, J.; ROSSI, L.A. Environmental enrichment in piglet creeps: behavior and productive performance. **BIORXIV**, 346023, 2018.

SCHÜTZ, A.; BUSCH, G.; SONNTAG, W.I. Environmental enrichment in pig husbandry – Citizens' ratings of pictures showing housing elements using an online-survey. **Livestock Science**, v. 240, 104218, 2020.

SCHWARTZ, K.; MADSON, D. Sorting out joint disease and lameness. **National Hog Farmer**. 2014. <http://nationalhogfarmer.com/business/sorting-out-joint-disease-and-lameness>
Acesso em 26 mar. 2022

SKIBA, G.; STANISŁAWA, R.; SOBOL, M.; KOWALCZYK, P.; BARSZCZ, M.; TACIAK, M.; TUŚNIO, A.; COBANOVÁ, K.; GREŠÁKOVÁ, L.; GRELA, E.R. Influence of the zinc and fibre addition in the diet on biomechanical bone properties in weaned piglets. **Animals**, v. 12, n. 181, p. 1-12, 2022.

THÉRON, L.; SAYD, T.; CHAMBON, C.; VÉNIEN, A.; VIALA, D.; ASTRUC, T.; VAUTIER, A.; SANTÉ-LHOUELIER, V. Deciphering PSE-like muscle defect in cooked hams: A signature from the tissue to the molecular scale. **Food Chemistry**, v. 270, p. 359–366, 2019.

VITALI, M.; NANNONI, E.; SARDI, L.; BASSI, P.; MILITERNO, G.; FAUCITANO, L.; BONALDO, A.; MARTELLI, G. Enrichment tools for undocked heavy pigs: effects on body and gastric lesions and carcass and meat quality parameters. **Italian Journal of Animal Science**, v 18, n. 1, p. 39-44, 2019.

WADDELL, J. **Growing pig lameness: A costly emerging issue**. In: AASV Annual Meeting, 46., Seminar 5, Proceedings... Orlando, FL, EUA, 2015. p. 5.

WANG, C.; HAN, Q.; LIU, R.; JI, W.; BI, Y.; WEN, P.; YI, R.; ZHAO, P.; BAO, J.; LIUET, H. Equipping farrowing pens with straw improves maternal behavior and physiology of min-pig hybrid sows. **Animals**, v. 10, n.105, p. 1-16, 2020.

ZHEN, S.; LIU, Y.; LI, X.; G., 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.

ZEQUAN, X.; YONGGANG, S.; GUANGJUAN, L.; SHIJUN, X.; LI, Z.; MINGRUI, Z.; YANLI, X.; ZIRONG, W. Proteomics analysis as an approach to understand the formation of pale, soft, and exudative (PSE) pork. **Meat Science**, v. 177, p. 108353, 2021.

2. ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL E SEUS EFEITOS SOBRE OS ÍNDICES ZOOTÉCNICOS E COMPORTAMENTAIS DE SUÍNOS EM TERMINAÇÃO

(Formatado de acordo com as normas da revista *Animals*)

Resumo simples:

Dentre as principais tendências na produção de suínos, o tema bem-estar animal vem ganhando destaque entre os consumidores, setores produtivos e governos. As estratégias utilizadas para melhorar o bem-estar animal, como o uso de enriquecimento ambiental, podem aliviar o estresse, estimular o comportamento natural da espécie e promover a saúde do animal. No Brasil, existem poucos estudos sobre os impactos do uso do enriquecimento ambiental nos índices zootécnicos e comportamento de suínos na fase de terminação, inclusive pelo fato de apresentar tipologias de construção diferentes de outros países, como diferenças físicas, estruturais e de recursos humanos, procedimentos de manejo e por se tratar de um clima tropical. Nesta pesquisa, compararam-se dois tipos de enriquecimento ambiental (corrente ramificada e corda de sisal ramificada) sobre os índices zootécnicos e o comportamento dos animais. Foram observados índices de conversão alimentar similares entre os animais dos diferentes tratamentos. Em relação ao comportamento, os animais mostraram maior interação com a corda ramificada no período da manhã e com as correntes ramificadas no período da tarde, independente do sexo.

Resumo:

O objetivo deste estudo foi avaliar os índices zootécnicos e o comportamento de suínos na terminação com acesso ou não ao enriquecimento ambiental (EA). Foram alojados 432 suínos, machos e fêmeas, da linhagem HS (Hampshire), com peso médio inicial e final de 22-27 kg e 110-125 kg, durante 112 dias. O delineamento foi em blocos casualizados, com 6 tratamentos, distribuídos em esquema fatorial 2x3 (sexo x condições de criação) e 12 repetições/tratamento, totalizando 72 baias. Os tratamentos foram: corrente ramificada para machos (T1); corda sisal ramificada para machos (T2), machos sem EA (T3); corrente ramificada para fêmeas (T4); corda sisal ramificada para fêmeas (T5) e fêmeas sem EA (T6). Para avaliação dos índices zootécnicos foram usados modelos lineares mistos e a análise de comportamento foi feita via modelo dos logitos generalizadas. Fêmeas dos blocos leve/médio enriquecidas com cordas ramificadas apresentaram maior interação meio ambiente (IMA) no período da manhã, comparativamente aos machos. A interação objeto (IB) foi maior no período da manhã para machos leves e fêmeas dos blocos leve/médio com cordas ramificadas. Com correntes ramificadas, machos leves apresentaram maior IB no período da manhã, enquanto ambos os sexos do bloco médio apresentaram maior IB no período da tarde. Machos e fêmeas sem EA mostraram-se menos calmos e com maior IMA no período da tarde. Portanto, cordas e correntes ramificadas garantem desempenho zootécnico e comportamentos adequados para suínos em terminação, sendo esses materiais interessantes estratégias de enriquecimento para atender às principais normativas e diretrizes de manejo e bem-estar animal.

Palavras-chave: Bem-estar animal; Comportamento; Cordas; Correntes; Desempenho; Enriquecimento ambiental

2.1. Introdução

Suínos criados em condições intensivas são submetidos a estresses ambientais, com dificuldade de expressar alguns comportamentos naturais como socialização, exploração e fuçar [1]. As estratégias utilizadas para melhorar o bem-estar animal, como o uso de enriquecimento ambiental (EA), podem aliviar o estresse, estimular o crescimento e promover a saúde do animal [2].

A Instrução Normativa 113, de 16 de dezembro de 2020 [3], no Art. 43, determinou que os suínos devem ter acesso a um ambiente enriquecido para estimular as atividades de investigação e manipulação e reduzir o comportamento anormal e agonístico. Dessa forma, devem ser disponibilizados um ou mais materiais para manipulação pelos animais, que não comprometam a saúde como palha [4,5], feno [6,7], cordas [8,9], correntes [9], madeira [1], serragem [10,11], borracha [12] e brinquedos de plástico [13,14].

O peso de abate aumentou significativamente quando procedimentos invasivos como a castração cirúrgica, corte de cauda e dentes foram evitados e o enriquecimento ambiental foi fornecido a suínos na fase de terminação [15]. Da mesma forma, houve melhor desempenho zootécnico em suínos de 7 a 13 semanas quando brinquedos como borracha estrelada e corrente de ferro foram usados como enriquecimento ambiental em espaços de 0,7-0,9 m²/suíno, comparados a espaço de 0,5 m²/suíno, melhorando o bem-estar dos animais [12].

Os suínos têm uma propensão inata para comportamentos de socialização, exploração e mastigação [1], sendo esses comportamentos influenciados pelos diferentes tipos de enriquecimento fornecido [16]. Blocos cúbicos usados como enriquecimento ambiental afetaram o desenvolvimento comportamental e a capacidade de aprendizagem de leitões [17], assim como o estímulo musical aumentou a atividade, o abanar do rabo e o comportamento de brincar de suínos em crescimento [18]. A longo prazo, especula-se que os suínos expostos ao enriquecimento estariam mais bem preparados para lidar com desafios e, portanto, poderiam adaptar-se mais rapidamente a novos ambientes. O fornecimento de palha reduziu comportamentos agonísticos em *mini pigs* com 16 meses de idade, mas não modificou os indicadores de emoções positivas como frequência e duração do movimento da cauda [4]. Da mesma forma, a adoção de toras de madeira suspensas reduziu a incidência de interações agressivas/prejudiciais de suínos em crescimento, sem interferir nos demais comportamentos [1].

Para suínos na fase de terminação, os animais foram mais ativos e visitaram os bebedouros com maior frequência em um sistema enriquecido com cama sobreposta [19]. A maior disponibilidade de espaço (1,28 m²/suíno) associada a objetos de enriquecimento (estruturas de PVC, cordas de sisal, pedaços de madeira no chão das baias e correntes de

metal suspensas) melhorou os resultados para peso final, ganho de peso diário e conversão alimentar de suínos na fase de terminação, sem afetar o comportamento dos animais [20]. A utilização de blocos de palha como enriquecimento para suínos na fase de terminação aumentou a manipulação, porém, não afetou o crescimento ou as características de carcaça [21]. Em outro estudo [9], o uso de cordas, correntes e outros materiais não afetaram os índices zootécnicos dos animais (consumo diário de ração, ganho de peso diário, conversão alimentar e peso final), mas garantiram parâmetros de bem-estar semelhantes, sugerindo a necessidade de pesquisa mais ampla sobre o design e a função do tipo de enriquecimento escolhido.

Dessa forma, algumas importantes questões são levantadas sobre a atual produção intensiva de suínos: o uso do enriquecimento ambiental na fase de terminação melhora os índices zootécnicos e o comportamento de suínos? Com isso, garantimos as boas práticas de bem-estar para a espécie e adequação às legislações nacionais e internacionais? Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso de enriquecimento ambiental sobre os índices zootécnicos e os aspectos comportamentais de suínos machos e fêmeas na fase de terminação.

2.2. Materiais e Métodos

2.2.1 Local do estudo e uso dos animais

A pesquisa foi realizada em uma unidade de produção experimental e em um abatedouro de suínos, localizados na Região Sul do Brasil (27° 14' 02" S, 52° 01' 40" O), entre os meses de Abril a Agosto. Todos os procedimentos experimentais realizados foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais em Pesquisa – CEUA (protocolo nº 2019/07) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP).

Na unidade de produção experimental, os animais foram alojados em um galpão de alvenaria com 901 m² (8,5 m de largura x 106 m de comprimento), ventilação natural contendo 80 baias. Todas as baias possuíam piso compacto, com 6,43 m² de espaço sem o cocho, e 7,15m² considerando o espaço do cocho.

Foram alojados 432 suínos da linhagem HS (Hampshire), sendo machos inteiros e fêmeas, com peso inicial entre 22-27 kg (63-70 dias de idade) e peso médio final entre 110-125 kg (183-190 dias de idade), durante 112 dias de experimentação. Foram alojados 6 animais por baia, com densidade de 1,07 m²/animal, com acesso ou não aos enriquecimentos ambientais utilizados no experimento. Os machos receberam a vacina comercial de imunocastração, sendo a primeira dose aplicada entre 30 e 40 dias de alojamento e a segunda

dose conforme a data de abate (entre 21 e 28 dias antes da data prevista de abate). Todos os suínos foram previamente identificados por uma sequência numérica, que permitiu a rastreabilidade e registro dos dados individuais e coletivos, desde o alojamento até o abate.

Durante todo o período experimental (112 dias), o ambiente de criação dos animais (na granja) foi monitorado por meio de *dataloggers* da marca HOB0® (U10-003), com registros automáticos de temperatura e umidade a cada 15 minutos. Os equipamentos foram instalados internamente ao galpão, sendo inseridos 01 no centro geométrico da instalação, 01 na entrada do galpão, 01 na saída do galpão e 01 na parte externa do galpão em um abrigo meteorológico a uma distância de 3 metros do galpão e altura de 1,70 m do solo, sob uma área com cobertura vegetal.

2.2.2 Tratamentos e dietas basais

Durante todo o período experimental, foi utilizada uma dieta comercial padrão da empresa integradora, formulada de acordo com as exigências do animal, com base na *Nutrient Requirements of Swine* (NRC) [22]. A quantidade e o tipo de ração fornecida aos animais seguiram a rotina de arraçamento da granja. Todos os animais receberam água *ad libitum*, fornecida em bebedouros nipple localizados dentro das baias, sendo disponibilizado um bebedouro por baia.

Os tratamentos foram:

- T1: corrente ramificada para machos;
- T2: corda de sisal ramificada para machos;
- T3: grupo controle para machos – sem uso de enriquecimento ambiental;
- T4: corrente ramificada para fêmeas;
- T5: corda de sisal ramificada para fêmeas;
- T6: grupo controle para fêmeas – sem uso de enriquecimento ambiental.

2.2.3 Índices zootécnicos

Para a avaliação dos índices zootécnicos dos animais, foram consideradas as médias de peso vivo inicial (PI) e final (PF), consumo diário de ração (CDR), ganho de peso diário (GPD) e conversão alimentar (CA).

Todos os animais, utilizando brincos de identificação, foram pesados individualmente no início (1º dia) e no final do experimento (112º e 113º dia). A pesagem foi realizada sempre pela manhã antes do arraçamento dos animais. Na chegada, os animais foram pesados e

distribuídos em 3 blocos - leves (20,3 a 24,8 kg), médios (24,8 a 27,7 kg) e pesados (27,7 a 33,8 kg), a partir da pesagem realizada na semana anterior ao início do experimento.

2.2.4 Comportamento (Etograma)

A avaliação comportamental foi realizada pela aplicação do método “Animal Focal”, por meio de um etograma de trabalho (Tabela 1), em função do acesso e tempo de uso dos enriquecimentos ambientais testados. As variáveis comportamentais analisadas foram: agressivo (A), calmo (C), alimentando (AL), locomovendo (L), interação com o meio ambiente (IMA), interação com o animal (IA) e interação com o objeto (IB).

Tabela 1. Etograma utilizado para avaliação do comportamento dos animais durante o período experimental

| Comportamento | Descrição |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Agressivo (A) | Animal brigando, mordendo ou arranhando o outro |
| Calmo (C) | Animal deitado com o corpo em contato com o piso, deitado sobre o outro, com olhos fechados ou abertos; sentado (apoiado com a parte posterior e as patas dianteiras no piso); animal parado sobre o piso apoiado nas quatro patas e sem nenhum movimento aparente ou animal excretando dejetos (fezes e urina) |
| Alimentando (AL) | Animal ingerindo alimento (ração ou água) no comedouro ou bebedouro |
| Locomovendo-se (L) | Animal em movimento de caminhada ou corrida pela baia, sem interagir com o ambiente e sem interagir com animal |
| Interativo - meio ambiente (IMA) | Animal fuçando o piso da baia, as laterais ou ao redor do comedouro com o focinho |
| Interativo - animal (IA) | Animal fuçando a orelha, a cauda ou a barriga do outro com o focinho |
| Interativo - objeto (IB) | Animal fuçando, empurrando ou mordendo os objetos colocados na baia |
| Outros (O) | Nenhum. Comportamento diferente dos anteriores citados no etograma. |

Foi realizado um “Teste Piloto” para avaliação preliminar de comportamento e instalação dos enriquecimentos. Para esta análise de teste, uma semana antes do início do experimento, os enriquecimentos ambientais (“EA” - corrente ramificada e “EB” - corda de sisal ramificada) foram disponibilizados nas baias para os animais que receberiam os tratamentos com enriquecimento. Durante uma semana, os comportamentos dos animais foram observados e registrados. Pode-se observar que os animais no 3º dia de “teste” destruíram facilmente as cordas com 12 mm de espessura, sendo necessário substituir por cordas com espessura de 20 mm. Além disso, foi observado que não havia impacto sob o interesse do

animal quando se mantinha ou retirava o enriquecimento, porém retirar e colocar o objeto gerava muito estresse aos animais, pois era necessário entrar na baia para retirar e recolocar o objeto. Além disso, o fato de retirar e recolocar o objeto aumentava mais uma etapa de manejo na granja, o que não era o objetivo do trabalho. Dado essas observações, ficou decidido pela permanência dos materiais de enriquecimento durante todo o experimento. A partir deste teste, foi definido o período de permanência dos enriquecimentos nas baias dos animais e os horários das coletas de dados. Este teste preliminar foi importante para definir e entender a curva de interação dos animais e em qual momento o animal perde o interesse pelo enriquecimento avaliado.

Para instalação dos enriquecimentos, a corrente/corda foi pendurada no centro da baia. A ponta da corrente/corda encostava no chão, sem arrastar, e cada corrente/corda tinha duas ramificações de cerca de 20 cm, que não encostavam no chão. A 1ª ramificação encontrava-se na altura do dorso do animal e a 2ª ramificação na altura do focinho do animal (Figura 1).



Figura 1. Enriquecimentos ambientais do tipo corrente ramificada (EA) e corda de sisal ramificada (EB)

Para a análise comportamental, foi escolhido aleatoriamente um animal em cada baia (unidade experimental), identificado com um bastão marcador de animais “Zoomarc plus” de cor azul, por meio de um risco no dorso do animal (Figura 2). No total, foram selecionados 12 animais por tratamento (1 animal/baia), totalizando 72 animais.

Durante todo o período experimental que aconteceu entre os meses de Abril a Agosto, semanalmente nas segundas-feiras, foram monitorados os comportamentos, *in loco*, no período da manhã (às 09h30 e às 10h00) e no período da tarde (às 12h00, 12h30, 13h00, 14h00, 14h30 e às 15h00), totalizando 8 registros diários. Esse intervalo de observações foi adotado baseando-se na rotina de manejo de arraçamento e limpeza da granja, visando não afetar o comportamento dos animais durante esses momentos e, ao mesmo tempo, coletar o maior número de informações ao longo do dia. O maior número de registros foi realizado no período da tarde, pois os suínos mostram-se mais ativos durante este período do dia (entre 13:30 h e 16:00 h), conforme já destacado por [21]. As coletas de dados foram realizadas por um único avaliador, previamente treinado.



Figura 2. Animal selecionado para análise comportamental (identificado no dorso com bastão marcador azul)

2.2.5 Delineamento experimental e análise estatística dos dados

O delineamento experimental utilizado foi casualizado em blocos, conforme o peso dos animais, sendo leves (20,3 a 24,8 kg), médios (24,8 a 27,7 kg) e pesados (27,7 a 33,8 kg), com esquema fatorial 2 x 3 (sexo x condições de criação), resultando em 6 tratamentos, com 12 repetições por tratamento, totalizando 72 baias.

Para a avaliação dos índices zootécnicos, ou seja, as variáveis de natureza quantitativa contínua como ganho de peso, o modelo linear estatístico (1) ajustado a cada um dos conjuntos de dados foi:

$$Y_{isc} = \mu + (\text{bloco})_i + (\text{sexo})_s + (\text{enriquecimento})_c + (\text{sexo} \times \text{enriquecimento})_{sc} + \epsilon_{isc} \quad (1)$$

em que, Y_{isc} denota a variável resposta quantitativa como o ganho de peso, por exemplo, para as quais: $i = 1,2,3$ indicam os níveis de blocos (leve, médio, pesado), $s = 1,2$ os níveis de sexo (macho, fêmea) e $c = 1,2,3$ os níveis de enriquecimento ambiental (corda, corrente, nenhum), respectivamente, e ϵ é o erro experimental, que deve atender às pressuposições de normalidade, homogeneidade, aditividade e independência.

