

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**MANEJO RACIONAL E TRANSPORTE DE BOVINOS NO PRÉ-ABATE:
IMPACTOS SOBRE CONTUSÕES EM CARCAÇAS E PERDAS
ECONÔMICAS**

DANIELA COSTA COTRIM CAMPOS

**SALVADOR – BAHIA
JULHO – 2025**



UNIVERSIDADE FEDERAL BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**MANEJO RACIONAL E TRANSPORTE DE BOVINOS NO PRÉ-ABATE:
IMPACTOS SOBRE CONTUSÕES EM CARCAÇAS E PERDAS
ECONÔMICAS**

DANIELA COSTA COTRIM CAMPOS
Zootecnista

SALVADOR – BAHIA
JULHO – 2025

DANIELA COSTA COTRIM CAMPOS

**MANEJO RACIONAL E TRANSPORTE DE BOVINOS NO PRÉ-
ABATE: IMPACTOS SOBRE CONTUSÕES EM CARCAÇAS E
PERDAS ECONÔMICAS**

Tese apresentada ao Programa de
Doutorado em Zootecnia da Universidade
Federal da Bahia como requisito parcial
para obtenção do título de Doutor em
Zootecnia.

Área de Concentração: Produção Animal

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro

SALVADOR – BA

JULHO - 2025

Dados internacionais de catalogação-na-publicação
(SIBI/UFBA/Biblioteca Universitária Reitor Macedo Costa)

Campos, Daniela Costa Cotrim.

Manejo racional e transporte de bovinos no pré-abate: impactos sobre contusões em carcaças e perdas econômicas / Daniela Costa Cotrim Campos. - 2025.

63 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro.

Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, Salvador, 2025.

1. Zootecnia. 2. Animais - Proteção. 3. Bovinos de corte - Criação. 4. Bovinos de corte - Transporte. 5. Bovinos de corte - Carcaça. 6. Carne de boi - Qualidade. 7. Carne de boi - Comércio - Aspectos econômicos. I. Ribeiro, Cláudio Vaz Di Mambro. II. Universidade Federal da Bahia. Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia. III. Título.

CDD - 636.2

CDU - 636.2


**MANEJO RACIONAL E TRANSPORTE DE BOVINOS NO PRÉ-ABATE:
IMPACTOS SOBRE CONTUSÕES EM CARCAÇAS E PERDAS ECONÔMICAS**

Daniela Costa Cotrim Campos


**Tese defendida e aprovada para obtenção do grau de
Doutor em Zootecnia**

Salvador, 24 de julho de 2025


Comissão examinadora:

 Documento assinado digitalmente
CLAUDIO VAZ DI MAMBRO RIBEIRO
Data: 31/07/2025 21:50:17-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>


Dr. Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro
UFBA
Orientador / Presidente

 Documento assinado digitalmente
CHIARA ALBANO DE ARAUJO OLIVEIRA
Data: 01/08/2025 16:34:45-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>


Dra. Chiara Albano de Araújo Oliveira
UFBA

 Documento assinado digitalmente
ANALÍVIA MARTINS BARBOSA
Data: 01/08/2025 16:02:36-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dra. Analívia Martins Barbosa
UFBA

 Documento assinado digitalmente
FABIANA LANA DE ARAUJO
Data: 01/08/2025 15:14:30-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dra. Fabiana Lana de Araújo
UFRB

 Documento assinado digitalmente
ADRIANA REGINA BAGALDO
Data: 01/08/2025 15:32:37-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dra. Adriana Regina Bagaldo
UFRB

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus e à Nossa Senhora de Fátima, por nunca me deixarem sozinha. Por me guiarem, me acolherem e, sobretudo, por me mostrarem que, mesmo quando eu achava que não conseguiria seguir, era possível tomar fôlego e ir muito além do que imaginei.

À minha mãe. Mesmo nem sempre concordando com minhas escolhas, brigou o mundo — e brigaria quantas vezes fosse preciso — para que eu pudesse trilhar meu próprio caminho. Obrigada por, desde sempre, me fazer acreditar que o mundo era meu. Hoje eu sei que é.

Ao meu esposo, Vinícius, meu companheiro em todos os sentidos. Obrigada por ser mais do que eu poderia sonhar, por me apoiar nos dias difíceis, por orar comigo, por me lembrar quem eu sou mesmo quando eu esquecia. Obrigada por ser tanto, por nós.

Ao professor Cláudio, meu orientador, agradeço pela paciência, pela escuta generosa diante dos meus pensamentos tumultuados e pela capacidade de transformar confusão em direção. Obrigada por mostrar que daria certo — com calma e organização.

Agradeço imensamente à professora Fabiana Lana, por ser guia e porto seguro. Por acreditar em mim com mais firmeza do que eu mesma em muitos momentos, por atender minhas ligações em qualquer hora e por me mostrar caminhos possíveis e grandes.