As análises das variáveis contínuas foram feitas por meio da Análise de Variância para ensaios em blocos com esquema fatorial de tratamentos e as comparações de médias foram feitas pelo teste Tukey, ao nível de significância de 5%.

Para as avaliações de comportamento dos animais, como as variáveis são politômicas nominais, ou seja, possuem mais de duas categorias de resposta (7 comportamentos), o modelo mais usual é o modelo dos logitos generalizados, que é uma extensão dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) da regressão logística para dados binários [23].

Para verificar se os comportamentos dos animais diferiram nos períodos da manhã e da tarde, realizou-se uma análise separada para cada período. O teste da razão de verossimilhanças foi empregado para avaliar os efeitos de tratamentos e interação entre sexo e condição ambiental (enriquecimento), adotando-se nível de significância de 5%. Esse teste avalia quais são os efeitos significativos para explicar a probabilidade de um dado comportamento animal, tomando-se como referência uma categoria base. Como resultado, diferentemente do modelo linear (1), em que se prediz a média dos tratamentos, aqui se prediz as proporções de comportamento. Nessas condições, fixando-se a K -ésima categoria como referência, no nosso estudo representado pela categoria “calmo” (C), tem-se que o modelo estatístico (2) é dado por:

$$\log(\pi_{iscj}/\pi_{iscK}) = \alpha_j + (\text{bloco})_{ij} + (\text{sexo})_{sj} + (\text{enriquecimento})_{cj} + (\text{sexo} \times \text{enriquecimento})_{scj} \quad (2)$$

em que π_{iscj} representa a probabilidade de ocorrência da categoria $j=1,2,3,4,5,6$ representando os seis tipos de comportamentos dos animais (locomovendo “L”, agressivo

“A”, alimentando “AL”, interação animal “IA”, interação meio ambiente “IMA” e interação objeto “IB”), avaliadas pelo logito em relação à probabilidade do comportamento calmo. Os efeitos considerados no modelo dos logitos generalizados, são os mesmos estabelecidos no modelo linear (1), a menos pelo fato de que cada efeito leva em conta a j-ésima categoria de resposta, para as quais se tem os níveis de bloco, $i=1,2,3$ (pesos dos animais), $s = 1;2$, representado fêmea e macho e $c=1,2,3$ os níveis de enriquecimento ambiental (corda, corrente e ausência de objetos). A análise foi realizada com auxílio do software R [24] e para análise nominal utilizou-se o pacote nnet [25].

2.3. Resultados

2.3.1 Índices zootécnicos

Para o peso médio inicial (PI), peso médio final (PF), ganho diário de peso (GDP) e consumo diário de ração (CDR), não houve efeito ($p>0,05$) da interação (enriquecimento x sexo), havendo efeito ($p<0,05$) apenas do enriquecimento ambiental sobre essas variáveis. Adicionalmente, foi observado menor CDR ($p=0,012$) e menor GDP ($p=0,022$) para os animais enriquecidos com a corrente em relação aos animais dos demais tratamentos. Constatou-se, também, que não houve significância ($p>0,05$) da interação (enriquecimento x sexo), assim como dos fatores isolados de sexo e enriquecimento para as médias de CA. As médias obtidas, bem como as diferenças entre elas, na ausência do fator sexo, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Índices zootécnicos de suínos (machos e fêmeas) na fase de terminação

| Variáveis | Tratamentos | | | Valor de p* | | |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|-------|-----------|
| | Corrente | Corda | Grupo Controle | EA | Sexo | Interação |
| CDR (kg) | 1,863 b | 1,950 a | 1,944 a | 0,012 | 0,474 | 0,554 |
| GDP (kg) | 657,40 b | 685,60 a | 677,40 a | 0,022 | 0,324 | 0,734 |
| CA | 2,83 | 2,84 | 2,87 | 0,685 | 0,465 | 0,454 |

*Resultados obtido por meio do teste de Tukey para os níveis dos fatores (EA = enriquecimento ambiental, sexo e interação EA x sexo) sobre as variáveis: CDR (consumo diário de ração), GDP (ganho diário de peso) e CA (conversão alimentar). Dentro de cada linha, valores com letras diferentes indicam diferença estatística significativa ($p<0,05$).

2.3.2. Comportamento

Para o comportamento dos animais, observou-se que a interação entre sexo e enriquecimento não foi significativa ($p=0,8986$). Porém, houve efeito do enriquecimento ambiental ($p=0,0017$; $p<0,001$) e do sexo ($p=0,0251$; $p<0,001$) em relação ao comportamento dos animais no período da manhã e da tarde, respectivamente. As probabilidades de

ocorrência de cada comportamento dos suínos podem ser observadas para fêmeas e machos na

| Tratamentos | Tipos de comportamentos | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|-------------|---------|------------------|-------------------------|------------------|-------------|--------|
| | Agressivo | Alimentando | Calmo | Interação Animal | Interação Meio Ambiente | Interação Objeto | Locomovendo | Outros |
| Corrente (Macho) | 0,862% | 2,083% | 67,529% | 3,017% | 10,560% | 14,871% | 1,078% | 0% |
| Corda (Macho) | 0,656% | 1,458% | 66,910% | 2,114% | 13,921% | 14,286% | 0,656% | 0% |
| SE (Macho) | 1,078% | 2,155% | 77,874% | 4,310% | 13,434% | 0% | 1,149% | 0% |
| Corrente (Fêmea) | 0,216% | 1,509% | 71,049% | 2,155% | 10,848% | 13,003% | 1,149% | 0,072% |
| Corda (Fêmea) | 0% | 1,389% | 67,982% | 1,754% | 15,205% | 13,085% | 0,585% | 0% |
| SE (Fêmea) | 0,144% | 1,365% | 80,388% | 3,233% | 13,865% | 0% | 1,006% | 0% |

Tabela 3.

Tabela 3: Frequência de cada comportamento em relação aos tipos de tratamentos

Na Figura 3, ressalta-se que, quanto mais intensa a cor, ou seja, mais avermelhada, maior a probabilidade de ocorrência do comportamento para o bloco e o enriquecimento ambiental considerado. Figuras 3A e 3B representam o período da manhã, enquanto 3C e 3D o período da tarde.

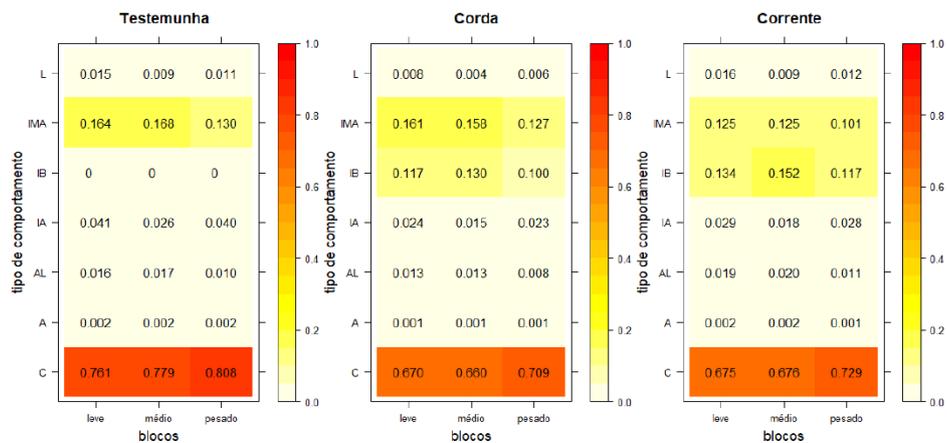
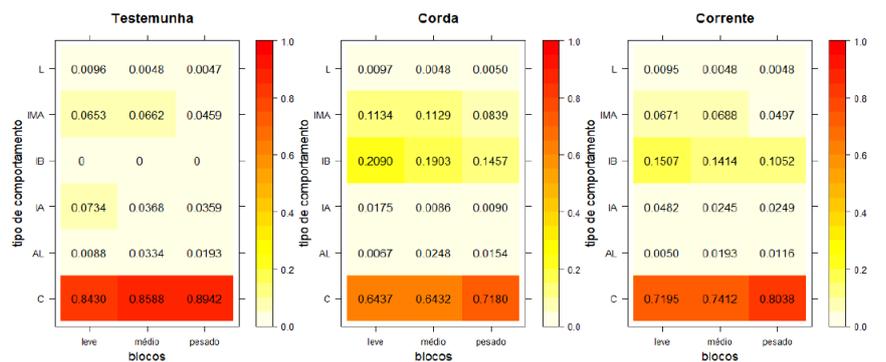
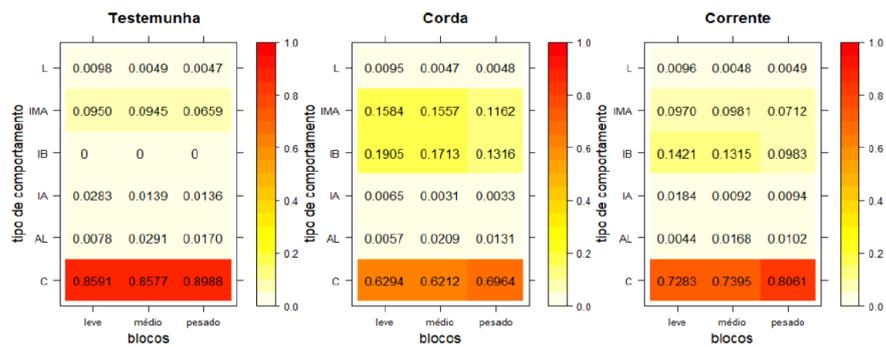
Para os animais de todos os tratamentos, houve menor probabilidade do comportamento agressivo (A), tanto para machos como para fêmeas. Para os animais sem enriquecimento (grupo controle), observou-se que fêmeas (Figura 3A) e machos (Figura 3B), no período da manhã, apresentaram maior probabilidade de ocorrência do comportamento calmo (C) comparados aos demais grupos e ao período da tarde (Figuras 3C e 3D), quando foi maior a interação com o meio ambiente (IMA) para ambos os sexos dos blocos leve/médio. Foi observada maior probabilidade de interação animal (IA) para os machos do bloco leve do grupo controle (Figura 3B) no período da manhã em relação aos demais grupos.

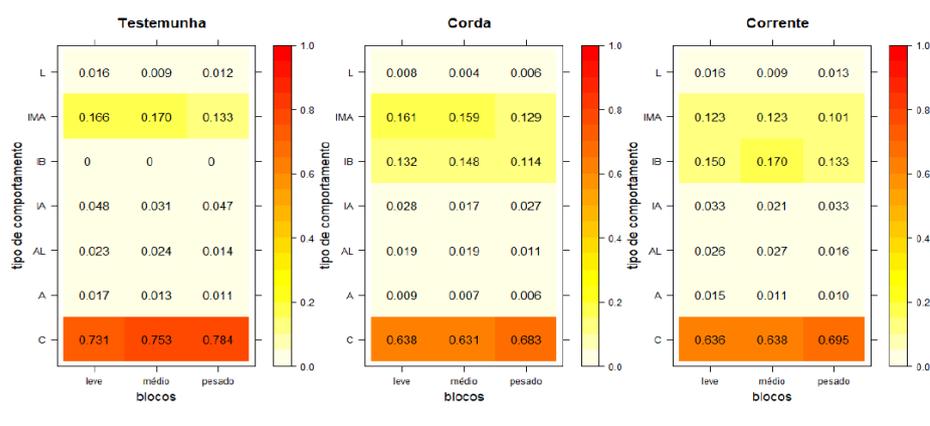
Em relação ao uso de cordas ramificadas como EA, observou-se que as fêmeas dos blocos leve/médio apresentaram maior probabilidade de ocorrência do comportamento de IMA no período da manhã, em relação aos machos, sem diferença entre os sexos no período

da tarde. A interação com o objeto (IB) com o uso de cordas foi maior no período da manhã para os machos leves e para fêmeas dos blocos leve/médio.

Com o uso das correntes ramificadas como EA, machos do bloco leve apresentaram maior comportamento de IB no período da manhã, enquanto ambos os sexos apresentaram maior IB no período da tarde para o bloco médio.

A análise de comportamento, neste caso, também segue a limitação da técnica estatística empregada, embora apropriada para o caso, exige a necessidade de uma amostra maior.





(D)

Figura 3. Probabilidade de ocorrência de cada comportamento das fêmeas (A) e machos (B) no período da manhã e fêmeas (C) e machos (D) no período da tarde. Classificações de comportamento dos animais: calmo (C), alimentando (AL), locomovendo (L), interação animal (IA), interação meio ambiente (IMA), interação objeto (IB) e agressivo (A).

2.4. Discussão

Os índices zootécnicos não diferiram entre os animais com o uso de cordas ramificadas e sem enriquecimento ambiental, porém, o CDR e o GDP dos suínos foram menores para os animais enriquecidos com a corrente ramificada, sem alterar a CA dos animais dos diferentes tratamentos. Esses resultados diferem de [20] em que a maior disponibilidade de espaço (1,28 m²/suíno) associada a objetos de enriquecimento similares aos deste estudo (cordas de sisal e correntes de metal suspensas) melhorou os resultados para peso final, GDP e CA de suínos na fase de terminação, sem afetar o comportamento dos animais. Ressalta-se que, no presente estudo, havia duas ramificações de 20 cm nas extremidades das cordas e correntes, uma na altura do dorso e outra na altura do focinho do animal, provocando estímulos visuais/sonoros e estimulando a curiosidade e a movimentação dos animais, possivelmente com maior gasto de energia para essa fase de criação.

Da mesma forma, o uso de outros materiais de enriquecimento como tecido de juta, cordas de algodão e dispositivos de palitos de silicone mastigáveis propiciou maior peso de abate em suínos de terminação [15]; substratos naturais como palha oferecidos desde o nascimento ao abate aumentaram a ingestão de ração e o peso corporal [10]; e brinquedos usados em espaços de 0,7-0,9 m²/suínos melhoraram os índices zootécnicos e o bem-estar de suínos em crescimento [12], enquanto o uso de tora de madeira suspensa não afetou a taxa de crescimento de suínos em crescimento [1].

Para a discussão do comportamento, é importante reforçar que não foi dada aos suínos a opção de escolher o tipo de enriquecimento (corda ramificada, corrente ramificada ou sem enriquecimento), com o intuito de observar os efeitos individuais dos objetos sobre os comportamentos avaliados. Para o grupo controle, houve maior probabilidade de ocorrência do comportamento calmo no período da manhã em relação aos enriquecimentos com corda e

corrente, o que pode ser explicado pela menor temperatura nesse período do dia, enquanto à tarde foi evidente a maior interação com o meio ambiente (IMA) em ambos os sexos. A maior probabilidade de interação com o animal (IA) ocorreu nos machos do grupo controle do bloco leve no período da manhã, sendo explicado, possivelmente, pelo comportamento natural exploratório e curioso dos animais menores em relação aos mais pesados.

No enriquecimento com a corda ramificada, a maior IMA para as fêmeas, no período da manhã, e para os machos nos dois períodos, ambos dos blocos leve/médio, poderia sugerir um possível desinteresse por esse tipo de enriquecimento. Por sua vez, houve maior probabilidade de interação com o objeto (IB) com a corda no período da manhã para machos (bloco leve) e fêmeas (bloco leve/médio). Esse resultado difere do recente trabalho de [26], em que a corda de sisal era o brinquedo preferido de suínos em crescimento ao longo de todo o dia em comparação às correntes, sem diferenciação do período da manhã ou tarde. Porém, os autores não detalham se a corda de sisal utilizada possuía ramificação nas extremidades, assim como a corda utilizada neste estudo.

[27] relataram maior interação e preferência quando foi utilizado óleo de alho como enriquecimento olfativo em cordas para leitões desmamados. No nosso estudo, apesar de não ser utilizado o enriquecimento olfativo, notou-se que a corda mantém um odor mais forte no material em comparação às correntes, o que pode afetar a utilização do objeto pelo animal e necessitar de maior higienização, limitando o seu uso, especialmente nas fases de terminação. Da mesma forma, notou-se diferença no comportamento dos animais de acordo com o peso, sendo mais expressivos os comportamentos de interação nos animais mais leves. A influência do enriquecimento no comportamento pode depender das experiências iniciais dos animais, uma vez que, com o enriquecimento precoce, observa-se maior tempo gasto explorando, mastigando, brincando e, posteriormente, maior capacidade de lidar com os desafios [10].

Alguns autores [10,28] associaram a maior interação dos animais com o meio ambiente (IMA) como positiva, uma vez que permite ao animal exibir comportamentos típicos da espécie, como exploração e brincadeira. É importante destacar que a interação ambiental, neste estudo, estava relacionada ao animal fuçando o piso da baia, as laterais ou ao redor do comedouro com o focinho. Essa pode ser uma possível justificativa para os animais do grupo corda terem interagido mais com o ambiente do que com o enriquecimento ao longo do dia e terem apresentado bons índices zootécnicos durante o período de experimentação. Os animais enriquecidos com as correntes, por sua vez, podem ter demandado maior gasto de energia na interação com o objeto ao longo do dia, com maior movimentação dos animais, estimulados

pelo som provocado pela corrente, acarretando menor consumo de ração e menor ganho de peso, porém, sem afetar a CA.

Nas baias com correntes houve maior probabilidade de IB para machos leves no período da manhã, e para ambos os sexos, do bloco médio, no período da tarde. Uma das possíveis justificativas é de que a temperatura da corrente foi inferior à temperatura da corda e, por esse motivo, foi mais atrativa para os animais no período mais quente do dia. Além disso, o barulho e o brilho ocasionados na movimentação das correntes podem ter sido outros atrativos aos animais. A maior atividade comportamental dos suínos no período da tarde já foi anteriormente relatada por [28], reforçando a preferência por interagir com brinquedos pendurados em comparação com aparas de madeira.

Outro ponto importante, como já foi relatado por [10], é de que o uso do enriquecimento ambiental de forma precoce é o mais indicado, embora sua utilização apenas em fases posteriores da vida melhore o bem-estar e o desempenho de suínos. Além disso, retirar suínos de ambientes enriquecidos para ambientes estéreis leva à frustração e deve ser evitado, sendo o enriquecimento ambiental uma importante estratégia para melhorar o bem-estar e a qualidade de vida dos animais durante todo o período de criação.

O fato do comportamento agressivo (A) ter tido pouca probabilidade de ocorrência em todos os tratamentos, tanto para machos como para fêmeas, demonstra um ambiente adequado de alojamento e manejo dos animais durante o período de experimentação, sendo os benefícios do enriquecimento sobre outros comportamentos (como locomover-se e alimentar-se) menos observados neste estudo. É importante ressaltar que o experimento de campo foi realizado entre os meses de abril a agosto de 2018, outono e inverno no Brasil, períodos com temperaturas mais amenas. Em épocas mais quentes do ano, acredita-se que outros comportamentos também poderiam ser evidenciados pelo uso do enriquecimento ambiental nas baias, melhorando o bem-estar dos animais na fase de terminação.