Dedico esta tese também à minha amiga Adriane Zart — uma inspiração imensurável. Uma referência profissional e pessoal que me mostrou que aquilo que eu amava fazer poderia, sim, me levar muito longe. Mesmo a quilômetros de distância, sua voz ainda ecoa em mim: “É no andar da carruagem que as abóboras se acomodam.”

Obrigada, de coração, a todos que caminharam comigo até aqui.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1 - Impact of a novel rational handling on operational performance, carcass quality, and economic losses in Beef Cattle

Figure 1 – Carcass regions associated with the occurrence of bruises: forequarter (1), rib (2), loin (3), flank (4), hindquarter (5). Source: Author's collection.....	21
Figure 2 - Frequency of injuries by anatomical region in animals, regardless of the handling method.....	24
Figure 3 - Comparison of injury occurrence in cattle according to the handling method adopted (Conventional or Hands-Free Handling)	26
Figure 4 - Number of injuries per animal according to the pre-slaughter handling method adopted	27
Figure 5 - Frequency of injuries by anatomical region in animals according to the handling method adopted	27

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 - Impact of 'Hands-Free' Rational Handling on Operational Performance, Carcass Quality, and Economic Losses in Beef Cattle

Table 1 - Table 1. Average time spent during loading, transit and unloading of beef cattle for conventional and rational handling	23
Table 2 - Risk of occurrence of bruises in different areas of the bovine carcass for conventional (CON=1) and rational handling (HFH=0).....	25
Table 3 - Risk of injury (yes=1; no=0) in cattle carcasses for conventional (CON=0) and rational handling (HFH=1).....	25
Table 4 - Effect of handling on the total number of injuries found in cattle carcasses for conventional (CON=0) and rational handling (HFH=1).....	26
Table 5 - Live weight, hot carcass weight, carcass yield and pH for conventional and rational handling.....	28
Table 6 -Economic impact assessment of losses due to discarded lesions for conventional and rational handling, considering an average carcass weight of 20 arrobas (@; 15 kg)	29

Capítulo 2 – Ocorrência de hematomas e perdas econômicas em carcaças bovinas: efeito do sexo, raça, e distância percorrida até o frigorífico

Tabela 1- Distribuição dos animais abatidos por sexo, grupo genético e sistema de produção.....	42
Tabela 2- Rendimento de carcaça, segundo classe sexual, grupo genético e sistema de terminação. Média, desvio padrão, intervalo de confiança (95%), valores mínimo e máximo, número de lotes (n) e valor de P (modelo GLM com distribuição Gama).....	44
Tabela 3- Peso dos hematomas musculares (kg) em carcaças bovinas, de acordo com classe sexual, grupo genético e sistema de terminação. Resultados do modelo de regressão com distribuição Gama.	45
Tabela 4- Efeito do sexo na probabilidade de hematomas em carcaças de bovinos com base na análise de regressão logística.	46

Tabela 5- Efeito do sexo sobre o peso total de hematomas (kg) em carcaças bovinas com base em modelo linear generalizado (distribuição Gama).	46
Tabela 6- Peso dos hematomas musculares (kg) em bovinos, conforme a interação entre sexo e grupo genético. Resultados de regressão linear simples com distância percorrida (km) como variável independente.	47
Tabela 7- Modelo de regressão logística múltipla avaliando o efeito do sistema de terminação e da distância de transporte na probabilidade de hematomas em carcaças de bovinos.	47
Tabela 8- Efeito da distância e do sexo na probabilidade de hematomas em carcaças de bovinos com base na análise de regressão logística.	48
Tabela 9- Peso dos hematomas musculares (kg) em bovinos de corte conforme a interação entre grupo genético e sistema de terminação.	49
Tabela 10- Efeito do sistema de terminação na probabilidade de hematomas em carcaças de bovinos com base na análise de regressão logística.	49
Tabela 11- Estimativas de perdas econômicas por hematomas musculares em bovinos, segundo sexo, grupo genético, sistema de terminação e distância percorrida.	50
Tabela 12- Estimativa do impacto da distância percorrida no transporte sobre as perdas econômicas por animal.	51

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1. REFERÊNCIAS.....	14
Impact of 'Hands-Free' Rational Handling on Operational Performance, Carcass Quality, and Economic Losses in Beef Cattle	17
ABSTRACT.....	17
1. INTRODUCTION.....	18
2. MATERIAL AND METHODS	19
2.1 Location, Data Collection Period and Animals	19
2.2 Data Collection	19
2.3 Animal Handling	20
2.4 Transportation.....	20
2.5 Bruise evaluation.....	20
2.6 Carcass yield.....	22
2.7 pH	22
2.8 Economic evaluations	22
2.9 Statistical analysis	22
3. RESULTS.....	23
3.1 Loading, transportation and unloading.....	23
3.2 Injuries	23
3.3 Carcass yield and pH	28
3.4 Financial impact.....	28
4. DISCUSSION	29
4.1 Transportation and injuries	29
4.2 Study limitations	31

4.3 Carcass quality	31
4.4 Financial impact.....	32
5. CONCLUSION.....	33
6. REFERENCES.....	34
Ocorrência de hematomas e perdas econômicas em carcaças bovinas: efeito do sexo, raça e distância percorrida até o frigorífico	39
RESUMO	39
1. INTRODUÇÃO.....	40
2. MATERIAL E MÉTODOS	41
2.1. Local, período de coleta de dados e animais.....	41
2.2 Análise estatística	43
3. RESULTADOS	43
3.1 Rendimento de Carça.....	43
3.2. Peso de Hematomas	44
3.3. Grupo genético	46
3.4. Influência da distância percorrida	47
3.5. Interação Sistema de Terminação e Grupo Genético sobre o peso de hematomas	48
3.6 Perdas econômicas estimadas	50
4. DISCUSSÃO.....	51
5. CONCLUSÃO	59
6. REFERÊNCIAS.....	60

1. INTRODUÇÃO GERAL

Em 2024, o Brasil abateu 46 milhões de bovinos — o maior volume dos últimos três anos — consolidando uma sequência de recordes iniciada em 2022. A cadeia da carne movimentou aproximadamente R\$ 1 trilhão e representou 8,4% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (ABIEC, 2025). Nesse contexto, o país manteve sua posição como maior exportador global em volume, com cerca de 3 milhões de toneladas embarcadas, o equivalente a 18,2% do mercado mundial. A crescente demanda internacional por carne bovina de qualidade, aliada às exigências por práticas sustentáveis, posiciona o bem-estar animal como um componente estratégico da competitividade brasileira.

Em resposta a essas demandas, o setor pecuário tem investido na adoção de boas práticas em toda a cadeia produtiva, com ênfase nas etapas finais — transporte e manejo pré-abate — que influenciam diretamente a qualidade da carcaça e os índices de perdas econômicas (Grandin, 2014a; Gregory, 2008). No manejo pré-abate, os bovinos são expostos a múltiplos estressores — como jejum prolongado, superlotação, viagens longas e manipulação inadequada — que afetam negativamente seu estado fisiológico e comportamental, contribuindo para a formação de hematomas musculares (Garcia et al., 2019; Roldán et al., 2015).

Contusões em carcaças são lesões resultantes de impactos físicos — escorregões, quedas ou choques com superfícies duras — e costumam ocorrer durante o embarque, transporte e permanência nos currais. Embora não sejam visíveis na inspeção *ante mortem*, essas lesões tornam-se evidentes apenas durante o refile, quando são removidas por comprometerem a aparência e segurança do produto final (Grandin, 1997; Strappini et al., 2013b). Esse descarte representa não apenas uma perda de rendimento, mas também um prejuízo direto ao produtor e ao frigorífico, com implicações econômicas consideráveis (Mendes et al., 2024b; Terlouw et al., 2008).

Diversos fatores modulam a ocorrência dessas lesões, incluindo variáveis extrínsecas — como distância percorrida, tempo de jejum e densidade no transporte — e intrínsecas — como sexo e grupo genético. Estudos apontam que fêmeas e bovinos zebuínos apresentam maior suscetibilidade a contusões, em razão de características morfológicas e comportamentais específicas (Strappini et al., 2010a; Zanardi et al., 2022a). Apesar disso, ainda são escassas as investigações em larga escala que avaliem de forma integrada esses fatores.

Nesse cenário, o uso de protocolos de manejo racional tem se mostrado promissor para minimizar os danos causados por práticas convencionais. Um exemplo é o *Hands-Free Handling* (HFH), que dispensa o uso de instrumentos aversivos e baseia-se na linguagem corporal e nos comportamentos naturais dos bovinos para conduzi-los com calma e eficiência. Resultados recentes mostram que o HFH reduz a incidência de contusões, melhora o desempenho operacional e diminui as perdas econômicas durante o abate (Brito et al., 2019; Mendonça et al., 2018; Temple Grandin, 1984). Projeções indicam que sua adoção nacional poderia evitar o descarte de mais de 10,8 mil toneladas de carne por ano, com economia superior a R\$ 186 milhões (ABIEC, 2025; CEPEA, 2024).

Considerando a magnitude das perdas associadas às práticas convencionais de transporte e manejo, bem como a crescente exigência do mercado e da legislação por práticas mais humanitárias, a investigação de estratégias alternativas mostra-se urgente e relevante. Parte-se da hipótese de que as perdas pré-abate, particularmente contusões e descarte de carne, são determinadas em grande parte por fatores intrínsecos e práticas de manejo. Além disso, acredita-se que protocolos racionais de manejo, como o HFH, são capazes de reduzir perdas econômicas, melhorar a integridade da carcaça e contribuir para a sustentabilidade e competitividade da cadeia produtiva da carne.

Dessa forma, o objetivo desta tese de doutorado foi duplo: (1) analisar o impacto de um protocolo racional de manejo (*Hands-Free Handling*) sobre a eficiência operacional, a incidência de lesões, a qualidade da carcaça e as perdas financeiras em bovinos terminados em confinamento; e (2) investigar os efeitos do sexo, grupo genético e distância percorrida sobre a ocorrência de hematomas em carcaças bovinas e as perdas econômicas associadas. Ao integrar essas duas abordagens, esta tese visa fornecer evidências científicas que apoiem melhorias nas práticas pré-abate, promovendo bem-estar animal, qualidade de produto e viabilidade econômica na cadeia da carne bovina.