De forma geral, o tipo de enriquecimento fornecido pode influenciar a utilização dos materiais pelos suínos, com diferentes resultados encontrados com a utilização de cordas e correntes para leitões desmamados [27], suínos em crescimento [26] e suínos na fase de terminação [9,20]. No presente estudo, relataram-se os benefícios do uso das cordas e correntes ramificadas sobre o comportamento dos animais em diferentes períodos do dia e sobre os índices zootécnicos. Para as correntes ramificadas, destacou-se menor CDR e menor GDP, com similar CA para os animais dos diferentes tratamentos, sugerindo redução dos custos de produção com esse material. Além disso, o uso de correntes ramificadas, acrescentando “ramos”, como neste estudo, com várias cadeias curtas terminando com duas a

três extremidades na altura do focinho dos animais, já vem sendo recomendado como um primeiro passo para o enriquecimento adequado na criação intensiva de suínos [29,30]. Assim, a durabilidade, facilidade de limpeza e manuseio faz da corrente um interessante material para ser utilizado na criação de suínos, especialmente na fase de terminação.

2.5. Conclusão

Os suínos interagem de formas diferentes ao longo do dia com os enriquecimentos fornecidos na fase de terminação, sendo maior a interação com a corda no período da manhã e com a corrente no período da tarde. Na ausência do enriquecimento, machos e fêmeas mostram-se menos calmos e com maior interação com o ambiente no período da tarde, sugerindo comportamentos não esperados pelos autores.

Apesar dos suínos com as correntes apresentarem menor CDR – consumo diário de ração e menor GDP – ganho diário de peso, a CA – conversão alimentar foi similar para os animais dos diferentes tratamentos, sendo esse um importante índice zootécnico, com impacto econômico nos custos de produção.

Portanto, o uso de enriquecimento ambiental como cordas e correntes ramificadas garantem o desempenho zootécnico e comportamento adequados de suínos na fase de terminação, sendo esses materiais interessantes estratégias de enriquecimento para atender às principais normativas e diretrizes de manejo e bem-estar na produção animal.

Contribuições dos autores

Materiais Complementares: Tabela 1. Etograma utilizado para avaliar o comportamento dos animais durante o período experimental; Tabela 2. Índices zootécnicos de suínos em terminação (machos e fêmeas); Tabela 3. Frequência de cada comportamento em relação aos tipos de tratamentos; Figura 1. Enriquecimentos ambientais do tipo corrente ramificada (EA) e corda de sisal ramificada (EB) inseridas nas baias, conforme padrão estabelecido no estudo; Figura 2. Animal selecionado para análise do comportamento (identificado com um bastão de cor azul); Figura 3. Probabilidade de ocorrência de cada comportamento para fêmea (A) e macho (B), no período da manhã e fêmea (C) e macho (D), à tarde. Classificação do comportamento do animal: calmo (C), alimentando (AL), locomovendo (L), interação animal (IA), interação com o ambiente (IMA), interação com o objeto (IB) e agressivo (A).

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Agradecimentos: Os autores deste estudo agradecem a todos os profissionais técnicos que contribuíram para esta pesquisa.

Contribuições dos autores: Conceitos, T.M. e S.I. (Mariana Tavares e Iran Silva); Metodologia, T. M. e S.I.; software, D. I. e S. M. (Idemauro de Lara e Maria Salvador); validação, D.I.; análise formal, D.I; investigação, A. A. (Alessandra Arno); recursos, T.M.; curadoria de dados, S.I.; redação e preparação do rascunho original, T.M.; escrita e revisão e edição, T.M. e S.I.; supervisão, S.I.; administração de projetos, T. M. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Declaração do Conselho de Revisão Institucional: O estudo do animal foi realizado de acordo com as recomendações do protocolo número 2019-07 sob responsabilidade de Iran José de Oliveira, aprovado pelo Comitê Institucional de Cuidados e Uso de Animais (CEUA), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, Brasil, Universidade de São Paulo. De acordo com a Lei nº 11.794/2008, e com as normas emanadas do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal – CONCEA.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido: Não aplicável para este estudo.

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse

Referências

1. Giuliotti, L.; Benvenuti, M.N.; Giannarelli, A.; Mariti, C.; Gazzano, A. Effect of different environment enrichments on behaviour and social interactions in growing pigs. *Animals*. **2019**, *9*, 101. <https://doi.org/10.3390/ani9030101>
2. Hulbert, L.E. Precision animal welfare for pigs. *J. Anim. Sci.* **2019**, *97*, S3. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0106>
3. Brasil. Instrução Normativa nº 113, de 16 de dezembro de 2020. Estabelecer as boas práticas de manejo e bem-estar animal nas granjas de suínos de criação comercial. Diário Oficial [da] União, Brasília, DF. Publicado em 18 de dezembro de 2020, Edição 242, Seção 1, p. 5.
4. Marcet-Rius, M.; Kalonjia, G.; Cozzib, A.; Bienboire-Frosinia, C.; Monneretc, P.; Kowalczyk, I.; Terueld, E.; Codecasac, E.; Pageat, P. Effects of straw provision, as environmental enrichment, on behavioural indicators of welfare and emotions in pigs reared in an experimental system. *Livest. Sci.* **2019**, *221*, 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.01.020>
5. Wang, C.; Han, Q.; Liu, R.; Ji, W.; Bi, Y.; Wen, P.; Yi, R.; Zhao, P.; Bao, J.; Liu, H. Equipping Farrowing Pens with straw improves maternal behavior and physiology of min-pig hybrid sows. *Animals*. **2020**, *10*, 105. <https://doi.org/10.3390/ani10010105>
6. Dušanka, J.; Gorjanc, G.; Štuhec, I.; Žgur, S. Improvement of pork characteristics under commercial conditions with small amount of straw or hay. *J. Appl. Anim. Res.* **2018**, *46*, 1317-1322. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1503963>
7. Lahrman, H.P.; Hansen, C.F.; D’Eath, R.B.; Busch, M.E.; Nielsen, J.P.; Forkman, B. Early intervention with enrichment can prevent tail biting outbreaks in weaner pigs. *Livest. Sci.* **2018**, *214*, 272-277. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.06.010>

8. Backus, B.L.; McGlone, J.J. Evaluating environmental enrichment as a method to alleviate pain after castration and tail docking in pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2018**, *204*, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.04.009>
9. Nannoni, E.; Sardi, L.; Vitali, M.; Trevisi, E.; Ferrari, A.; Ferri, M.E.; Bacci, M.L.; Govoni, N.; Barbieri, S.; Martelli, G. Enrichment devices for undocked heavy pigs: effects on animal welfare, blood parameters and production traits. *Ital. J. Anim. Sci.* **2018**, *18*, 45-56. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1472531>
10. Luo, L.; Reimert, I.; Middelkoop, A.; Kemp, B.; Bolhuis, J.E. Effects of early and current environmental enrichment on behavior and growth in pigs. *Front. Vet. Sci.* **2019**, *7*, 1-14. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00268>
11. Casal-Plana, N.; Manteca, X.; Dalmau, A.; Fàbrega, E. Influence of enrichment material and herbal compounds in the behaviour and performance of growing pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2017**, *195*, 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.06.002>
12. Li, Y.; Wang, C.; Huang, S.; Liu, Z.; Wang, H. Space allowance determination by considering its coeffect with toy provision on production performance, behavior and physiology for grouped growing pigs. *Livest. Sci.*, **2021**, *243*, 104389. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104389>
13. Godyn, D.; Nowicki, J.; Herbut, P. Effects of environmental enrichment on pig welfare - a review. *Animals*, v. 9, n. 6, p. 383, 2019. <https://doi.org/10.3390/ani9060383>
14. Misra, S.; Bokkers, E.A.M.; Upton, J.; Quinn, A.J.; O'Driscoll, K. Effect of environmental enrichment and group size on the water use and waste in grower-finisher pigs. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 16380. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95880-0>
15. Morgan, L.; Itina-Swartz, B.; Koren, L.; Meyer, J.; Raz, T. Welfare implications of husbandry procedures impair piglets' welfare and production, and farms' economic. *J. Anim. Sci.* **2019**, *97*, 4. <https://doi.org/10.1093/jas/skz258.005>
16. Buijs, S.; Muns, R. A review of the effects of non-straw enrichment on tail biting in pigs. *Animals*. **2019**, *9*, 824. <https://doi.org/10.3390/ani9100824>
17. Ralph, C.; Hebart, M.; Cronin, G.M. Enrichment in the sucker and weaner phase altered the performance of pigs in three behavioural tests. *Animals* **2018**, *8*, 74. <https://doi.org/10.3390/ani8050074>
18. Li, J.; Li, X.; Liu, H.; Li, J.; Han, Q.; Wang, C.; Zeng, X.; Li, Y.; Ji, W.; Zhang, R.; Bao, J. Effects of music stimulus on behavior response, cortisol level, and horizontal immunity of growing pigs. *J. Anim. Sci.*, **2021**, *99*, 1-9.
19. Amaral, P.I.S.; Campos, A.T.; Esteves Junior, R.C.; Esteves, G.F.; Yanagi Junior, T.; Leite, M.E.C.R. Behavioral responses of pigs finished in deep bedding and conventional bed systems. *Eng. Agríc.*, **2021**, *41*, 25-33. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n1p25-33/2021>
20. Caldas, E.D.; Michelon, A.; Foppa, L.; Simonelli, S.M.; Pierozan, C.R.; Dario, J.G.N.; Duarte, J.V.S.; Silva, C.C.R.; Silva, C.A. Effect of stocking density and use of environmental enrichment materials on the welfare and the performance of pigs in the growth and finishing phases. *Span. J. Agric. Res.*, **2020**, *18*, e0504. <https://doi.org/10.5424/sjar/2020184-15946>
21. Bulens, A.; Van Beirendonck, S.; Van Thielena, J.; Buys, N.; Driessen, B. Long-term effects of straw blocks in pens with finishing pigs and the interaction with boar type. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2016**, *176*, 1-11. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.applanim.2016.01.008>
22. NRC. Nutrient requirements of swine. 11th ed. Washington (DC): National Academies Press. 2012.
23. Agresti, A. Categorical Data Analysis. 2^a ed. ed. [S.l.]: New York, 2022. 710p. <https://www.R-project.org/>

24. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
25. Venables, W.N.; Ripley, B.D.S. Modern Applied Statistics with S. 4ª edição. ed. [s.n.], 2013. 495p. Disponível em: <http://www.insightful.com>.
26. Santos, J.V.; Farias, S.S.; Pereira, T.L.; Teixeira, C.P.C.; Titto, C.G. Preference for and maintenance of interest in suspended enrichment toys in confined growing pigs. *J. Vet. Behav.* **2021**, *45*, 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2021.07.005>
27. Blackie, N.; Souza, M. The use of garlic oil for olfactory enrichment increases the use of ropes in weaned pigs. *Animals*. **2019**, *9*, 148. <https://doi.org/10.3390/ani9040148>
28. Oliveira, R.F.; Soares, R.T.R.N.; Molino, J.P.; Costa, R.L.; Bonaparte, T.P.; Silva Júnior, E.T.; Pizzutto, C.S.; Santos, I.P. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* **2016**, *68*, 415-421. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-8253>
29. Bracke, M.B.M.; Koene, P. Expert opinion on metal chains and other indestructible objects as proper enrichment for intensively-farmed pigs. *PLOS one*, **2019**, 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212610>
30. Bracke, M.B.M. Chains as proper enrichment for intensively-farmed pigs? In: Spinka M, editor. *Advances in Pig Welfare*: Elsevier; 2018. p. 167–197. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101012-9.00005-8>

3. ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL E SEUS EFEITOS SOBRE A QUALIDADE DE CARNE DE SUÍNOS EM TERMINAÇÃO

(Formatado de acordo com as normas da revista *Animals*)

Resumo simples:

Aspectos sensoriais da carne como textura e aparência (coloração e exsudação), são extremamente relevantes e determinantes para sua aceitação ou rejeição pelo consumidor e estão inteiramente relacionados ao manejo pré-abate e pós-abate do animal. O enriquecimento ambiental é uma importante estratégia de manejo prevista na legislação nacional e internacional visando reduzir o comportamento anormal e agonístico e melhorar o bem-estar animal e a qualidade do produto final. Neste estudo, foram comparados dois tipos de enriquecimento ambiental (corrente ramificada e corda de sisal ramificada) sobre a qualidade da carne, os parâmetros fisiológicos e as lesões em suínos. Observou-se que o enriquecimento ambiental não afeta a fisiologia e o grau de lesões dos animais, porém, melhora a qualidade da carne dos machos enriquecidos com a corda de sisal ramificada.

Resumo:

O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade da carne, lesões e parâmetros fisiológicos de suínos com acesso e sem acesso ao enriquecimento ambiental (EA) na fase de terminação. Foram alojados 432 suínos da linhagem HS (Hampshire), machos inteiros e fêmeas, com peso médio inicial e final entre 22-27 kg e 110-125 kg respectivamente. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com 6 tratamentos, distribuídos em esquema fatorial 2x3 (sexo x condições de criação), sendo 12 repetições por tratamento, totalizando 72 baias. Os tratamentos foram: corrente ramificada para machos (T1); corda sisal ramificada para machos (T2), machos sem EA (T3); corrente ramificada para fêmeas (T4); corda sisal ramificada para fêmeas (T5), fêmeas sem EA (T6). Semanalmente, foram realizadas duas avaliações dos dados fisiológicos, in loco, no período da manhã e tarde. Foram avaliadas as lesões na cauda, orelha, corpo e claudicação no 1º, 16º, 37º, 51º, 79º, 93º e 112º dia. No 112º dia, 72 animais foram abatidos para realização das análises de qualidade de carne. A análise estatística foi feita por meio de modelos lineares generalizados e mistos, sendo todas elas processadas por meio do software R. As temperaturas foram mais elevadas ($p < 0,01$) no período da tarde para cabeça, dorso, pernil e temperatura média. O grau de lesão foi avaliado por meio de uma escala ordinal, que variou de 0 a 4, sendo 4 o mais alto grau de lesão. Houve maior ocorrência das categorias 2, 3 e 4 para lesões no corpo nos machos ($p = 0,0257$), independente do EA. Houve maior ocorrência (91,30%) de carne vermelha, firme e não exaustiva (RFN) para animais enriquecidos com a corda ramificada e para machos (88,57%) em relação às fêmeas (83,33%). Conclui-se que o EA com corda ramificada melhora a qualidade da carne dos suínos de terminação.

Palavras-chave: Bem-estar animal; Suínos; Enriquecimento ambiental; Qualidade da carne

3.1. Introdução

A qualidade da carne, do ponto de vista técnico, compreende desde a qualidade nutricional, a qualidade tecnológica para comercialização *in natura* e para processamento, a qualidade do ponto de vista sensorial e a segurança quanto à presença de resíduos ou contaminantes (BERTOL, 2019). As características sensoriais da carne suína, incluindo aroma, textura, maciez, cor e aparência (coloração e exsudação), são extremamente relevantes e influenciam a decisão dos consumidores na hora da compra do produto.

Praticamente todos os desvios de qualidade encontrados nas carcaças e nos cortes suínos têm origem no manejo pré-abate e nas operações pós-abate (BRANDT; AASLYNG, 2015; DALLA COSTA et al. 2017; DALLA COSTA et al., 2018; DRIESSEN et al., 2020; LUDKE et al., 2016). Se as condições de manejo proporcionarem estresse e sofrimento ao animal, isso refletirá negativamente na qualidade da carne (ČOBANOVIĆ et al., 2016; DALLA COSTA et al. 2019; DRIESSEN et al., 2020; GRANDIN et al., 2017; GUIMARÃES et al., 2017; ZHEN et al., 2013). Após a morte do suíno ocorre um processo metabólico que converte o músculo em carne. Esse processo decorre da conversão do glicogênio muscular para ácido láctico, sendo mais rápido no suíno quando comparado a outras espécies como bovinos e ovinos. Alterações neste metabolismo *post mortem* podem resultar em anomalias na qualidade da carne, sendo as mais comuns a carne pálida, flácida e exsudativa (PSE) e a carne escura, firme e seca (DFD). A incidência de carne PSE, caracterizada principalmente pela menor capacidade de retenção de água e cor anormal do meio (ZEQUAN et al., 2021), é muito mais frequente e impactante na qualidade final de produtos cozidos do que a DFD, podendo causar sérios prejuízos às indústrias (CIBOROWSKA et al., 2021; LIU et al., 2022; LUDKE et al., 2016; THÉRON et al., 2019; ZEQUAN et al., 2021).

O bem-estar animal tem um impacto positivo na qualidade do produto, na segurança alimentar e na aceitação dos consumidores (CASAL et al., 2018; CHOU et al., 2019; MKWANAZI et al., 2019; GODYN; NOWICKI; HERBUT, 2019). Alguns manejos realizados nas diferentes fases da vida do animal estão diretamente ligados à qualidade de carne, sendo assim, boas condições de manejo são de fundamental importância para garantir o bem-estar animal (GODYN; NOWICKI; HERBUT, 2019). O enriquecimento ambiental é uma importante estratégia de manejo prevista na legislação nacional (BRASIL, 2020) e internacional (CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2008; OIE, 2021) visando reduzir o

comportamento anormal e agonístico e melhorar o bem-estar animal e a qualidade do produto (LUDKE, C. et al., 2016; FÀBREGA, E. et al., 2019)

FOPPA et al. (2020) destacaram que os principais objetos utilizados como enriquecimento ambiental nas granjas brasileiras em 2018 foram: correntes metálicas (69,3%), galões de plásticos (44,5%), pedaços de madeira (26,1%), pneus (17,7%), terra (12,5%), tubos de PVC (11,6%), grama/capim (9,2%), música (6,9%), pedras (6,6%), cordas de plástico (4,1%) e mangueiras de plástico (3,6%). Dessa forma, diferentes materiais podem ser utilizados na produção animal como materiais de enriquecimento, porém, a eficácia de um objeto de enriquecimento pode ser observada pela sua capacidade de redirecionar comportamentos indesejáveis e anormais, como agressão e estereotípias para a expressão de comportamentos inatos à espécie (FOPPA et al., 2018; GODYN; NOWICKI; HERBUT, 2019).

Os suínos já demonstraram preferência por brinquedos que podem ser mastigados, como correntes, cordas e palha picada, refletindo o comportamento exploratório da espécie (LAHRMANN et al., 2018; VITALI, M. et al., 2019). Assim, o uso de pequena quantidade de palha e feno (100 g/animal/dia) melhorou a qualidade da carne de suínos machos e fêmeas na fase de terminação, diminuindo a incidência de carne DFD (DUŠANKA et al., 2018), e propiciou diminuição nas lesões cutâneas de suínos machos em terminação comparados com suínos enriquecidos com papel, com menor porcentagem de comportamento social negativo (FÀBREGA et al., 2019). No entanto, a qualidade da carne e da carcaça não foram afetadas pelos diferentes enriquecimentos utilizados (palha, papel, correntes e madeira).