1. REFERÊNCIAS

- ABIEC. Perfil da pecuária no Brasil. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.abiec.com.br/publicacoes/perfil-da-pecuaria-2025.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2025.
- BRITO, E. F.; SOUSA, L. F.; RAMOS, A. T.; FRANTZ SOUSA, D. M.; PAIVA COSTA, B. M.; FERREIRA, J. L. Pre-slaughtering factors related to bruises on cattle carcasses in the micro-region of Araguaína, Tocantins, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, n. 6, p. 3553–3564, 2019. . Acesso em: 18 jul. 2025.
- CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada.
- GARCIA, J. A. B.; VAZ, R. Z.; VAZ, F. N.; RESTLE, J.; MENDONÇA, F. S. Pre-slaughter factors associated with severe bruising in different primary commercial cuts of bovine carcasses. *Revista Ciência Agronômica*, v. 50, n. 4, p. 681–690, 4 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rca/a/rmN5jXt8KyDrXHrNP9Hzypm/>>. Acesso em: 18 jul. 2025.
- GRANDIN, T. Assessment of Stress during Handling and Transport. *Journal of Animal Science*, v. 75, n. 1, p. 249–257, 1997. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9027573/>>. Acesso em: 18 jul. 2025.
- GRANDIN, T. Animal welfare and society concerns finding the missing link. *Meat Science*, v. 98, n. 3, p. 461–469, 2014. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24928166/>>. Acesso em: 18 jul. 2025.
- GREGORY, N. G. Animal welfare at markets and during transport and slaughter. *Meat Science*, v. 80, n. 1, p. 2–11, set. 2008. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22063164/>>. Acesso em: 18 jul. 2025.
- MENDES, N. da S. R.; SILVA, R. R.; KOMBOLO-NGAH, M.; RIVET, P. P.; TONDUSSE, J.; DE OLIVEIRA, T. F.; CHRIKI, S.; ELLIES-OURY, M. P.; HOCQUETTE, J. F. Does transport affect the eating quality potential of beef from Limousin cows in France? - A case study. *Veterinary and Animal Science*, v. 26, p. 100411, 1 dez. 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451943X24000784>>. Acesso em: 18 jul. 2025.
- MENDONÇA, F. S.; VAZ, R. Z.; CARDOSO, F. F.; RESTLE, J.; VAZ, F. N.; PASCOAL, L. L.; REIMANN, F. A.; BOLIGON, A. A. Pre-slaughtering factors related to bruises on cattle carcasses. *Animal Production Science*, v. 58, n. 2, p. 385–392, 2018. . Acesso em: 18 jul. 2025.
- ROLDÁN, M.; RUIZ, J.; DEL PULGAR, J. S.; PÉREZ-PALACIOS, T.; ANTEQUERA, T. Volatile compound profile of sous-vide cooked lamb loins at different temperature-

time combinations. *Meat Science*, v. 100, p. 52–57, 1 fev. 2015. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25306511/>>. Acesso em: 18 jul. 2025.

STRAPPINI, A. C.; FRANKENA, K.; METZ, J. H. M.; GALLO, B.; KEMP, B. Prevalence and risk factors for bruises in Chilean bovine carcasses. *Meat Science*, v. 86, n. 3, p. 859–864, nov. 2010. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20696532/>>. Acesso em: 18 jul. 2025.

STRAPPINI, A. C.; METZ, J. H. M.; GALLO, C.; FRANKENA, K.; VARGAS, R.; DE FRESLON, I.; KEMP, B. Bruises in culled cows: when, where and how are they inflicted? *Animal*, v. 7, n. 3, p. 485–491, 1 jan. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731112001863>>. Acesso em: 18 jul. 2025.

TEMPLE GRANDIN. Reduce stress of handling to improve productivity of livestock. *Veterinary Medicine and Small Animal Clinician (USA)*, v. 79, n. 0042–4889, p. 827–831, jun. 1984.

TERLOUW, E. M. C.; ARNOULD, C.; AUPERIN, B.; BERRI, C.; LE BIHAN-DUVAL, E.; DEISS, V.; LEFÈVRE, F.; LENSINK, B. J.; MOUNIER, L. Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: current status and possible future research. *Animal*, v. 2, n. 10, p. 1501–1517, 1 jan. 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731108002723>>. Acesso em: 18 jul. 2025.

ZANARDI, E.; DE LUCA, S.; ALBORALI, G. L.; IANIERI, A.; VARRÀ, M. O.; ROMEO, C.; GHIDINI, S. Relationship between Bruises on Carcasses of Beef Cattle and Transport-Related Factors. *Animals*, v. 12, n. 15, 1 ago. 2022. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35953986/>>. Acesso em: 18 jul. 2025.

CAPÍTULO 1

Impact of 'Hands-Free' Rational Handling on Operational Performance,
Carcass Quality, and Economic Losses in Beef Cattle

Impact of 'Hands-Free' Rational Handling on Operational Performance, Carcass Quality, and Economic Losses in Beef Cattle

ABSTRACT

Pre-slaughter handling is a critical factor affecting animal welfare, carcass quality, and economic performance in beef production systems. This study evaluated the impact of a novel low-stress protocol, Hands-Free Handling (HFH), compared to Conventional Handling (CON), on operational efficiency, carcass bruising, and financial losses in feedlot cattle. A total of 715 Nellore heifers were randomly allocated to the two handling treatments. Loading time, incidence and anatomical location of carcass injuries, amount of meat discarded due to bruises and carcass pH were evaluated. Data were analyzed using generalized linear models. HFH significantly reduced loading time by 43%, the incidence of bruising by 7.6%, and meat discard by 61.7% ($P < 0.05$), without affecting carcass yield or pH. Despite improvements, injuries remained a major source of financial loss. Economic modeling based on lesion discard data demonstrated that financial losses per carcass ranged from R\$ 2.40 to R\$ 2.83 for conventional handling (CON), and from R\$ 1.48 to R\$ 1.75 for Hands-Free Handling (HFH). Extrapolating to a slaughterhouse processing 1,200 head per day, the estimated annual loss was R\$ 978,781.05 for CON and R\$ 604,116.36 for HFH, indicating a potential 38% reduction in economic losses when adopting rational handling practices. The results highlight the relevance of rational handling strategies to improve animal welfare, reduce economic losses, and meet societal and market expectations for humane livestock practices.

KEYWORDS: cattle behavior; carcass bruising; low-stress handling; pre-slaughter handling; animal welfare.

1. INTRODUCTION

The handling of cattle from farm to slaughterhouse poses a challenge for breeders and the meat industry due to its direct impact on animal welfare and carcass quality. Stress factors throughout this process generate cumulative effects, compromising the physiological integrity of animals and, consequently, meat quality (Wigham; Butterworth; Wotton, 2018).

Animal welfare has become a strategic factor in livestock production, influencing not only the quality of the final product but also meeting ethical and moral demands of society (Harley et al., 2012; Amos & Sullivan, 2017). Pre-slaughter handling is crucial and directly affected by the attitude of the staff responsible for handling animals on farms. Aggressive practices, such as shouting, using electric prods, pieces of wood, and excessive handling, increase animal fear, hinder their movement, raise stress levels and the risk of accidents, and compromise handling efficiency (Ceballos et al., 2018; Tarazona et al., 2019). Therefore, rational pre-slaughter handling could minimize losses related to the disposal of carcass bruises.

The type of pre-slaughter handling also impacts the occurrence of bruise on carcasses, leading to the condemnation of edible tissues and, thus, affects the profitability and meat quality (Mendonça et al., 2016). During the trimming process, bruises are removed, resulting in wasted cuts and economic losses that vary according to the location and size of the lesions (Huertas, et al., 2015). Lesions may be associated with intrinsic animal characteristics, such as breed, genetics, and sex (Mpakama et al., 2014; Mendonça et al., 2016), and extrinsic factors related to handling. Jardim et al., (2022) observed that good handling practices - such as the use of flags to guide animals, avoiding electric prods, and employing staff trained in animal welfare – resulted in reduced flight distance, lower behavioral reactivity scores, and decreased cortisol concentrations, indicating reduced physiological stress. Understanding the relationship between handling and injury incidence is essential to support strategies that reduce economic losses and improve production efficiency.

A novel approach of rational handling, the Hands-free handling (HFH), emerges as an alternative to reduce stress and improve the relationship between stockpeople and

animals. HFH relies on body language and the inherent instincts of cattle, minimizing physical contact and capitalizing on their gregarious behavior to facilitate their guidance (Grandin, 1984; 1989). This technique employs the "pressure versus relief" principle, respecting the animals' flight zone and promoting more efficient and less aversive interaction.

Therefore, the objective of this study was to test the hypothesis that HFH, compared to conventional handling, reduces pre-slaughter handling time, decreases lesion incidence, and improves revenue from carcass sales.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Location, Data Collection Period and Animals

The experiment was conducted at a commercial farm and slaughterhouse, located 10.6 km apart. A total of 715 Nelore heifers, averaging $369 \text{ kg} \pm 56.73 \text{ kg}$ were randomly allocated to treatments and maintained in a feedlot system for 102 days. The treatments were composed of two pre-slaughter handling groups: conventional (CON) or Hands-free handling (HFH). The project was submitted to and approved by the Ethics Committee on Animal Experimentation (CEEAA) of the Federal University of Bahia (CEEAA Process No. 99/2023).

2.2 Data Collection

Pre-slaughter data included the type of handling (CON or HFH) applied in the farm during animal loading; transport and unloading. Records were obtained through forms developed by researchers in conjunction with those responsible for animal sale from the feedlot to the industry.