Em estudos anteriores, a qualidade da carne e da carcaça de suínos em terminação não foi afetada pelo fornecimento de enriquecimento ambiental como toras de madeira ou blocos comestíveis, em alternativa as correntes metálicas suspensas comuns (VITALI et al., 2019), embora os suínos enriquecidos com cordas, serragem e bolas de borracha (CASAL et al., 2018) apresentaram maior peso corporal no abate em relação ao grupo controle. Em relação ao uso de cordas e correntes ramificadas, os suínos já demonstraram preferência pela corda de sisal ramificada quando comparada à corrente ramificada e à garrafa pet (Bracke & Koene, 2019; SANTOS et al., 2021). As correntes ramificadas têm sido avaliadas quanto à sua capacidade de diminuir lesões gástricas e de pele em suínos em crescimento e terminação (FOPPA et al., 2020), pois facilitam a interação dos suínos com o objeto, independentemente do tamanho do animal. Além disso, segundo Bracke & Koene (2019), esses materiais

apresentam durabilidade e permitem que os suínos tenham contato simultâneo com a corrente, promovendo benefícios sociais e a sincronização de comportamentos.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso de cordas e correntes ramificadas como enriquecimento ambiental sobre a qualidade de carne, lesões e parâmetros fisiológicos de suínos na fase de terminação.

3.2. Materiais e Métodos

A pesquisa foi realizada em uma unidade de produção experimental e em um abatedouro de suínos, localizados na Região Sul do Brasil (27° 14' 02" S, 52° 01' 40" O), entre os meses de Abril a Agosto. Todos os procedimentos experimentais realizados foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais em Pesquisa – CEUA (protocolo nº 2019/07) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP).

3.2.1 Local do estudo e animais

Na unidade de produção experimental, os animais foram alojados em um galpão de alvenaria com 901m² (8,5 m de largura x 106 de comprimento) com ventilação natural contendo 80 baias. Todas as baias possuíam piso compacto, com 6,43 m² de espaço sem o cocho, e 7,15m² considerando o espaço do cocho.

Foram alojados 432 suínos da linhagem HS (Hampshire), sendo machos inteiros e fêmeas, com peso inicial entre 22-27 kg (63-70 dias de idade) e peso médio final entre 110-125 kg (183-190 dias de idade), durante 112 dias de experimentação. Foram alojados 6 animais por baia, com densidade de 1,07 m²/animal, com acesso ou não aos enriquecimentos ambientais utilizados no experimento. Os machos receberam a vacina comercial de imunocastração, sendo a primeira dose aplicada entre 30 e 40 dias de alojamento e a segunda dose conforme a data de abate (entre 21 e 28 dias antes da data prevista de abate). Todos os suínos foram previamente identificados por uma sequência numérica, a qual permitiu a rastreabilidade e registro dos seus dados individuais e coletivos, desde o alojamento até o abate.

Durante todo o período experimental o ambiente de criação dos animais (na granja) foi monitorado por meio do registro de dados com *dataloggers* da marca HOB0® (U10-003), com registros automáticos de temperatura e umidade a cada 15 minutos. Os equipamentos foram instalados internamente ao galpão, sendo inseridos 01 no centro geométrico da instalação, 01 na entrada do galpão, 01 na saída do galpão e 01 na parte externa do galpão em

um abrigo meteorológico a uma distância de 3 metros do galpão e altura de 1,70m do solo, sob uma área com cobertura vegetal.

3.2.2 Tratamentos e dietas basais

Durante todo o período experimental foi utilizada uma dieta comercial formulada com base na Nutrient Requirements of Swine (NRC, 2012). A quantidade e o tipo de ração fornecida aos animais seguiram a rotina de arraçoamento da granja. Todos os animais receberam água *ad libitum*, fornecida em bebedouros nipple localizados dentro das baias, sendo disponibilizado um bebedouro por baia.

Os tratamentos foram resultantes do esquema fatorial 2x3 (sexo x condições de criação):

- T1: corrente ramificada para machos;
- T2: corda de sisal ramificada para machos;
- T3: grupo controle para machos – sem uso de enriquecimento ambiental;
- T4: corrente ramificada para fêmeas;
- T5: corda de sisal ramificada para fêmeas;
- T6: grupo controle para fêmeas – sem uso de enriquecimento ambiental.

3.2.3 Determinação da data do abate

Para determinar a data do abate dos animais foram utilizados os dados da pesagem realizada aos 70 dias, correspondente à 10ª semana de experimentação. Para o 1º dia de abate, foram identificados os animais com peso vivo aproximado de 110 kg, sendo considerados 3 animais/baia/dia dentro de cada bloco (representando todas as combinações de grupo genético*sexo dentro de cada bloco por dia), totalizando 36 animais. Para o 2º dia de abate foi procedido da mesma forma, totalizando 36 animais/dia, com animais com peso vivo de aproximadamente 125 kg. Todos os 432 animais foram encaminhados para o abate, após jejum de 24 horas, sendo 72 deles identificados para avaliação da qualidade de carne no frigorífico.

3.2.4 Frigorífico

Todos os animais foram destinados para um frigorífico comercial localizado na região Sul do Brasil. O transporte foi realizado por caminhões de piso duplo hidráulico, com apenas animais oriundos da granja. No caminhão, cada baia continha 15 animais, todos devidamente

identificados, com densidade de 0,42 m²/100 kg. Ao chegar no frigorífico, os animais foram descarregados, tatuados e encaminhados às pocilgas (densidade 0,60 m²/100 kg) com nebulizadores de água, dieta hídrica e à temperatura ambiente, onde permaneceram até o momento do abate.

De acordo com a rotina do frigorífico, os suínos passaram pelo exame *ante-mortem* realizado pelo médico veterinário do Serviço de Inspeção Federal - SIF e descansaram por, no mínimo, 3 horas, para serem lavados e encaminhados à insensibilização, que ocorreu por eletrocussão, seguindo todos os procedimentos de abate do frigorífico.

3.2.5 Variáveis analisadas

3.2.5.1 Dado fisiológico

Para avaliação fisiológica foi considerada a temperatura superficial (TS) do animal considerando a aferição de temperatura na cabeça, no dorso, no pernil e a temperatura média entre estas partes.

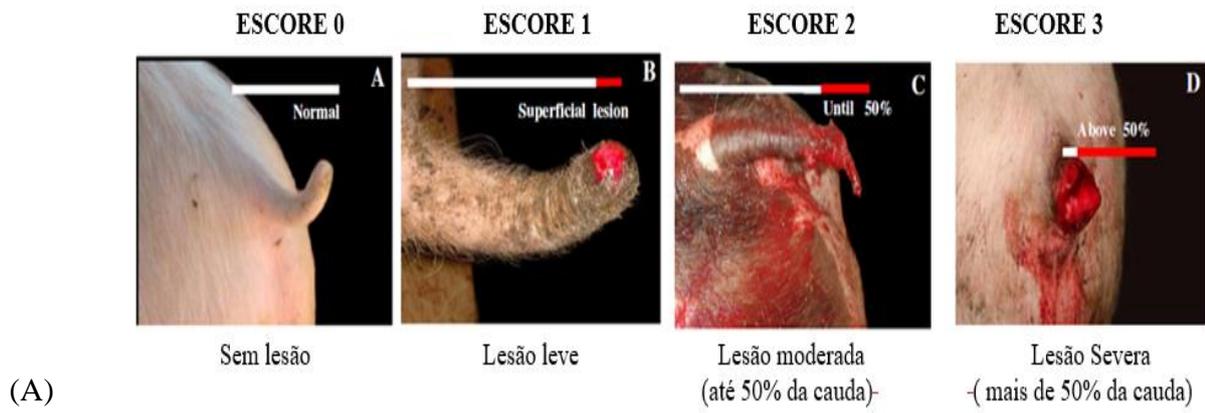
Durante todo o período experimental, foram realizadas avaliações semanalmente, *in loco*, no período da manhã (entre 08h15 e 10h15) e no período da tarde (entre 13h30 e 15h30), totalizando 2 registros diários. Foi selecionado, aleatoriamente, um animal em cada baía (unidade experimental), sendo considerados 12 animais por tratamento, totalizando 72 animais. As coletas de dados foram realizadas por um único avaliador, previamente treinado.

A temperatura superficial do animal (TS) foi coletada por meio de um termômetro infravermelho digital com mira laser da marca Minipa MT-350. O termômetro foi posicionado perpendicularmente a uma distância de 50 centímetros do animal, coletando dados em 3 pontos distintos (cabeça, dorso e pernil), reforçando que não era necessário entrar nas baias para realização dessas coletas.

3.2.5.2 Análise do grau de lesão

A análise do grau de lesão nos suínos foi avaliada pelas variáveis: lesões na cauda, orelha, corpo e claudicação no 1º, 16º, 37º, 51º, 79º, 93º e 112º dia de experimentação, datas em que ocorrem as trocas de ração rotineiras da granja.

Para avaliação do escore de lesões, foram consideradas as lesões por caudofagia e mordedura de orelha, classificados de 0 a 3 (Figura 1 A), e as lesões no corpo dos animais (Figura 1 B). As lesões no corpo, considerando a observação de todo o animal (ambos os lados) foram classificadas de 0 a 4 (Tabela 1).



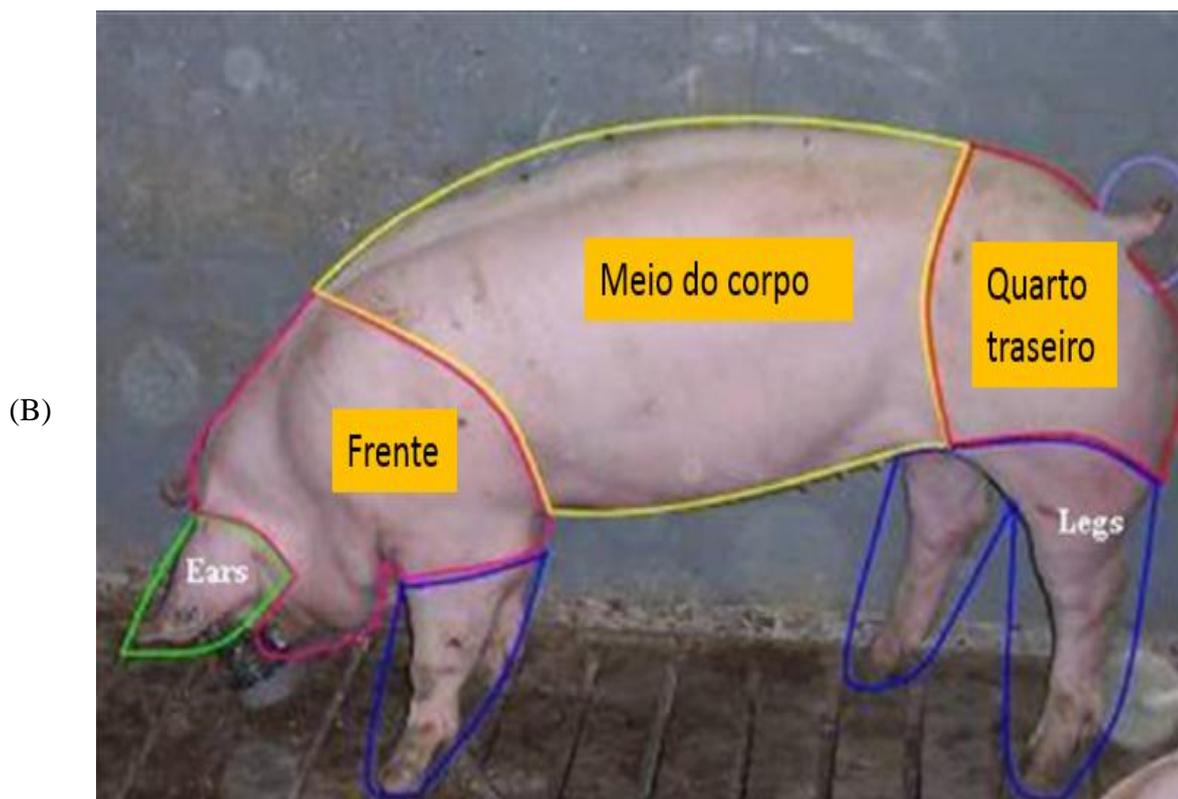


Figura 1. Lesões por caudofagia e mordedura de orelha (A) e Padrão para avaliação de lesão de cauda e orelha (B) (Caldas, 2019)

Tabela 1. Padrão para avaliação de lesão corporal em suínos em diferentes áreas do corpo: frente, meio do corpo e traseiro

| Score | Quantificação e descrição das lesões |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 | Ausência de lesões |
| 1 | Região com ≤ 5 lesões superficiais (arranhões) |
| 2 | Região com 6 a 10 lesões superficiais ou ≤ 5 lesões profundas (evidência de hemorragias) |
| 3 | Região com 11 a 15 lesões superficiais ou 6 a 10 lesões profundas |
| 4 | Região com ≥ 16 lesões superficiais ou ≥ 10 lesões profundas |

Para a avaliação da claudicação, considerou-se a observação da marcha e alinhamento do dorso dos animais durante a caminhada até a balança de pesagem, nos dias em que ocorriam as trocas de ração, de acordo com o protocolo *Feet First* Pontuação do Sistema Locomotor de Suínos[®] (DEEN et al., 2009), que classifica os animais em graus de 0 a 3, sendo 0 – Normal, 1 – Leve ou Discreto, 2 – Moderado e 3 – Severo (Figura 2).

| Graus de Claudicação | Descrição | Imagem |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 | Animais se movimentam facilmente com pouco estímulo. O animal caminha de forma confortável com os quatro membros sem nenhuma alteração. |  <p>0</p> <p>©Zinpro Corp</p> |
| 1 | O animal se move aparentemente de forma tranquila, mas observa-se sinais de claudicação em pelo menos um dos membros. O animal fica relutante em sustentar o peso neste membro mas ainda caminha facilmente dentro do barracão. |  <p>1</p> <p>©Zinpro Corp</p> |
| 2 | Claudicação está afetando pelo menos um dos membros do animal. O animal apresenta comportamentos compensatórios como abaixar da cabeça ou arqueamento das costas. |  <p>2</p> <p>©Zinpro Corp</p> |
| 3 | O animal reluta em caminhar e sustentar o peso em um ou mais membros. Há muita dificuldade em movimentar o animal dentro das instalações, podendo até manter-se sentado |  <p>3</p> <p>©Zinpro Corp</p> |

Figura 2. Padrão de classificação de claudicação. Protocolo *Feet First* Pontuação do Sistema Locomotor de Suínos® (DEEN et al., 2009).

3.2.5.3 Avaliação da qualidade de carne

Na avaliação da qualidade da carne, foram considerados: retenção de água, rendimento de carcaça, rendimento de cortes, padrão de marmoreio, pH e coloração. Para essas análises, foi coletado o músculo *Longissimus dorsi* (lombo suíno), a partir da 3ª vértebra, dos 12 animais de cada tratamento, totalizando 72 suínos. Para padrão de cor e marmoreio foi considerado o padrão da Pork Quality (NATIONAL PORK BOARD, 2021), o qual classifica a carne em: carne carnes pálida, mole e exsudativa (PSE), carne vermelha, firme e não exaustiva (RFN) e carne dura, escura e seca (DFD), conforme figura 3.

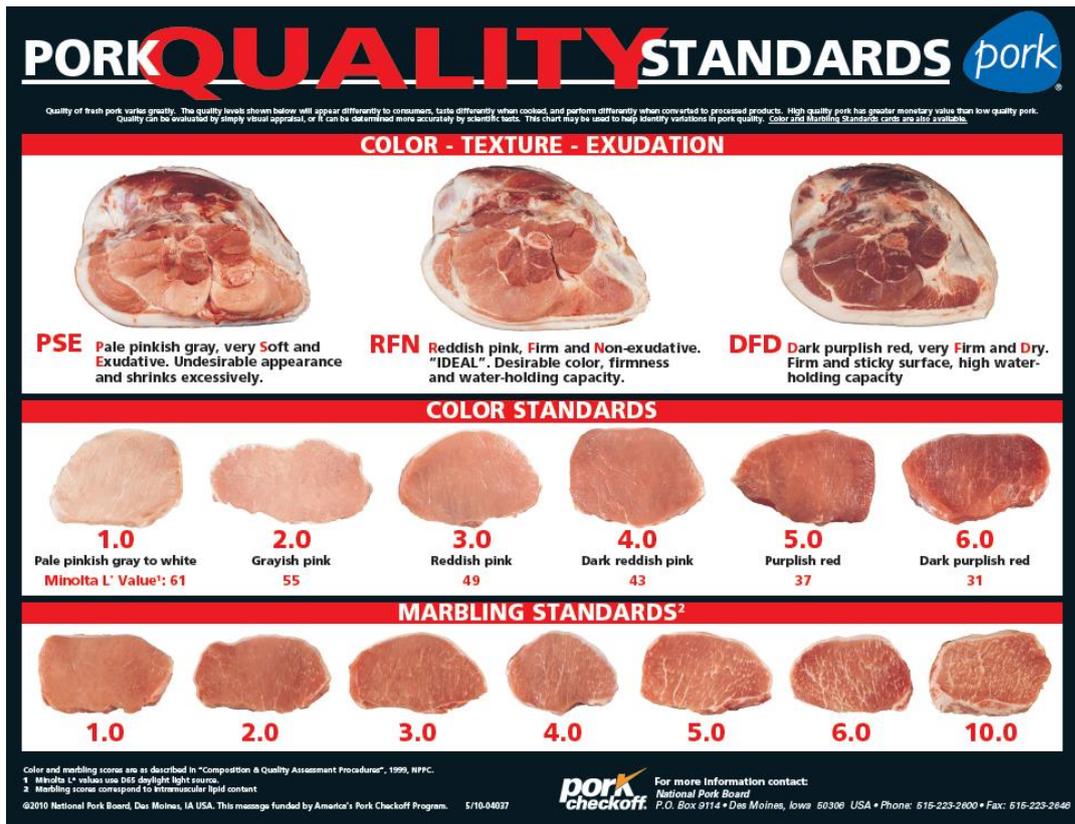


Figura 3. Padrão PorkQuality (National Pork Board) para análise da carne suína

3.2.6 Delineamento experimental e análise estatística dos dados

Durante o período experimental (112 dias), os animais foram distribuídos em esquema fatorial 2x3 (sexo x condições de criação) em 72 baias. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, considerando as faixas de peso dos animais: leves (20,3 a 24,8 kg), médios (24,8 a 27,7 kg) e pesados (27,7 a 33,8 kg), totalizando 6 tratamentos, com 12 repetições por tratamento.

Para avaliação dos dados fisiológicos, foram utilizados os modelos lineares mistos, com efeito aleatório no animal (VERBEK, 2005), para respostas contínuas, supondo distribuição normal dos dados. Nessas condições, o modelo estatístico (1) foi dado por:

$$Y_{ijsck} = \alpha + \beta_j(\text{bloco}) + \delta_s(\text{sexo}) + \varphi_c(\text{condição}) + \gamma_{s,c}(\text{sexo} \times \text{condição}) + \zeta_k(\text{período}) + \psi_{s,k}(\text{sexo} \times \text{período}) + \lambda_{c,k}(\text{condição} \times \text{período}) + \xi_{s,c,k}(\text{sexo} \times \text{condição} \times \text{período}) + u_i \quad (1)$$

em que Y_{ijsck} representa a resposta associada ao animal i , com $i=1,2,\dots,72$; β_j é o parâmetro associado ao efeito do bloco j , com $j=1,2,3$ representando as três classificações de pesos dos

animais; δ_s é o parâmetro associado ao efeito de sexo, com $s=1,2$, representado fêmea e macho, respectivamente; φ_c é o parâmetro associado à condição de enriquecimento ambiental com $c=1,2,3$ representando o grupo controle, corda, corrente, respectivamente; $\gamma_{s,c}$ é o parâmetro associado à interação entre os fatores sexo e enriquecimento; ζ_k é o parâmetro associado ao período com $k=1,2$ representando manhã e tarde, respectivamente; $\psi_{s,k}$ é o parâmetro associado à interação entre os fatores sexo e período; $\lambda_{c,k}$ é o parâmetro associado à interação entre os fatores condição e período; $\xi_{s,c,k}$ é o parâmetro associado à interação entre os fatores sexo, condição e período; u_i é o efeito aleatório específico ao i -ésimo animal observado, com $i=1,2,\dots,72$. Para esse efeito, supõe-se distribuição normal com média zero e variância σ^2 . Os parâmetros, que definem os fatores pertinentes à resposta foram selecionados pelo critério da máxima verossimilhança

Para avaliação do grau de lesão, tendo em vista que as classificações foram mensuradas em uma escala ordinal, que reflete o grau de melhor condição (0: ausência de lesão) para pior condição (3 ou 4, conforme o caso). Os métodos clássicos de Análise de Variância não podem ser aplicados, uma vez que a variável resposta do estudo em questão é politômica ordinal, ou seja, possui mais de 2 classificações. A análise de dados dessa natureza pode ser feita por meio de modelos para dados categorizados (AGRESTI, 2002).

Foi utilizado o modelo de chances proporcionais, que é uma extensão multivariada dos Modelos Lineares Generalizados (MCCULLAGH, 1980) para respostas ordinais. Adicionalmente, para considerar a possível dependência entre as observações repetidas no mesmo animal foi incluído no modelo um efeito aleatório para unidade experimental. Nessas condições, o modelo estatístico (2) foi dado por:

$$\log \left(\frac{\theta_k}{1-\theta_k} \right) = \alpha_k + \beta_j(\text{bloco}) + \delta_s(\text{sexo}) + \varphi_c(\text{enriquecimento}) + \gamma_{sc}(\text{sexo} \times \text{enriquecimento}) + u_i \quad (2)$$

em que θ_k é a probabilidade acumulada até a categoria k , com $k=0,1,2,3,4$; β_j é o parâmetro associado ao efeito do bloco j , com $j=1, 2, 3$ representando as três classificações de pesos dos animais, δ_s é o parâmetro associado ao efeito de sexo, com $s=1, 2$, representado fêmea e macho, respectivamente, φ_c é o parâmetro associado à condição de enriquecimento ambiental com $c=1,2, 3$ representando o grupo controle, corda, corrente, respectivamente e γ_{sc} é o parâmetro associado a interação entre esses fatores de enriquecimento e, u_i é o

efeito aleatório específico do i -ésimo animal observado, com $i=1,2,\dots,72$. Para esse efeito supõe-se distribuição normal com média zero e variância σ^2 .

Para avaliação da qualidade da carne, as classificações (PSE, RFN) são de natureza nominal e as variáveis respostas foram dicotômicas nominais, ou seja, com dois termos (PSE e RFN). Portanto, a análise de dados dessa natureza pode ser feita por meio de modelos de regressão logística para respostas binárias (AGRESTI, 2002), assim definido (3):

$$\log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \alpha_k + \beta_j(\text{bloco}) + \delta_s(\text{sexo}) + \varphi_c(\text{enriquecimento}) + \gamma_{sc}(\text{sexo} \times \text{enriquecimento}) \quad (3)$$

em que π é a probabilidade de ocorrência da categoria da classificação PSE, e $1-\pi$; a probabilidade complementar associada à classificação RFN, com os demais componentes sendo definidos como no modelo (2).

A análise estatística dos dados foi realizada no software R (R Core Team, 2020), usando o pacote para modelos mistos (BATES et al., 2015) na avaliação dos dados fisiológicos e o pacote ordinal (CHRISTENSEN, 2011) na avaliação das lesões. Para seleção de modelos e efeitos de covariáveis adotou-se o nível de significância de 5%.

3.3. Resultados

3.3.1 Dado fisiológico

3.3.1.1 Temperatura da cabeça, dorso, pernil e temperatura média

Não houve efeito ($p>0,05$) da interação dos fatores estudados (enriquecimento ambiental x sexo x período) sobre as temperaturas da cabeça, dorso, pernil e temperatura média. Porém, houve efeito do fator período ($p<0,01$), sendo as temperaturas mais elevadas no período da tarde comparadas ao período da manhã. Os valores médios da temperatura da cabeça foram $30,21^\circ\text{C}$ (manhã) e $31,92^\circ\text{C}$ (tarde), temperatura do dorso $29,87^\circ\text{C}$ (manhã) e $32,08^\circ\text{C}$ (tarde), temperatura do pernil $29,67^\circ\text{C}$ (manhã) e $31,76^\circ\text{C}$ (tarde) e temperatura média de $29,92^\circ\text{C}$ (manhã) e $31,92^\circ\text{C}$ (tarde).

3.3.2 Lesões

3.3.2.1 Lesão na cauda e na orelha

A maior parte dos animais não apresentou lesão (grau 0) na cauda (99,16%) e na orelha (97,77%), com apenas 0,84% dos animais com lesão grau 1 na cauda e 2,23% na orelha.

Para lesão na cauda, não houve associação entre grau de lesão e sexo ($p=0,5572$), entre grau de lesão e enriquecimento ($p=0,999$), assim como não houve efeito da interação ($p=0,1454$). Independente do enriquecimento utilizado (corda ou corrente ramificadas), os percentuais de animais sem lesão (grau 0) foram 50,42% (fêmeas) e 49,58% (machos). Para os animais do grupo controle, os percentuais de animais sem lesão foram 49,57% e 50,43% para fêmeas e machos, respectivamente.

Para lesão na orelha, não houve associação entre o grau de lesão na orelha e sexo ($p=0,7235$), assim como para o grau de lesão na orelha e enriquecimento ($p=0,999$) e interação ($p=0,4718$). Os percentuais de animais sem lesão (grau 0) no grupo controle foram 50,43% e 49,57% para fêmeas e machos, respectivamente. Para o grupo enriquecido com a corda ramificada, os percentuais de animais sem lesão foram 48,71% e 51,29%, respectivamente, para fêmeas e machos, enquanto para o grupo enriquecido com corrente, verificaram-se percentuais de 50,00% para ambos os sexos.

3.3.2.2 Lesão no corpo

Não houve efeito do enriquecimento ambiental sobre a lesão no corpo dos animais ($p=0,8207$), mas houve efeito de sexo ($p=0,0257$), assim como do efeito aleatório ($p=0,0097$). A interação entre sexo e enriquecimento não foi significativa ($p=0,7638$).

Com relação às lesões no corpo dos animais (Figura 4), verificou-se, além das categorias 0 e 1, a ocorrência de lesões nas categorias 2, 3 e 4, embora em menor frequência, sendo maiores para os machos em relação às fêmeas (Tabela 2).

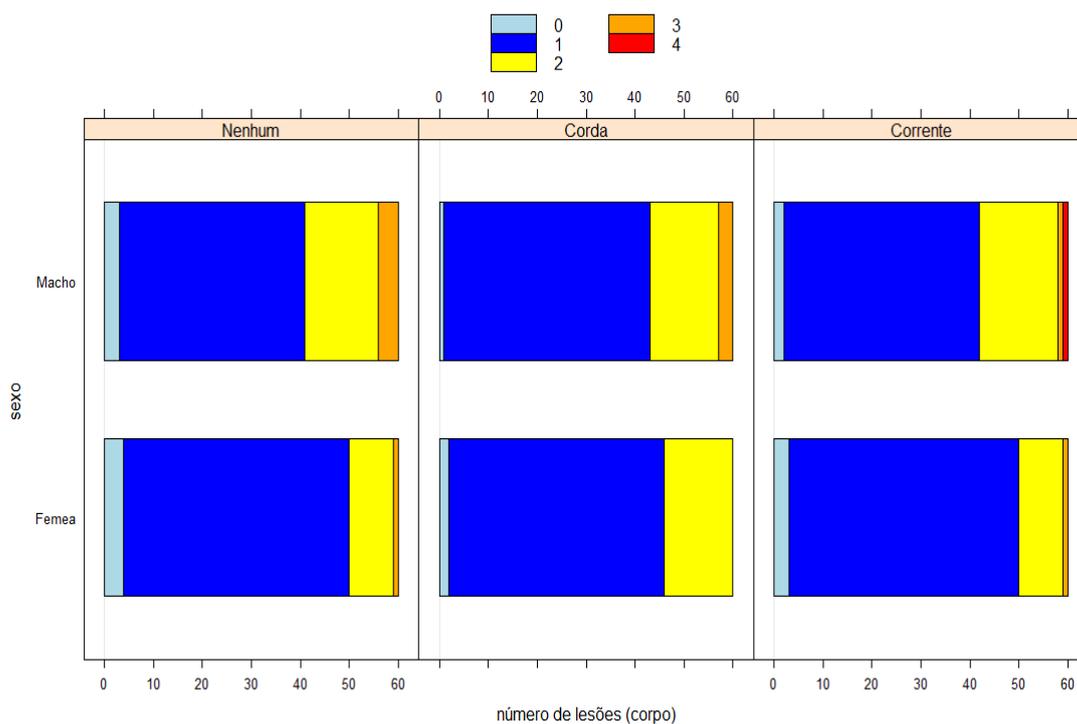


Figura 4. Frequências de ocorrência de lesão considerando a interação “corpo x sexo x tipo de enriquecimento”

Tabela 2: Frequência de ocorrência de lesões (%) no corpo dos animais

| Tratamentos | Controle | | Corda | | Corrente | |
|---------------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|
| | Macho | Fêmea | Macho | Fêmea | Macho | Fêmea |
| Grau de Lesão | | | | | | |
| 0 | 42,9 | 57,1 | 33,3 | 66,7 | 40,0 | 60,0 |
| 1 | 42,2 | 54,8 | 48,8 | 51,2 | 46,0 | 54,0 |
| 2 | 62,5 | 37,5 | 50,0 | 50,0 | 64,0 | 36,0 |
| 3 | 80,0 | 20,0 | 45,0 | 0,0 | 50,0 | 50,0 |

Para o grau de lesão 0 (sem lesão), os animais do grupo controle (sem enriquecimento) apresentaram percentuais de 57,14% e 42,86% para fêmeas e machos, respectivamente. Para o grupo enriquecido com a corda, esses percentuais foram de 66,66% (fêmeas) e 33,33% (machos). Para o grupo enriquecido com a corrente, os percentuais foram de 60,00% (fêmeas) e 40,00% (machos).

Para o grau de lesão 1, as fêmeas do grupo controle apresentaram percentuais de 54,76% e machos de 42,24%. Para o grupo enriquecido com a corda, os percentuais foram 51,16% (fêmeas) e 48,84% (machos), e para o grupo corrente os percentuais foram de 54,02% (fêmeas) e 45,98% (machos).

Para o grau de lesão 2, os percentuais de animais do grupo controle foram 37,50% (fêmeas) e 62,50% (machos), para o grupo enriquecido com corda foram 50,00% para ambos os sexos, e para o grupo enriquecido com corrente verificaram-se 36,00% para fêmeas e 64,00% para machos.

Para o grau de lesão 3, os percentuais de animais do grupo controle foram 20,00% (fêmeas) e 80,00% (machos). No grupo enriquecido com corda somente os machos apresentaram lesões, enquanto para o enriquecimento corrente verificaram-se 50,00% de lesões para ambos os sexos. Observou-se apenas um macho com grau de lesão 4 no tratamento com corrente ramificada.

3.3.2.3 Lesão por claudicação

Nas lesões por claudicação, não houve efeito do enriquecimento ($p=0,999$), sexo ($p=0,2241$) e interação ($p=0,7116$). Foram observadas frequências baixas (menores ou iguais a três) nas categorias 2, 3 e 4, além das categorias 0 e 1.

Os percentuais de animais sem lesão (grau 0) foram de 51,78% (fêmeas) e 48,22% (machos), 50,00% para ambos os sexos no grupo enriquecido com a corda, e 50,43% (fêmeas) e 49,57% (machos) para os animais enriquecidos com a corrente. Para o grau de lesão 1, os percentuais de animais do grupo controle foram 28,57% (fêmeas) e 71,43% (machos), 14,28% (fêmeas) e 85,72% (machos) para o grupo enriquecido com a corda, e 40,00% (fêmeas) e 60,00% (machos) para o grupo enriquecido com a corrente. Para graus de lesão maiores ou iguais 2, observaram-se apenas 6 animais, porém, sem associação ($p=0,2996$) com o enriquecimento utilizado.

3.3.3 Qualidade de carne

Foram classificadas apenas carnes como pálida, mole e exsudativa (PSE) e vermelha, firme e não exaustiva (RFN), sem ocorrência de carne dura, escura e seca (DFD). Com o tratamento corda, 91,30% dos animais apresentaram carne RFN e 8,7% carne PSE, sendo idênticos os valores de carne RFN (80,34%) e PSE (19,66%) para os animais enriquecidos com a corrente ou para os animais do grupo controle (Figura 5A). Em relação ao sexo, 83,33% das fêmeas apresentaram carne RFN e 16,67% carne PSE, em comparação à 88,57% de carne RFN e 11,43% de carne PSE para os machos (Figura 5B).

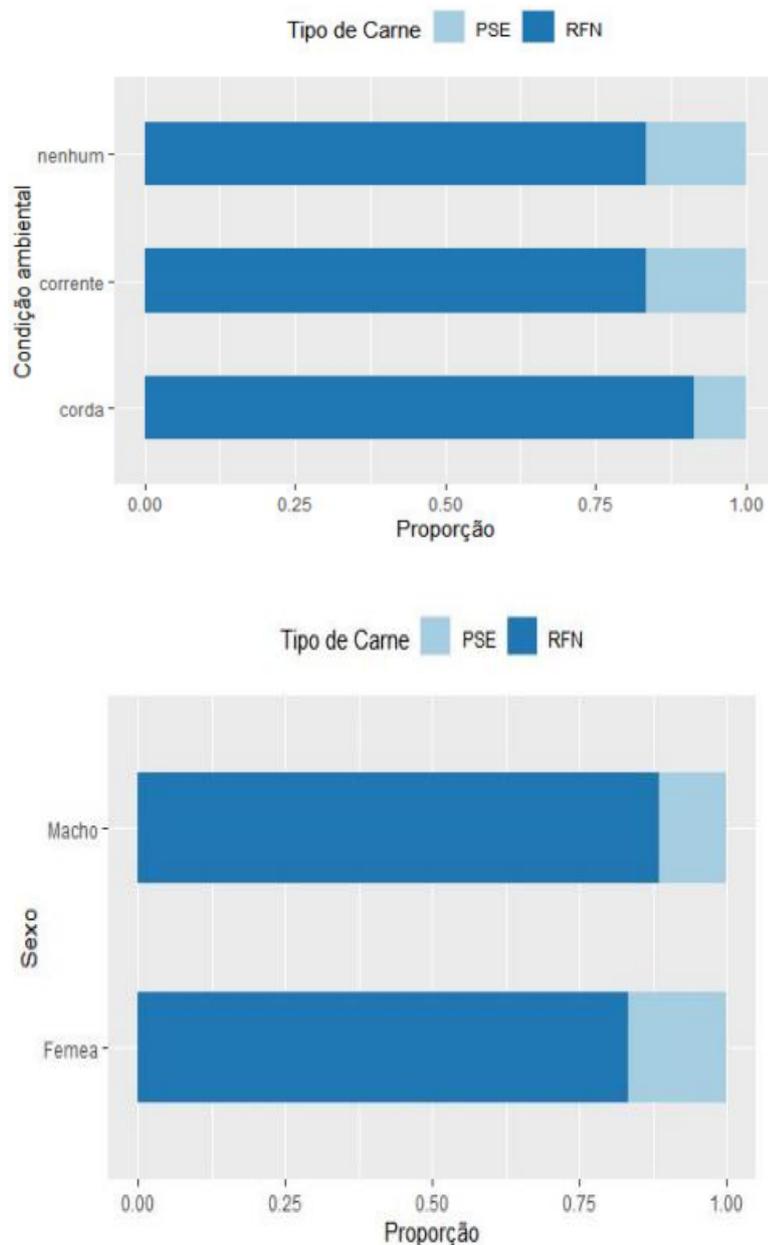


Figura 5. Distribuição do tipo de carne de acordo com o enriquecimento ambiental (A) e o sexo (B)

3.4. Discussão

As maiores temperaturas da cabeça, dorso, pernil e temperatura média foram observadas no período da tarde, para machos, independente do enriquecimento utilizado. A temperatura corporal pode ser útil como indicador de estresse crônico ao induzir um aumento na temperatura corporal constante (MKWANAZI et al., 2019). Apesar de MKWANAZI et al. (2019) indicarem estudos relatando menor temperatura corporal em suínos ao utilizar diferentes tipos de enriquecimento, nenhuma relação foi observada em nosso trabalho

utilizando cordas ou correntes ramificadas, sendo a temperatura influenciada apenas pelo aumento da temperatura ambiente neste período da tarde.

As lesões no corpo de grau 2, 3 e 4 foram maiores nos machos em relação às fêmeas, independente do enriquecimento ambiental (EA) utilizado, o que pode ter ocorrido pelo comportamento natural mais ativo, de agressividade e inquietude dos suínos machos. A manifestação do comportamento agressivo depende de vários fatores, como idade, peso corporal, densidade, enriquecimento, dentre outros, incluindo o sexo (DRESSEN et al., 2020). Isso reforça a importância do EA para os machos, com benefícios já registrados anteriormente com o uso de palha (FÀBREGA et al., 2019), em que houve diminuição nas lesões cutâneas em suínos machos de 70-170 dias de idade e menor porcentagem de comportamento social negativo.

Uma das hipóteses para que o EA não tenha beneficiado a fisiologia e o grau de lesões dos animais no presente estudo é de que os suínos apresentaram comportamento normal e adequado durante o período de experimentação, sem ocorrências de interações anormais e agressivas que pudessem influenciar o comportamento, bem-estar, fisiologia e, posteriormente, a qualidade da carne suína, conforme já relatado por MKWANAZI et al. (2019) e por estudos anteriores do nosso grupo de pesquisa. Entretanto, TAVARES, et al., 2022, observaram que na ausência do enriquecimento, machos e fêmeas mostram-se menos calmos e com maior interação com o ambiente onde estão alojados, principalmente no período da tarde, sugerindo comportamentos não esperados pelos autores. Além disso, a baixa ocorrência de lesões graves (tipo 4) (correspondendo a apenas um macho com grau de lesão 4 no tratamento com corrente ramificada) pode ser explicada pela homogeneidade dos grupos, densidade adequada e manejo calmo com os suínos na granja, conforme já destacado por VITALI et al. (2019), em que a prevalência de lesões graves de pele e cauda foi baixa (< 5%), correspondendo ao máximo de 1 animal afetado por grupo experimental (correntes penduradas, toras de madeira, correntes suspensas ou bloco vegetal comestível).