The post-slaughter variables presence/absence of bruises, number of occurrence per animal, region of injury (Supplementary Figure 1), weight of the discarded injury, hot carcass weight, pH immediately after and 24 hours after slaughter (Ramos; Gomide, 2007), and carcass weight.

2.3 Animal Handling

Animals were allocated to two treatments: CON (n = 348) and HFH (n = 367). Initial handling involved driving the animals from pens to the corral by three employees on horseback, at a trot. In the corral, animals in the CON treatment were moved between the holding pens by an employee on horseback, while those in HFH were led by an employee on foot, without any tools.

During passage through the cattle chute and scale, the animals in the CON treatment were guided by two employees using flags and pieces of wood, while in the HFH the flags were removed, allowing only the use of body language for guidance. All animals were individually weighed for carcass yield evaluation.

During the loading phase, the animals in the CON treatment were guided by an employee on horseback using electric prods to facilitate accommodation inside the truck. In the HFH treatment, animals were loaded by an employee on foot loading without the use of electric prods, allowing only the use of flags inside the truck. While unloading at the slaughterhouse, the animals in CON were guided with flags, while in HFH the unloading occurred without any handling tools. During the stunning phase, electric prods were used only on animals in the CON treatment.

2.4 Transportation

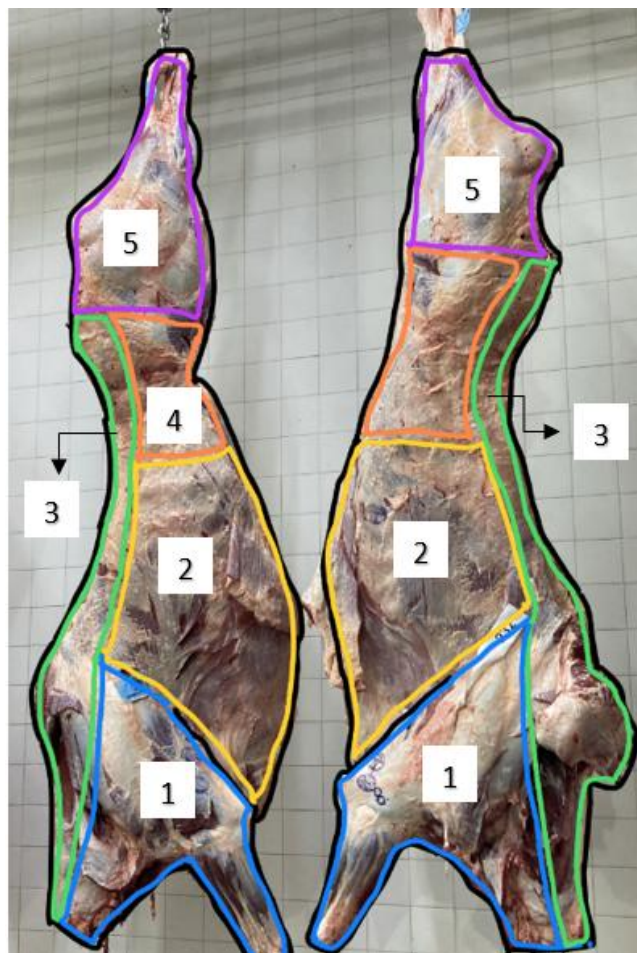
Transportation was evaluated based on the duration of the loading, transit and unloading phases. Loading time was measured from the truck positioning until the gate was closed. Transit time corresponded to the interval between the end of loading and the beginning of the unloading at the slaughterhouse. Unloading time was measured from the opening of the truck until the exit of the last animal. Slaughter was carried out after a 18-hour fasting period, counted from the arrival at the slaughterhouse.

2.5 Bruise evaluation

The occurrence of bruises was defined as a discoloration on the carcass surface due to vascular rupture and accumulation of blood and serum after impact (Capper, 2001). After slaughter, skinning, evisceration, and removal of the head and limbs, carcasses were evaluated between the dirty and clean areas before being split in half. The number and location of bruises were recorded: forequarter, loin, rib, flank, and hindquarter

(Supplementary Figure 1). After the longitudinal splitting of the carcasses, the half-carcasses proceeded to the trimming area, where trimmed meat due to bruises was collected in plastic boxes and weighed on an electronic scale for quantification of losses.

Figure 1 – Carcass regions associated with the occurrence of bruises: forequarter (1), rib (2), loin (3), flank (4), hindquarter (5). Source: Author's collection



2.6 Carcass yield

Carcass yield was calculated from the hot carcass weight relative to the weight of the animals on an electronic scale at the farm, without fasting. Thus, before being loaded for transport to the slaughterhouse, the animals were individually weighed while still on the property. After slaughter, the two half-carcasses of each animal were weighed before chilling, obtaining the hot carcass weight. Carcass yield was then calculated using the following formula: Carcass Yield (%) = (carcass weight / body weight) x 100.

2.7 pH

Carcass pH was measured with a digital pH-meter with a penetration electrode in the *Longissimus dorsi* muscle, at the height between the 12th and 13th ribs, 48 hours after slaughter and according to the slaughterhouse's routine, before the carcasses were sent for deboning.

2.8 Economic evaluations

Economic losses due to discarded lesions were estimated from the weight of trimming meat, divided by the number of carcasses evaluated in each treatment, obtaining an average of kg disposal from bruises per animal. Then, the average cost per animal was calculated by multiplying the value paid to the producer by the average kg of discarded meat (financial loss/animal). The financial loss per slaughter was calculated by multiplying the financial loss/animal by the number of animals slaughtered/day. Monthly and annual losses were calculated accordingly.

2.9 Statistical analysis

Two new variables were created from the data collected in the field; a dichotomous variable called bruise (BRU), and a discrete variable called sum of injuries (SI). The binary variable BRU was created to indicate the presence (value 1) or absence (value 0) of bruises on the carcasses, regardless of the number of lesions. The SI variable, which indicates the total number of injuries, was calculated from the sum of the injuries of each experimental unit and observed in the different parts of the carcass (forequarter, loin, rib, flank, and hindquarter).

Data were analyzed with generalized linear models in a completely randomized design using the R software (R Core Team, 2020). Model choice and the corresponding

error distribution function were chosen based on the Akaike (AIC) criterion. The Gaussian function was used to analyze the variables with Normal distribution (pH, bruise weight, unloading and transport time) and the Gaussian and Gamma functions for the variable boarding time.

Logistic regression models were used to test the effect of handling on the occurrence of bruises (BRU) and the relationship between handling and the number of bruises per body region (forequarter, loin, rib, flank, and hindquarter).

To test the effect of handling on SI, several error distribution functions (Poisson, zero-inflated Poisson and Negative Binomial) for count data were tested to correct dispersion and inflated zeros with the pscl package (Zeileis; Kleiber; Jackman, 2008). For all analyses, significance was declared when $P < 0.05$.

3. RESULTS

3.1 Loading, transportation and unloading

The loading time per animal was shorter in the HFH treatment ($P=0.043$; Table 1), while the transport and unloading time did not show significant differences ($P > 0.05$).

Table 1 - Average time spent during loading, transit and unloading of beef cattle for conventional and rational handling

Variables	CON ¹	HFH ²	SEM ³	<i>P-value</i> ⁴
Number of animals	348	367	-	-
Total transportation time, min	52	41	-	-
Loading, min/animal	14.4	8.89	0.0036	0.043
Transit, min/vehicle	42.0	34.3	4.262	0.083
Unloading, seg/animal	7.36	6.33	0.8770	0.251

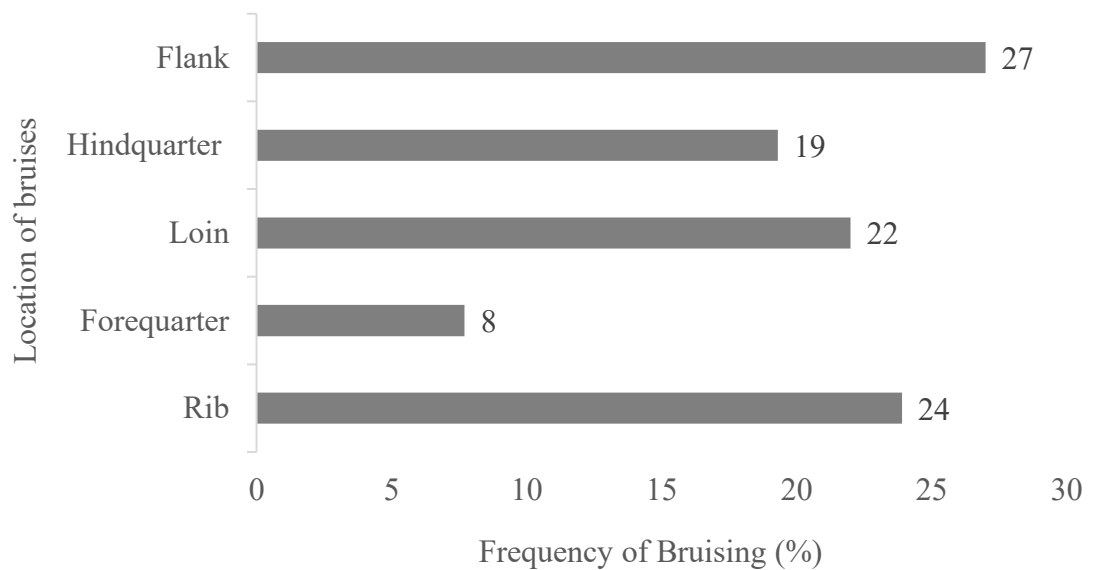
¹CON: Conventional handling; ²HFH: Hands-free handling, a rational handling technique that uses the handler's body positioning as a means of directing and guiding cattle; ³SEM: standard error of the mean; ⁴*P-value*: F test probability

3.2 Injuries

Regardless of the type of pre-slaughter handling used in the 715 carcasses analyzed, the highest percentage of injuries occurred in the flank region (27.0%),

followed by the rib (23.9%), loin (22.0%), hindquarter (19.3%) and forequarter (7.7%; Figure 1). When analyzing the injuries by region and correlating them with the handling used, there was a difference between the regions that most frequently had lesions (Supplementary Figure 2) and, consequently, suffer greater tissue removal during the trimming process. In the HFH, the regions with the highest frequency of occurrence of injuries identified and accounted for were the flank (35.5%), the hindquarter (24.2%), and the rib (22.6%). In the CON treatment, the lesions were concentrated especially in the loin (28.9%) and rib (24.1%) regions, followed by the flank (20.5%).