A baixa ocorrência de carne pálida, mole e exsudativa (PSE) nos diferentes tratamentos (8,7% para os animais do grupo corda e 19,66% para corrente ou no grupo controle) é mais um indicativo do manejo adequado durante o período experimental. A carne PSE é um dos principais problemas de qualidade na indústria de carne, e ocorre por um estresse no manejo pré-abate, mais comumente entre o transporte até a insensibilização do animal, diferentemente da carne dura, escura e seca (DFD) que ocorre devido a problemas crônicos de manejo na granja. Da mesma forma, não foi observada carne DFD para nenhum dos animais dos

diferentes tratamentos, assim como DUŠANKA et al. (2018), que observaram diminuição na incidência de carne DFD utilizando pequena quantidade de palha e feno (100 g/animal/dia) como enriquecimento para suínos em terminação. Esse resultado reforça o manejo adequado na granja experimental, assim como no manejo pré-abate, incluindo o adequado transporte dos animais, evitando a mistura de lotes. Um manejo pré-abate frequentemente utilizado é a mistura de animais antes do carregamento para obter grupos de peso uniforme e ajustar o tamanho do grupo às dimensões do caminhão, resultando em brigas, lesões na pele e estresse, o que leva à redução da qualidade da carne (DRIESSEN et al., 2020). Esse manejo de mistura de lotes não foi utilizado no presente estudo, além do rigoroso padrão de controle de manejo, o que pode ter impactado de forma positiva na ausência de lesões nos animais, mesmo naqueles sem o uso do enriquecimento.

Ao utilizar a corda ramificada como enriquecimento ambiental, houve maior ocorrência da carne de cor normal, textura firme e não exsudativa (RFN), o que é desejável ao se considerar carne com alta qualidade. Essas melhorias na qualidade da carne podem estar associadas ao manejo adequado durante o período de experimentação e no pré-abate, uma vez que o grau de lesões e os dados fisiológicos foram semelhantes para os animais de todos os tratamentos. Da mesma forma, em outros estudos realizados em condições experimentais, o enriquecimento ambiental com cordas de cânhamo, serragem e bolas de borracha (CASAL et al., 2018), palha, papel, correntes e madeira (FÀBREGA et al., 2019) ou toras de madeira e blocos comestíveis (VITALI et al., 2019) não afetou a qualidade de carne e da carcaça de suínos.

Por fim, apesar de não ter havido diferença nos dados fisiológicos e no grau de lesão dos animais com os dois tipos de enriquecimento utilizados (cordas e correntes ramificadas), ressalta-se que houve melhora na qualidade de carne, reforçada pela maior ocorrência de carne RFN, que caracteriza o padrão ideal de avaliação da carne suína (TARCZYŃSKI et al., 2021).

3.5. Conclusão

Conclui-se que o aparecimento de defeitos sensoriais na carne suína está muito correlacionado ao tipo de estresse e em que fase de criação, o animal foi submetido a esse estresse. O uso de materiais para enriquecimento ambiental de suínos como correntes são mais recomendadas por seus aspectos de durabilidade (dado que exige menor troca durante o manuseio, diminuindo assim o custo ao longo do tempo), sua facilidade de limpeza e manuseio. Porém, neste estudo, o uso de cordas e correntes ramificadas apesar de não afetar a

fisiologia e o grau de lesões dos animais, mostrou que o uso de cordas ramificadas é uma ferramenta aplicável a melhoria da qualidade da carne, pois em sinergia com um bom manejo dos animais, favoreceu a maior ocorrência de carne RFN, padrão considerado ideal de avaliação e aceitação de carne suína pelo mercado consumidor.

Contribuições dos autores

Materiais Complementares: Tabela 1. Padrão para avaliação de lesão corporal em suínos em diferentes áreas do corpo: frente, meio do corpo e traseiro; Tabela 2. Frequência de ocorrência de lesões (%) no corpo dos animais; Figura 1. Lesões por caudofagia e mordedura de orelha (A) e Padrão para avaliação de lesão de cauda e orelha (B); Figura 2. Padrão de classificação de claudicação. Protocolo Feet First Pontuação do Sistema Locomotor de Suínos® (Deen et al., 2009); Figura 3. Padrão PorkQuality (National Pork Board) para análise da carne suína; Figura 4. Frequências de ocorrência de lesão considerando a interação “corpo x sexo x tipo de enriquecimento”; Figura 5. Distribuição do tipo de carne de acordo com o enriquecimento ambiental (A) e o sexo (B).

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Agradecimentos: Os autores deste estudo agradecem a todos os profissionais técnicos que contribuíram para esta pesquisa.

Contribuições dos autores: Conceitos, T.M. e S.I. (Mariana Tavares e Iran Silva); Metodologia, T. M. e S.I.; software, D. I. e D. S. (Idemauro De Lara e Silvia De Freitas); validação, D.I.; análise formal, D.I. e D.S.; investigação, A. A. (Alessandra Arno); recursos, T.M.; curadoria de dados, S.I.; redação e preparação do rascunho original, T.M.; escrita e revisão e edição, T.M. e S.I.; supervisão, S.I.; administração de projetos, T. M. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Declaração do Conselho de Revisão Institucional: O estudo do animal foi realizado de acordo com as recomendações do protocolo número 2019-07 sob responsabilidade de Iran José de Oliveira, aprovado pelo Comitê Institucional de Cuidados e Uso de Animais (CEUA), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, Brasil, Universidade de São Paulo. De acordo com a Lei nº 11.794/2008, e com as normas emanadas do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal – CONCEA.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido: Não aplicável para este estudo.

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse

Referências

1. Bertol, T.M. *Estratégias nutricionais para melhoria da qualidade da carne suína*. Teresinha Marisa Bertol/Editora técnica - Brasília, DF: Embrapa, 2019. 296 p.
2. Brandt, P.; Aaslyng, M. D. Welfare measurements of finishing pigs on the day of slaughter: A review. *Meat Sci.* **2015**, *103*, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.12.004>
3. Dalla Costa, F.A.; Lopes, L.; Dalla Costa, O.A. Effects of the truck suspension system on animal welfare, carcass and meat quality traits in pigs. *Animals.* **2017**, *7*, 1-13. <https://doi.org/10.3390/ani7010005>
4. Dalla Costa, F.A.; Dalla Costa, O.A.; Coldebella, A., Lima; G.J.M.M.; Ferraudo, A.S. How do season, on-farm fasting interval and lairage period affect swine welfare, carcass and meat quality traits? *Int. J. Biometeorol.* **2018**, *63*, 1497–1505. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1527-1>
5. Driessen, B.; Beirendonck, S.V.; Buyse, J. The Impact of Grouping on Skin Lesions and Meat Quality of Pig Carcasses. *Animals.* **2020**, *10*, 544. <https://doi.org/10.3390/ani10040544>
6. Ludke, C.; Peloso, J.V.; Dalla Costa, O.A.; Rohr, S.; Dalla Costa, F.A. *Bem-estar animal na produção de suínos*. Da recepção no frigorífico até o abate com garantia de qualidade. Associação Brasileira dos Criadores de Suínos: ABCS. 2016. 46 p.
7. Čobanović, N.; Bošković, M.; Vasilev, D.; Dimitrijević, M.; Parunović, N.; Djordjević, J.; Karabasil, N. Effects of various pre-slaughter conditions on pig carcasses and meat quality in a low-input slaughter facility. *S. Afr. J. Anim.* **2016**, *46*, 380-390. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v46i4.6>
8. Dalla Costa, O.A.; Dalla Costa, F.A.; Feddern, V.; Lopes, L. S.; Coldebella, A.; Gregory, N.G.; Lima, G.J.M.M. Risk factors associated with pig pre-slaughtering losses. *Meat Sci.* **2019**, *155*, 61-68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.020>
9. Grandin, T. On-farm conditions that compromise animal welfare that can be monitored at the slaughter plant. *Meat Sci.* **2017**, *132*, 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.05.004>
10. Guimarães, D.; Amaral, G.; Maia, G.; Lemos, M.; Ito, M.; Custodio, S. Suinocultura: estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no brasil e no mundo e o apoio do BNDES. *Agroindústria.* **2017**, *45*. 85-136.
11. Zhen, S.; Liu, Y.; Li, X.; G., K.; Chen, H.; Li, C.; Ren, F. Effects of lairage time on welfare indicators, energy metabolism and meat quality of pigs in Beijing. *Meat Sci.* **2013**, *93*, 287-291. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.09.008>
12. Ciborowska, P.; Michalczuk, M. Bien, D. The effect of music on livestock: cattle, poultry and pigs. *Animals.* **2021**, *11*, 3572. <https://doi.org/10.3390/ani11123572>
13. Liu, R.; Li, K.; Wu, G.; Qin, M.; Yu, H.; Wu, M.; Ge, Q.; Wu, S.; Bao, W.; Zhang, W. A comparative study of S-nitrosylated myofibrillar proteins between red, firm and non-exudative (RFN) and pale, soft and exudative (PSE) pork by iodoTMT-based proteomics assay. *Food Chem.* **2022**, *395*, 133577. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133577>
14. Théron, L.; Sayd, T.; Chambon, C.; Vénien, A.; Viala, D.; Astruc, T.; Vautier, A.; Santé-Lhoutellier, V. Deciphering PSE-like muscle defect in cooked hams: A signature from the tissue to the molecular scale. *Food Chem.* **2019**, *270*, 359–366. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.081>
15. Zequan, X.; Yonggang, S.; Guangjuan, L.; Shijun, X.; Li, Z.; Mingrui, Z.; Yanli, X.; Zirong, W. Proteomics analysis as an approach to understand the formation of pale, soft, and exudative (PSE) pork. *Meat Sci.* **2021**, *177*, 108353. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108353>

16. Casal, N.; Font-i-Furnols, M.; Gispert, M.; Manteca, X.; Fàbrega, E. Effect of environmental enrichment and herbal compounds-supplemented diet on pig carcass, meat quality traits, and consumers' acceptability and preference. *Animals*. **2018**, *8*, 118. <https://doi.org/10.3390/ani8070118>
17. Chou, J.; Drique, C. M. V.; Sandercock, D. A.; D'Eath, R. B.; O'Driscoll K. Rearing undocked pigs on fully slatted floors using multiple types and variations of enrichment. *Animals*. **2019**, *9*, 139. <https://doi.org/10.3390/ani9040139>
18. Mkwanzazi, M.V.; Ncobela, C.N.; Kanengoni, A.T.; Chimonyo, M. Effects of environmental enrichment on behaviour, physiology and performance of pigs — A review. *Asian-Australas J Anim Sci*. **2019**, *32*, 1-13. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0138>
19. Godyn, D.; Nowicki, J.; Herbut, P. Effects of environmental enrichment on pig welfare - a review. *Animals*, 2019, *9*, 383. <https://doi.org/10.3390/ani9060383>
20. Brasil. Instrução Normativa nº 113, de 16 de dezembro de 2020. Estabelecer as boas práticas de manejo e bem-estar animal nas granjas de suínos de criação comercial. Diário Oficial [da] União, Brasília, DF. Publicado em 18 de dezembro de 2020, Edição 242, Seção 1, p. 5.
21. Conselho da União Europeia. Diretiva 2008/120/CE, relativa às normas mínimas de proteção de suínos, de 18 de dezembro, 2008. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A32008L0120> (accessed 21 April 2022).
22. OIE (Organização Mundial para Saúde Animal). *Terrestrial Animal Health Code*. 2009. Disponível em <http://www.oie.int/animal-welfare/animal-welfare-key-themes/> (accessed 23 March 2022).
23. Foppa, L., Pierozan, C.R., Caldas, E.D., Michelon, A. Enriquecimento ambiental em suinocultura. In: *Suinocultura: uma saúde e um bem-estar*. 1st ed.; Ribas, J.C.R.; Dias, C.P.; Ludtke, C.B.; Buss, L.P., Eds.; Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. – Brasília: AECS, 2020; pp. 227-245.
24. Foppa, L.; Caldara, F.R.; Moura, R.; Machado, S.P.; Nääs, I.A.; Garcia, R.G.; Gonçalves, L.M.P.; Oliveira, G.F. Pig's behavioral response in nursery and growth phases to environmental enrichment objects. *Span. J. Agric. Res.* **2018**, *16*, 1-10. <https://doi.org/10.5424/sjar/2018163-12303>
25. Lahrmann, H.P.; Hansen, C.F.; D'Eath, R.B.; Busch, M.E.; Nielsen, J.P.; Forkman, B. Early intervention with enrichment can prevent tail biting outbreaks in weaner pigs. *Livest. Sci.* **2018**, *214*, 272-277. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.06.010>
26. Dušanka, J.; Gorjanc, G.; Štuhec, I.; Žgur, S. Improvement of pork characteristics under commercial conditions with small amount of straw or hay. *J. Appl. Anim. Res.* **2018**, *46*, 1317-1322. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1503963>
27. Fàbrega, E.; Marcet-Rius, M.; Vidal, R.; Escribano, D.; Cerón, J.J.; Manteca, X.; Velarde, A. The effects of environmental enrichment on the physiology, behaviour, productivity and meat quality of pigs raised in a hot climate. *Animals*. **2019**, *9*, 235. <https://doi.org/10.3390/ani9050235>
28. Vitali, M.; Nannoni, E.; Sardi, L.; Bassi, P.; Militerno, G.; Faucitano, L.; Bonaldo, A.; Martelli, G. Enrichment tools for undocked heavy pigs: effects on body and gastric lesions and carcass and meat quality parameters. *Ital. J. Anim. Sci.* **2019**, *18*, 39-44. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1472530>
29. Santos, J.V.; Farias, S.S.; Pereira, T.L.; Teixeira, C.P.C.; Titto, C.G. Preference for and maintenance of interest in suspended enrichment toys in confined growing pigs. *J. Vet. Behav.* **2021**, *45*, 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2021.07.005>

30. Bracke, M.B. M.; Koene, P. Expert opinion on metal chains and other indestructible objects as proper enrichment for intensively-farmed pigs. *PLOS one*. **2019**, 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212610>
31. NRC. Nutrient requirements of swine. 11th ed. Washington (DC): National Academies Press. 2012.
32. Caldas, E.D. Efeito da densidade e do uso de materiais de enriquecimento ambiental sobre o bem-estar e o desempenho zootécnico e econômico de suínos em fase de crescimento e terminação. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Universidade Estadual de Londrina. 90 p. 2019.
33. Deen, J.; Schuttert, M.; van Amstel, S.; Ossent, P.; van Barneveld, R.; Stalder, K. Feet First: Swine Lesion Scoring Guide. Zinpro Corporation, Eden Prairie, MN, USA., 2009.
34. National Pork Board. Disponível em: <https://americanporkclub.com/Home/production/practical-materials/pork-quality-standards> (accessed 21 April 2022).
35. Verbeke, G. *The Generalized Linear Mixed Model (GLMM)*. In Models for Discrete Longitudinal Data. Springer Series in Statistics. Springer, New York, NY, 2005.
36. Agresti, A. Categorical Data Analysis. 2^a ed. ed. [S.l.]: New York, 2002. 710 p.
37. McCullagh, P. Regression Methods for Ordinal Data. *J. R. Statistic. Soc. B.* **1980**, 42, 109-142.
38. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
39. Bates, D.; Mäechler, M.; Bolker, B.; Walker, S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *J. Stat. Softw.* **2015**, 67, 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
40. Christensen, R.H. Analysis of ordinal data with cumulative link models estimation with the R-package ordinal (2011). Disponível em: <http://www.R-project.org>
41. Tarczyński, K.; Zybert, A.; Sieczkowska, H.; Krzęcio-Nieczyporuk, E.; Antosik, K. Classification accuracy of different pork quality evaluation methods in assessment of meat with lowered drip loss. *Cienc. Rural.* **2021**, 5, 10. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200885>

4. CAPÍTULO IV - ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL E SEUS EFEITOS SOBRE A BIOMECÂNICA ÓSSEA DE SUÍNOS EM TERMINAÇÃO

(Formatado de acordo com as normas da revista *Animals*)

Resumo simples:

Suínos criados em condições intensivas são submetidos a estresses ambientais, com dificuldade de expressar alguns comportamentos naturais como socialização, exploração do ambiente e no comportamento de fuçar. Estratégias de enriquecimento ambiental (EA) foram implementados na tentativa de reduzir a ocorrência de lesões por meio da motivação da prática de exercícios e por meio da interação com as cordas e correntes ramificadas, mensurados através da avaliação biomecânica dos ossos. Nenhum efeito significativo foi observado para peso dos ossos de suínos na fase de terminação. Porém, houve tendência para maior resistência à força de flexão dos ossos dos machos enriquecidos com as cordas e as correntes ramificadas e menor tensão de ruptura para as fêmeas sem EA.

Resumo:

O trabalho teve como objetivo avaliar a resistência da estrutura óssea de suínos criados com e sem enriquecimento ambiental (EA) na fase de terminação, utilizando técnicas de biomecânica óssea. Foram alojados 432 suínos da linhagem HS (Hampshire), sendo machos inteiros e fêmeas, com peso inicial entre 22-27 kg e final entre 110-125 kg, durante 112 dias de experimentação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 6 tratamentos, distribuídos em esquema fatorial 2x3 (sexo x condições de criação), com 12 repetições/tratamento, totalizando 72 baias. Os tratamentos foram: corrente ramificada para machos (T1); corda sisal ramificada para machos (T2), machos sem EA (T3); corrente ramificada para fêmeas (T4); corda sisal ramificada para fêmeas (T5), fêmeas sem EA (T6). Ao final do período experimental, todos os animais foram abatidos em um frigorífico industrial, sendo coletado o osso fêmur de 72 suínos para análise de biomecânica óssea. Não houve efeito ($p>0,05$) da interação (enriquecimento x sexo) e dos fatores individuais para peso dos ossos. Houve tendência ($p=0,08$) da interação para força de flexão, sendo maior nos machos enriquecidos com as cordas e as correntes ramificadas. Para tensão de ruptura, houve efeito da interação ($p=0,04$), sendo as fêmeas sem EA as que apresentaram menor tensão de ruptura, favorecendo a fragilidade óssea. Portanto, o uso de cordas e correntes ramificadas fortalece a estrutura óssea de suínos na fase de terminação, sendo uma importante estratégia utilizada para atender às exigências de bem-estar animal.

Palavras-chave: Bem-estar animal; Suínos; Enriquecimento ambiental; Biomecânica óssea

4.1. Introdução

A saúde do aparelho locomotor dos suínos em crescimento tem recebido especial atenção nos últimos tempos, uma vez que, as lesões nos membros e cascos de leitões, suínos em crescimento/terminação e reprodutores são comuns na produção intensiva. Dentre as

complicações locomotoras, as perdas relacionadas à claudicação representam de 1 a 5% da produção e incluem menor ingestão de alimentos, perdas de desempenho e descarte precoce (SCHWARTZ; MADSON, 2014; WADDELL, 2015).

De acordo com a Organização Mundial para a Saúde Animal (OIE, 2021), taxas de doenças infecciosas e metabólicas, claudicação, problemas nas pernas e nos cascos, lesões e outras formas de morbidade, acima dos limites reconhecidos, podem ser indicadores diretos ou indiretos de bem-estar animal no rebanho. A osteocondrose, por exemplo, uma doença degenerativa e não infecciosa da cartilagem articular epifiseal e da placa de crescimento, é considerada a principal causa de fraqueza nas pernas dos suínos, sendo a segunda razão para o abate das fêmeas suínas, depois dos problemas de fertilidade (VAN GREVENHOF et al., 2012). Ela é decorrente de falha no processo de ossificação endocondral e reconhecida como a principal causa de claudicação de origem articular ou estrutural em suínos de rápido crescimento (SCHWARTZ; MADSON, 2014), assim como a principal causa de artrite em suínos abatidos, levando a perdas econômicas e reduzindo o bem-estar animal (IBELLI et al., 2018; OIE, 2021). Além disso, as características do ambiente em que os animais são criados têm impacto significativo na integridade e saúde do aparelho locomotor (KRAMER; ALBERTON, 2020).

Os sistemas de produção animal frequentemente consistem em instalações simples e monótonas, com pouca ou nenhuma oportunidade para que os animais expressem comportamentos inatos (FOPPA et al., 2020). Para suínos em crescimento e terminação, a saúde do aparelho locomotor tem preocupado o setor científico e produtivo, especialmente pelo impacto nos índices zootécnicos e econômicos da produção, assim como pela sua relação com o bem-estar animal.

Suínos na fase de terminação podem estar mais susceptíveis a fraturas devido ao excesso de peso e à pouca movimentação durante o ciclo de produção, associados ao crescimento esquelético do animal (CONE et al., 2017). A fratura em ossos ocorre quando a carga aplicada sobre determinada região do tecido ósseo supera sua capacidade de resistência, muitas vezes acompanhada de diferentes graus de lesão dos tecidos moles, que podem causar possíveis perturbações na irrigação sanguínea e até mesmo a perda da função locomotora (SCHMITT et al., 2018). Dessa forma, o uso do enriquecimento ambiental (EA) nas instalações de suínos tornou-se uma importante estratégia para favorecer os comportamentos de socialização, exploração e mastigação (GIULIOTTI et al., 2019), além da locomoção (GÜZ et al., 2021), promovendo aumento na mobilidade e na saúde do tecido ósseo do animal.

De acordo com a União Europeia, a partir da Diretiva 2008/120/CE (CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2008), o fornecimento de materiais de enriquecimento é obrigatório a fim de prevenir os problemas comportamentais e fisiológicos que podem surgir da criação de suínos em condições não enriquecidas. No Brasil, a Instrução Normativa 113, de 16 de dezembro de 2020 (BRASIL, 2020), no Art. 43, determinou que os suínos devem ter acesso a um ambiente enriquecido para estimular as atividades de investigação e manipulação e reduzir o comportamento anormal e agonístico, devendo ser disponibilizados um ou mais materiais para manipulação pelos animais, que não comprometam a saúde, tais como, uso de palha (MARCET-RIUS et al., 2019; WANG et al., 2020), feno (DUŠANKA et al., 2018; LAHRMANN et al., 2018), cordas (BACKUS; McGLONE et al., 2018), correntes (NANNONI et al., 2018; FÀBREGA et al., 2019), madeira (GIULIOTTI et al., 2019), serragem (LUO et al., 2019; CASAL-PLANA et al., 2107), borracha (LI Y. et al., 2021) e brinquedos de plástico (GODYN; NOWICKI; HERBUT, 2019; MISRA et al., 2021). Dentre esses objetos, na criação intensiva de suínos na Europa, as correntes ramificadas são usadas, ou seja, com a extremidade livre atingindo o nível do chão e acrescentando várias correntes curtas terminando na altura do nariz dos suínos. Neste modelo foram consideradas as melhores estratégias de EA comparadas a outros materiais indestrutíveis como correntes no chão, corrente pendurada alta, madeira dura, tubo, bola pequena e grande, garantindo maior bem-estar aos animais (BRACKE; KOENE, 2019).

São conhecidos os benefícios do EA sobre os índices zootécnicos (CALDAS et al., 2020; CASAL et al., 2018; LI J., et al., 2021; MORGAN et al., 2019; TAVARES et al., 2022), comportamentos (AMARAL et al., 2021; CHOU et al., 2020; GIULIOTTI et al., 2019; LI, J. et al., 2021) e qualidade da carne (DUŠANKA et al., 2018; FÀBREGA et al., 2019) de suínos. Porém, na literatura científica, não foram encontrados estudos sobre possíveis efeitos do EA na estrutura óssea de suínos na fase de terminação do ponto de vista das resistências mecânicas (compressão, tração e flexão). Em frangos de crescimento lento, os mecanismos fisiológicos relacionados à ossificação e mineralização foram beneficiados pelo EA com poleiros, rampas e plataformas, demonstrando melhores características da tíbia (GÜZ et al., 2021), enquanto o uso de escada com poleiro no topo como EA foi benéfico para aumentar o ganho de massa muscular e óssea nas principais partes comerciais da carcaça de frangos de corte (NAZARENO et al., 2022).

Portanto, sugere-se que o uso do EA pode estimular a interação dos animais com os objetos e, com isso, promover maior movimentação do animal, propiciando fortalecimento

muscular, maior resistência óssea, beneficiando a estrutura óssea e conseqüentemente, o bem-estar dos suínos.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar se o uso de cordas e correntes ramificadas como enriquecimento ambiental tem influência direta na estrutura óssea de suínos, machos e fêmeas, na fase de terminação do ponto de vista estrutural das resistências mecânicas por meio dos estudos da biomecânica óssea.

4.2. Materiais e Métodos

A pesquisa foi realizada em uma unidade de produção experimental e em um abatedouro de suínos, localizados na Região Sul do Brasil (27° 14' 02" S, 52° 01' 40" O), entre os meses de Abril a Agosto. Todos os procedimentos experimentais realizados foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais em Pesquisa – CEUA (protocolo nº 2019/07) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP).

4.2.1 Local do estudo e uso dos animais

Na unidade de produção experimental, os animais foram alojados em um galpão de alvenaria com 901m² (8,5 m de largura x 106 de comprimento) com ventilação natural contendo 80 baias. Todas as baias possuíam piso compacto, com 6,43 m² de espaço sem o cocho, e 7,15m² considerando o espaço do cocho.

Foram alojados 432 suínos da linhagem HS (Hampshire), sendo machos inteiros e fêmeas, com peso inicial entre 22-27 kg (63-70 dias de idade) e peso médio final entre 110-125 kg (183-190 dias de idade), durante 112 dias de experimentação. Foram alojados 6 animais por baia, com densidade de 1,07 m²/animal, com acesso ou não aos enriquecimentos ambientais utilizados no experimento. Os machos receberam a vacina comercial de imunocastração, sendo a primeira dose aplicada entre 30 e 40 dias de alojamento e a segunda dose conforme a data de abate (entre 21 e 28 dias antes da data prevista de abate). Todos os suínos foram previamente identificados por uma sequência numérica, a qual permitiu a rastreabilidade e registro dos seus dados individuais e coletivos, desde o alojamento até o abate.

Durante todo o período experimental (112 dias), o ambiente de criação dos animais (na granja) foi monitorado por meio do registro de dados com *dataloggers* da marca HOBOTM (U10-003), com registros automáticos de temperatura e umidade a cada 15 minutos. Os equipamentos foram instalados internamente ao galpão, sendo inseridos 01 no centro geométrico da instalação, 01 na entrada do galpão, 01 na saída do galpão e 01 na parte externa

do galpão em um abrigo meteorológico a uma distância de 3 metros do galpão e altura de 1,70m do solo, sob uma área com cobertura vegetal.

4.2.2 Tratamentos e dietas basais

Durante todo o período experimental foi utilizada uma dieta comercial formulada com base na *Nutrient Requirements of Swine* (NRC, 2012). A quantidade e o tipo de ração fornecida aos animais seguiram a rotina de arraçamento da granja. Todos os animais receberam água *ad libitum*, fornecida em bebedouros *nipple* localizados dentro das baias, sendo disponibilizado um bebedouro por baia.

Os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente por todas as baias do galpão, sendo:

- T1: corrente ramificada para machos;
- T2: corda de sisal ramificada para machos;
- T3: grupo controle para machos – sem uso de enriquecimento ambiental;
- T4: corrente ramificada para fêmeas;
- T5: corda de sisal ramificada para fêmeas;
- T6: grupo controle para fêmeas – sem uso de enriquecimento ambiental.

Para instalação dos enriquecimentos, a corrente/corda foi pendurada no centro da baia. A ponta da corrente/corda encostava no chão, sem arrastar, e cada corrente/corda tinha duas ramificações de 20 cm, que não encostavam no chão. A 1ª ramificação encontrava-se na altura do dorso do animal e a 2ª ramificação na altura do focinho do animal (Figura 1).



Figura 1. Enriquecimentos ambientais do tipo corrente ramificada (EA) e corda de sisal ramificada (EB)

4.2.3 Frigorífico

Todos os animais foram destinados ao abate, em um frigorífico comercial localizado na região Sul do Brasil. Para isso, foi considerado o peso vivo aproximado de 110 kg e jejum de 24 horas. O transporte dos animais foi realizado por caminhões de piso duplo hidráulico, com apenas animais oriundos da granja. Ao chegar no frigorífico, os animais foram descarregados, tatuados e encaminhados às pocilgas (densidade 0,60 m²/100 kg) com nebulizadores de água, dieta hídrica e à temperatura ambiente, onde permaneceram até o momento do abate.

De acordo com a rotina do frigorífico, os suínos passaram pelo exame *ante-mortem* realizado pelo médico veterinário do Serviço de Inspeção Federal - SIF e descansaram por, no mínimo, 3 horas, para serem lavados e encaminhados à insensibilização, que ocorreu por eletrocussão, seguindo todos os procedimentos de abate do frigorífico.

4.2.4 Avaliação biomecânica dos ossos

Para avaliação biomecânica de ossos, a coleta dos ossos foi realizada pela equipe responsável pela pesquisa. O protocolo padrão da *American Society of Agricultural and Biological Engineers - ASABE* (2012) foi a metodologia adotada como referência. Os ossos foram coletados e acondicionados no próprio frigorífico sob a responsabilidade da gerente de qualidade de Suínos da unidade. Após a coleta no frigorífico, as amostras foram armazenadas e congeladas a temperatura de -18⁰C, identificadas e etiquetadas (Figura 2), e posteriormente enviadas para o Laboratório de Análise de Resistência de Embalagens, onde foram realizadas as análises biomecânicas.



Figura 2. Amostras identificadas do osso fêmur dos suínos para análise de biomecânica óssea

Após o abate dos animais, eles passaram pelo processo de desossa, seguindo o fluxo normal de abate da unidade. Nessa etapa, foram selecionados o osso fêmur do lado esquerdo de cada um dos 12 animais, previamente identificados em cada tratamento. A avaliação das propriedades mecânicas (força máxima, momento de inércia e resistência) foi determinada por meio de ensaios de flexão em três pontos, com os ossos apoiados em suas extremidades e a carga mecânica aplicada no centro da diáfise (Figura 3).



Figura 3. Equipamento para teste de força de flexão do osso fêmur de suíno

A resistência do osso à quebra (chamada de força de ruptura) seguiu os procedimentos acima citados, os quais geraram a curva de carregamento. Essas avaliações foram realizadas por meio de uma máquina universal de ensaios mecânicos, que registrou continuamente os dados referentes à carga mecânica aplicada. Dependendo da resistência da estrutura óssea a força aplicada sobre ele, o osso poderia permanecer intacto, apenas trincar ou se partir integralmente (Figura 4).



Figura 4. Osso fêmur de suíno rompido após o teste de flexão

4.2.5 Delineamento experimental e análise estatística dos dados

O delineamento experimental utilizado foi casualizado em blocos, considerando o peso dos animais: leves (20,3 a 24,8 kg), médios (24,8 a 27,7 kg) e pesados (27,7 a 33,8 kg), com esquema fatorial 2 x 3 (sexo x condições de criação), resultando em 6 tratamentos, com 12 repetições por tratamento, totalizando 72 baias. Considerando a análise das medidas quantitativas contínuas após o abate dos animais, o modelo linear estatístico (1) ajustado a cada um dos conjuntos de dados foi:

$$y_{ijk} = \mu + (\text{bloco})_i + (\text{sexo})_j + (\text{enriquecimento})_k + (\text{sexo} \times \text{enriquecimento})_{jk} + \epsilon_{ijk} \quad (1)$$

em que $i = 1,2,3$; $j = 1,2$ e $k = 1,2,3$ indicam os níveis de blocos (leve, médio, pesado), sexo (macho, fêmea) e enriquecimento ambiental (corda, corrente, nenhum), respectivamente e ϵ é o erro experimental, que deve atender às pressuposições estocásticas usuais: normalidade, homogeneidade, aditividade e independência. As comparações de médias foram feitas pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

Para análise das variáveis força de flexão e tensão de ruptura dos ossos dos animais, utilizou-se análise da variância, segundo o delineamento em blocos casualizados, com esquema de tratamentos fatorial (3 x 2), para os efeitos de sexo e condição ambiental. As pressuposições estatísticas dos modelos foram verificadas por meio de técnicas gráficas e testes de hipóteses, sobretudo para a normalidade da variável resposta e homogeneidade de variâncias.

Uma vez atendidas as pressuposições do modelo, o teste F (Fisher-Snedecor) ao nível de significância de 5% foi usado para avaliar os efeitos de sexo, condição de criação e interação. Para interação significativa, estudou-se os efeitos de um fator dentro de cada nível do outro fator. Adicionalmente, a influência do teor de umidade sobre a variável resposta foi verificada por meio da análise de Covariância. As análises foram realizadas por meio do software R (R Core Team, 2020).

4.3. Resultados

De acordo com os resultados para a força de flexão dos ossos dos animais (Tabela 1), verifica-se que não houve efeito da interação ($p > 0,05$) e dos fatores isolados (sexo e enriquecimento). Porém, houve tendência ($p = 0,08170$) da interação (sexo x enriquecimento), sendo maior a força de flexão nos machos (49,04857 MPa) comparados às fêmeas (46,85556 MPa) e nos grupos enriquecidos com corda (47,84348 MPa) e corrente (49,93750 MPa) em relação ao grupo controle (46,02500 MPa).

Para tensão de ruptura dos ossos dos animais, houve efeito da interação ($p = 0,03980$) (sexo x enriquecimento), sendo as fêmeas sem enriquecimento (grupo controle) as que apresentaram menor tensão de ruptura comparadas às fêmeas enriquecidas com corda e corrente ramificada. Ou seja, de acordo com esses resultados apesar dos ossos das fêmeas (grupo controle) terem menor resistência que os ossos dos machos, o uso de EA aumentou a resistência a ruptura tanto com o uso da corda como corrente, que não apresentaram diferenças entre si. Por outro lado, os efeitos do EA na estrutura óssea de machos não apresentaram diferenças significativas. Nesta pesquisa, avaliou-se se o teor de umidade dos ossos poderia influenciar nas respostas em relação aos esforços mecânicos. Os resultados não apresentaram efeito sobre a força de flexão ($p = 0,3762$) e nem sobre a tensão de ruptura ($p = 0,3211$).

Tabela 1. Força de flexão e tensão de ruptura dos ossos de suínos (machos e fêmeas) com e sem uso de enriquecimento ambiental

| Variável (Mpa) | Tratamentos | | | Valor de p* | | |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------|-----------|
| | Corrente | Corda | Grupo Controle | EA | Sexo | Interação |
| Força de flexão: fêmeas | 49,90 | 49,18 | 41,48 | 0,384 | 0,306 | 0,0820 |
| Força de flexão: machos | 49,97 | 46,38 | 50,56 | | | |
| Tensão de ruptura: fêmeas | 49,27 a | 48,29 a | 39,61 b | 0,445 | 0,474 | 0,0398 |
| Tensão de ruptura: machos | 47,93 | 43,83 | 49,75 | | | |

*Resultados obtidos por meio do teste de Tukey para os níveis dos fatores (EA = enriquecimento ambiental, sexo e interação EA x sexo) sobre as variáveis força de flexão e tensão de ruptura dos ossos. Dentro de cada linha, valores com letras diferentes indicam diferença estatística significativa ($p < 0,05$).

4.4. Discussão

Os suínos têm sido utilizados como modelo para estudar o sistema musculoesquelético humano, incluindo articulações específicas, como o joelho e articulações temporomandibulares e tecidos, como osso, cartilagem e ligamentos (CONE et al., 2017; CONE et al.; 2019; COSTA et al., 2019). O conhecimento das propriedades mecânicas do osso e das fraturas é importante para a saúde humana e animal, assim como para compreender as propriedades estruturais e materiais do osso e os efeitos que as forças apresentam em ossos longos, permitindo a tomada de decisões na ocorrência de fraturas (DALMOLIN et al., 2013) e injúrias durante o crescimento (CONE et al., 2019).

A avaliação biomecânica do osso também tem sido utilizada para avaliar diferentes métodos de fixação tibial na reconstrução do ligamento anterolateral em suínos, associando esses resultados às aplicações práticas nas lesões mais comuns entre atletas (COSTA et al., 2019). Similarmente aos humanos, os suínos apresentam um sistema musculoesquelético que funciona como um sistema de suporte estrutural facilitando uma ampla gama de movimentos durante as atividades da vida diária (CONE et al., 2017). Porém, na produção intensiva de suínos, sabe-se que esses movimentos são limitados pelo pouco espaço nos ambientes confinados, sendo propostas estratégias que facilitem os comportamentos naturais da espécie e a maior movimentação, como o uso de diferentes materiais de enriquecimento ambiental (EA) nas baias.

No presente estudo, por meio da avaliação biomecânica dos ossos de suínos, verificou-se que os materiais utilizados (cordas e correntes ramificadas nas extremidades) promoveram maior resistência aos esforços de flexão de maneira geral, sendo que nos ossos dos machos os valores foram maiores que os das fêmeas. Ainda em relação as forças de flexão, mesmo não apresentando diferenças significativas, o uso do EA apresentou valores unitários superiores ao grupo controle. Além disso, as fêmeas sem EA apresentaram menor tensão de ruptura dos ossos, indicando os benefícios do enriquecimento sobre o fortalecimento ósseo desta

categoria. Sugere-se que os benefícios trazidos com o uso do EA estão relacionados à maior movimentação dos suínos e, com isso, maior fortalecimento dos ossos e músculos, assim como já foi sugerido anteriormente para frangos de corte (GÜZ et al., 2021) por meio do enriquecimento das baias com poleiros, plataformas e rampas. As diferenças entre os sexos observadas neste estudo já foram anteriormente relatadas por Cone et al. (2017), em que as fêmeas tiveram menor rigidez óssea (12%) comparadas aos machos após 15 semanas de um processo de cicatrização. Além das alterações na estrutura óssea, o EA pode proporcionar ao animal um ambiente menos estressante (ARROYO et al., 2020; FÀBREGA et al., 2019), sendo dadas as condições ideais para os suínos expressarem os comportamentos naturais e típicos da espécie, promovendo maior bem-estar e saúde dos animais.

Pelos resultados, é nítido que a presença do EA para as fêmeas apresentou efeitos positivos no aumento da resistência a ruptura, quando comparados com o grupo controle e com os machos. Por outro lado, mesmo os machos tendo uma resistência óssea inicial maior que as fêmeas, o EA não teve efeito significativo para esta categoria.

A escolha do material parece ser um fator determinante para o sucesso do EA na suinocultura, embora, no presente estudo, os benefícios ao fortalecimento ósseo foram observados em ambos os enriquecimentos utilizados. O uso de correntes ramificadas, por exemplo, acrescentando “ramos”, com várias cadeias curtas terminando com duas a três extremidades na altura do focinho dos animais, já vem sendo recomendado como um primeiro passo para o enriquecimento adequado na criação intensiva de suínos (BRACKE, 2018; BRACKE; KOENE, 2019). Considerando sua reconhecida importância sobre o bem-estar animal, na maioria das vezes, os materiais são usados para evitar brigas (46,3%) e para evitar mordedura de rabo (23,3%), sendo a corrente um dos artefatos mais utilizados, seguidos de recipientes plásticos e pedaços de madeira (PIEROZAN et al., 2020). Em nossa pesquisa, tanto as correntes quanto as cordas ramificadas promoveram maior força de flexão dos ossos nos machos e maior tensão de ruptura em ambos os sexos. Isso demonstra um importante benefício do EA às possíveis fraturas que podem ocorrer aos suínos na fase de terminação e no manejo pré-abate, durante o carregamento, transporte e descarregamento dos animais no frigorífico.

Dessa forma, o EA deve ser visto como uma importante estratégia de manejo, especialmente na fase de terminação, sendo necessária a orientação correta aos produtores e profissionais da área. Assim como relataram Van de Weerd e Ison (2019), o conhecimento científico sobre o enriquecimento eficaz para suínos não está necessariamente chegando às fazendas, com limitações nas três maiores regiões produtoras globais de carne suína (Estados

Unidos, China e União Europeia). No Brasil, espera-se que as demandas por bem-estar animal sejam atendidas, atingindo mercados mundiais competitivos de carne suína, sendo o EA reconhecido como uma área importante dentro dos objetivos de negócios das principais empresas e produtores, levando a mudanças significativas na criação atual de suínos.

4.5. Conclusão

Fêmeas em fase de terminação criadas sem o uso do enriquecimento ambiental apresentaram menor tensão de ruptura dos ossos, o que favorece a fragilidade óssea, já os suínos machos de terminação criados com uso de cordas de sisal e correntes ramificadas, tiveram maior resistência a flexão óssea, o que favorece o fortalecimento da estrutura óssea de suínos.

O uso de cordas e correntes ramificadas fortalece a estrutura óssea de suínos na fase de terminação, ao promover maior força de flexão e maior tensão de ruptura dos ossos, sendo uma importante estratégia utilizada na criação atual de suínos visando atender às exigências de bem-estar animal.

Contribuições dos autores

Materiais Complementares: Tabela 1. Força de flexão e tensão de ruptura dos ossos de suínos; Figura 1. Enriquecimentos ambientais do tipo corrente ramificada (EA) e corda de sisal ramificada (EB) inseridas nas baias, conforme padrão estabelecido no estudo; Figura 2. Amostras identificadas do osso fêmur dos suínos para análise de biomecânica óssea; Figura 3. Equipamento para teste de força de flexão do osso fêmur de suíno; Figura 4. Osso fêmur de suíno rompido após o teste de flexão.

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Agradecimentos: Os autores deste estudo agradecem a todos os profissionais técnicos que contribuíram para esta pesquisa.

Contribuições dos autores: Conceitos, T.M. e S.I. (Mariana Tavares e Iran Silva); Metodologia, T. M. e S.I.; software, D. I. e D. S. (Idemauro De Lara e Silvia De Freitas); validação, D.I.; análise formal, D.I. e D.S.; investigação, T.M.; recursos, T.M.; curadoria de dados, S.I.; redação e preparação do rascunho original, T.M.; escrita e revisão e edição, T.M. e S.I.; supervisão, S.I.; administração de projetos, T. M. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Declaração do Conselho de Revisão Institucional: O estudo do animal foi realizado de acordo com as recomendações do protocolo número 2019-07 sob responsabilidade de Iran José de Oliveira, aprovado pelo Comitê Institucional de Cuidados e Uso de Animais (CEUA), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, Brasil, Universidade de São Paulo. De acordo com a Lei nº 11.794/2008, e com as normas emanadas do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal – CONCEA.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido: Não aplicável para este estudo.

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse

Referências

1. Schwartz, K.; Madson, D. *Sorting out joint disease and lameness*. National Hog Farmer. 2014. Disponível em: <http://nationalhogfarmer.com/business/sorting-out-joint-disease-and-lameness> (accessed 26 March. 2022).
2. Waddell, J. Growing pig lameness: A costly emerging issue. In: AASV Annual Meeting, 46, Seminar 5, Proceedings... Orlando, FL, EUA, 2015. p. 5.
3. OIE (Organização Mundial para Saúde Animal). *Terrestrial Animal Health Code*. 2009. Disponível em <http://www.oie.int/animal-welfare/animal-welfare-key-themes/> (accessed 23 March 2022).
4. van Grevenhof, E.M.; Heuven, H.C.M.; van Weeren, P.R.; Bijma, P. The relationship between growth and osteochondrosis in specific joints in pigs. *Livest. Sci.* **2012**, *143*, 85–9. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.09.002>
5. Ibelli, A.M.G.; Peixoto, J.O.; Savoldi, I.R.; Carmo, K.B.; Morés, N. Morés, M.A.Z.; Cantão, M.E.; Coutinho, L.L.; Ledur, M.C. Biological processes related to ribosome and mitochondrial functions might be involved in the osteochondrosis latens manifestation in gilts. In: Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 11, Proceedings... University of New Zealand. 2018. p. 538.
6. Kramer, T.; Alberton, G.C. Piso, claudicação e integridade dos cascos. In: *Suinocultura: uma saúde e um bem-estar*. 1st ed.; Ribas, J.C.R.; Dias, C.P.; Ludtke, C.B.; Buss, L.P., Eds.; Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. – Brasília: AECS, 2020; pp. 352-385.
7. Foppa, L., Pierozan, C.R., Caldas, E.D., Michelon, A. Enriquecimento ambiental em suinocultura. In: *Suinocultura: uma saúde e um bem-estar*. 1st ed.; Ribas, J.C.R.; Dias, C.P.; Ludtke, C.B.; Buss, L.P., Eds.; Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. – Brasília: AECS, 2020; pp. 227-245..
8. Cone, S.G.; Warren, P.B.; Fisher, M. B. Rise of the Pigs: Utilization of the porcine model to study musculoskeletal biomechanics and tissue engineering during skeletal growth. *Tissue Eng. - C: Methods*. **2017**, *23*, 763–780. <https://doi.org/10.1089/ten.tec.2017.0227>
9. Schmitt, B.; Serafini, G.M.C.; Libardoni, R.N.; Souza, F.W.; Feranti, J.P.S.; Cauduro, C.R.; Amaral, A.S.; Brun, M.V. Ensaio biomecânico para determinação do diâmetro de barra conectora de polimetilmetacrilato em fixador esquelético externo tipo Ia no úmero de suínos. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* **2018**, *70*, 779-786.
10. Giuliotti, L.; Benvenuti, M.N.; Giannarelli, A.; Mariti, C.; Gazzano, A. Effect of different environment enrichments on behaviour and social interactions in growing pigs. *Animals*. **2019**, *9*, 101. <https://doi.org/10.3390/ani9030101>

11. Conselho da União Europeia. Diretiva 2008/120/CE, relativa às normas mínimas de proteção de suínos, de 18 de dezembro, 2008. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A32008L0120> (accessed 20 Julho 2022).
12. Güz, B.C.; Jong, I.C.; Silva, C.S.; Veldkamp, F.; Kemp, B.; Molenaar, R.; van den Brand, H. Effects of pen enrichment on leg health of fast and slower-growing broiler chickens. *PLoS ONE*. **2021**, 1-23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254462>
13. Brasil. Instrução Normativa nº 113, de 16 de dezembro de 2020. Estabelecer as boas práticas de manejo e bem-estar animal nas granjas de suínos de criação comercial. Diário Oficial [da] União, Brasília, DF. Publicado em 18 de dezembro de 2020, Edição 242, Seção 1, p. 5.
14. Marcet-Rius, M.; Kalonjia, G.; Cozzib, A.; Bienboire-Frosinia, C.; Monneretc, P.; Kowalczykc, I.; Terueld, E.; Codecasac, E.; Pageat, P. Effects of straw provision, as environmental enrichment, on behavioural indicators of welfare and emotions in pigs reared in an experimental system. *Livest. Sci.* **2019**, *221*, 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.01.020>
15. Wang, C.; Han, Q.; Liu, R.; Ji, W.; Bi, Y.; Wen, P.; Yi, R.; Zhao, P.; Bao, J.; Liu, H. Equipping Farrowing Pens with straw improves maternal behavior and physiology of min-pig hybrid sows. *Animals*. **2020**, *10*, 105. <https://doi.org/10.3390/ani10010105>
16. Dušanka, J.; Gorjanc, G.; Štuhec, I.; Žgur, S. Improvement of pork characteristics under commercial conditions with small amount of straw or hay. *J. Appl. Anim. Res.* **2018**, *46*, 1317-1322. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1503963>
17. Lahrmann, H.P.; Hansen, C.F.; D'Eath, R.B.; Busch, M.E.; Nielsen, J.P.; Forkman, B. Early intervention with enrichment can prevent tail biting outbreaks in weaner pigs. *Livest. Sci.* **2018**, *214*, 272-277. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.06.010>
18. Backus, B.L.; McGlone, J.J. Evaluating environmental enrichment as a method to alleviate pain after castration and tail docking in pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2018**, *204*, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.04.009>
19. Nannoni, E.; Sardi, L.; Vitali, M.; Trevisi, E.; Ferrari, A.; Ferri, M.E.; Bacci, M.L.; Govoni, N.; Barbieri, S.; Martelli, G. Enrichment devices for undocked heavy pigs: effects on animal welfare, blood parameters and production traits. *Ital. J. Anim. Sci.* **2018**, *18*, 45-56. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1472531>
20. Fàbrega, E.; Marcet-Rius, M.; Vidal, R.; Escribano, D.; Cerón, J.J.; Manteca, X.; Velarde, A. The effects of environmental enrichment on the physiology, behaviour, productivity and meat quality of pigs raised in a hot climate. *Animals*. **2019**, *9*, 235. <https://doi.org/10.3390/ani9050235>
21. Luo, L.; Reimert, I.; Middelkoop, A.; Kemp, B.; Bolhuis, J.E. Effects of early and current environmental enrichment on behavior and growth in pigs. *Front. Vet. Sci.* **2019**, *7*, 1-14. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00268>
22. Casal-Plana, N.; Manteca, X.; Dalmau, A.; Fàbrega, E. Influence of enrichment material and herbal compounds in the behaviour and performance of growing pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2017**, *195*, 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.06.002>
23. Li, Y.; Wang, C.; Huang, S.; Liu, Z.; Wang, H. Space allowance determination by considering its coeffect with toy provision on production performance, behavior and physiology for grouped growing pigs. *Livest. Sci.*, **2021**, *243*, 104389. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104389>
24. Godyn, D.; Nowicki, J.; Herbut, P. Effects of environmental enrichment on pig welfare - a review. *Animals*, v. 9, n. 6, p. 383, 2019. <https://doi.org/10.3390/ani9060383>

25. Misra, S.; Bokkers, E.A.M.; Upton, J.; Quinn, A.J.; O'Driscoll, K. Effect of environmental enrichment and group size on the water use and waste in grower-finisher pigs. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 16380. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95880-0>
26. Bracke, M.B.M.; Koene, P. Expert opinion on metal chains and other indestructible objects as proper enrichment for intensively-farmed pigs. *PLOS one*, **2019**, 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212610>
27. Caldas, E.D. Efeito da densidade e do uso de materiais de enriquecimento ambiental sobre o bem-estar e o desempenho zootécnico e econômico de suínos em fase de crescimento e terminação. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Universidade Estadual de Londrina. 90 p. 2019.
28. Casal, N.; Font-i-Furnols, M.; Gispert, M.; Manteca, X.; Fàbrega, E. Effect of environmental enrichment and herbal compounds-supplemented diet on pig carcass, meat quality traits, and consumers' acceptability and preference. *Animals*. **2018**, *8*, 118. <https://doi.org/10.3390/ani8070118>
29. Li, J.; Li, X.; Liu, H.; Li, J.; Han, Q.; Wang, C.; Zeng, X.; Li, Y.; Ji, W.; Zhang, R.; Bao, J. Effects of music stimulus on behavior response, cortisol level, and horizontal immunity of growing pigs. *J. Anim. Sci.*, **2021**, *99*, 1-9. <https://doi.org/10.1093/jas/skab043>
30. Morgan, L.; Itina-Swartz, B.; Koren, L.; Meyer, J.; Raz, T. Welfare implications of husbandry procedures impair piglets' welfare and production, and farms' economic. *J. Anim. Sci.* **2019**, *97*, 4. <https://doi.org/10.1093/jas/skz258.005>
31. Amaral, P.I.S.; Campos, A.T.; Esteves Junior, R.C.; Esteves, G.F.; Yanagi Junior, T.; Leite, M.E.C.R. Behavioral responses of pigs finished in deep bedding and conventional bed systems. *Eng. Agríc.* **2021**, *41*, 25-33. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n1p25-33/2021>
32. Chou, J.; Sandercock, D.A.; D'Eath, R.; O'Driscoll, R. A high enrichment replenishment rate reduces damaging behaviors and increases growth rate in undocked pigs kept in fully slatted pens. *Front. Vet. Sci.* **2020**, *13*, 584706. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.584706>
33. Nazareno, A.C.; Silva, I.J.O.; Delgado, E.F.; Machado, M.; Pradella, L.O. Does environmental enrichment improve performance, morphometry, yield and weight of broiler parts at different ages? *Braz. J. Agric. Environ. Eng.* **2022**, *26*, 292-298. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n4p292-298>
34. NRC. Nutrient requirements of swine. 11th ed. Washington (DC): National Academies Press. 2012.
35. ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2012.
36. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
37. Cone, S.G.; Lambeth, E.P.; Ru, H.; Fordham, L.A.; Piedrahita, J.A.; Spang, J.T.; Fisher, M.B. Biomechanical Function and Size of the Anteromedial and Posterolateral Bundles of the ACL Change Differently with Skeletal Growth in the Pig Model. *Clin. Orthop. Relat. Res.* **2019**, *477*, 2161-2174. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000000884>.
38. Costa, R.N.; Nadal, R.R.; Saggin, P.R.F.; Lopes Junior, O.V.; Spinelli, L.F.; Israel, C.L. Biomechanical Evaluation of Different Tibial Fixation Methods in the Reconstruction of the Anterolateral Ligament in Swine Bones. *Ver. Bras. Ortop.* **2019**, *54*, 183-189. <https://doi.org/10.1016/j.rbo.2017.09.001>
39. Dalmolin, F.; Pinto Filho, S.T.L.; Cortes, A.M.; Brun, M.V.; Cauduro, C.R.; Schossler, J.E. Bone biomechanics and biomechanics essays - theoretical foundations. *Cienc. Rural.* **2013**, *43*, 1675-1682. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000900022>
40. Arroyo, L.; Valenta, D.; Carreras, R.; Pato, R.; Sabrià, J.; Velarde, A.; Bassols, A. Neurobiology of environmental enrichment in pigs: hanges in monoaminergic

- neurotransmitters in several brain areas and in the hippocampal proteome. *J. Proteomics*. **2020**, 229, 103943. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2020.103943>
41. Bracke, M.B.M. Chains as proper enrichment for intensively-farmed pigs? In: Spinka M, editor. *Advances in Pig Welfare*: Elsevier; 2018. p. 167–197. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101012-9.00005-8>

42. Pierozan, C.R.; Foppa, L.; Caldas, E.D.; Michelon, A.; Ruiz, G.; Duarte, J.V.S.; Silva, C.C.R.; Silva, C.A. Producers' knowledge and perception about environmental enrichment and materials used in pig farms. *R. Bras. Zootec.* **2020**, *49*:e20190250. <https://doi.org/10.37496/rbz4920190250>
43. Van de Weerd, H.; Ison, S. Providing Effective Environmental Enrichment to Pigs: How Far Have We Come? *Animals.* **2019**, *9*, 254. <https://doi.org/10.3390/ani9050254>

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este foi um estudo pioneiro no Brasil para análise de bem-estar e uso de enriquecimento ambiental nos efeitos da biomecânica óssea de suínos em fase de terminação. Podemos observar que o enriquecimento ambiental apesar de não afetar a temperatura do animal, afetou o grau de lesões e a biomecânica óssea dos animais. As fêmeas em fase de terminação criadas sem o uso do enriquecimento ambiental apresentaram menor tensão de ruptura dos ossos, o que favorece a fragilidade óssea, já os suínos machos de terminação criados com uso de cordas de sisal e correntes ramificadas, tiveram maior resistência a flexão óssea, o que favorece o fortalecimento da estrutura óssea de suínos.

Podendo-se afirmar, que o uso de cordas e correntes ramificadas fortalece a estrutura óssea de suínos na fase de terminação, ao promover maior força de flexão e maior tensão de ruptura dos ossos, sendo uma importante estratégia utilizada na criação atual de suínos visando atender às exigências de bem-estar animal.

Além disso, o uso da corda melhorou a qualidade da carne nos machos e o desempenho zootécnico dos animais em relação às correntes, e ainda aumentou a interação de machos e fêmeas com o ambiente e com o objeto no período da manhã, comportamento desejado uma vez que não houve impacto sobre a conversão alimentar dos animais, e ainda houve uma redução do consumo diário de ração. Já no período da tarde, as correntes foram o enriquecimento preferido pelos animais, independente do sexo.

No Brasil existem poucos estudos sobre os impactos do uso do enriquecimento ambiental na fase de terminação. Espera-se com esta pesquisa, que o enriquecimento ambiental contribua com a melhora no bem-estar dos animais, sugerida pelo melhor desempenho produtivo, fortalecimento ósseo e redução de fraturas, assim como na redução de intervenções clínicas e medicamentosas, redução de estereotípias e melhor qualidade de carne. Adicionalmente, os resultados obtidos podem servir de endosso para o estabelecimento de políticas e diretrizes públicas brasileiras, tais como legislações sobre o uso de enriquecimento ambiental para suínos e que possa ser fomentada nacionalmente as boas práticas de bem-estar para a espécie.

Este estudo também servirá como incentivador de novas linhas de pesquisa nesta área que ampliem as possibilidades de avanço no setor produtivo suíno e posicionem ainda mais o país e o setor agropecuário em um patamar privilegiado e diferenciado em relação ao tema de bem-estar animal.