Figure 2 - Frequency of injuries by anatomical region in animals, regardless of the handling method



Animals submitted to CON handling had a higher probability of developing injuries in the forehead and loin regions (Table 2), compared to HFH. In the forehead region, the risk was 221% higher (OR=3.21; $P=0.003$), while the probability of injury appearing on the loin was 244% (OR=3.44; $P<0.001$). On the other hand, CON handling resulted in a 31% and 20% reduction ($P=0.038$) in the probability of injuries in the flank and hindquarter regions, respectively.

Table 2 - Risk of occurrence of bruises in different areas of the bovine carcass for conventional (CON=1) and rational handling (HFH=0)

Model parameters	β	SE	<i>P</i> -valor	OR	(exp(β)-1) x 100
Hindquarter	-0.223	0.07	0.013	0.80	-20.0
Forequarter	1.165	1.27	0.003	3.21	221
Loin	1.235	0.80	<0.001	3.44	244
Flank	-0.369	0.12	0.038	0.69	-31.0

β : Logistic regression coefficient; SE: Standard error; OR: Odds ratio; HFH: Hands-free handling, a rational handling technique that uses the handler's body positioning as a means of directing and guiding cattle; ⁴*P*: logistic regression probability

The evaluation of the carcasses also included an analysis of the incidence of at least one injury per animal. The proportion of animals with at least one injury was 43.6% for HFH and 51.1% for the CON treatment (Supplementary Figure 3). This difference was significant ($P=0.043$; Table 3); animals submitted to HFH were 26% less likely to develop injuries (OR=0.74) compared to CON.

Table 3 - Risk of injury (yes=1; no=0) in cattle carcasses for conventional (CON=0) and rational handling (HFH=1)

Model parameters	β	SE	<i>P</i>	OR	(exp(β)-1) x 100
Intercept	0.049	0.11	0.668	1.05	5.00
HFH	-0.301	0.11	0.043	0.74	-26.0

β : Logistic regression coefficient; SE: Standard error; OR: Odds Ratios; CON: Conventional handling; HFH: Hands-free handling, a rational handling technique that uses the handler's body positioning as a means of directing and guiding cattle; ⁴*P*: logistic regression probability

Among the animals that exhibited injuries, the number of injuries varied according to the handling system (Supplementary Figure 4). In the HFH group, 65.6% had a single injury, 28.1% had two, and only 3.8% exhibited three injuries. In the CON handling, these proportions were 55.6%, 30.9% and 10.7%, respectively. The HFH protocol reduced by 25% ($P=0.003$; RR=0.75) the risk of incidence of new injuries bovine carcasses (Table 4).

Figure 3 - Comparison of injury occurrence in cattle according to the handling method adopted (Conventional or Hands-Free Handling)

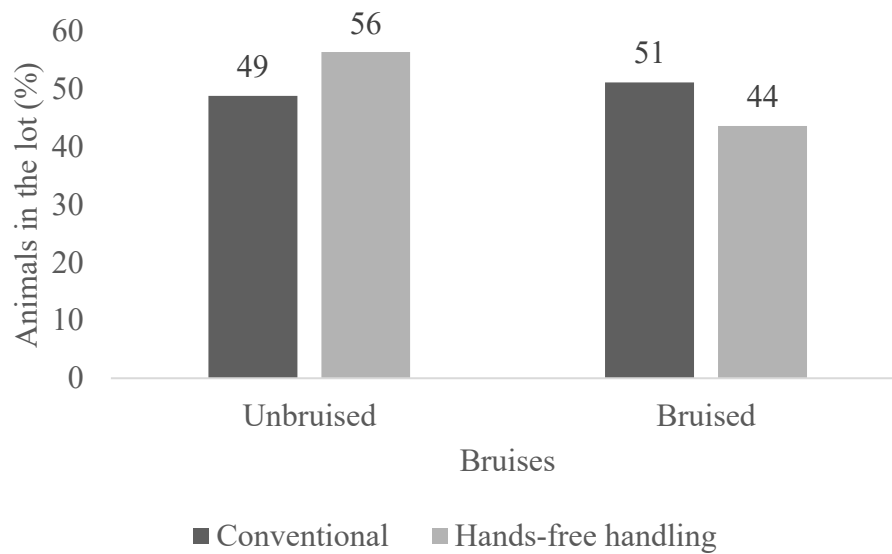


Table 4 - Effect of handling on the total number of injuries found in cattle carcasses for conventional (CON=0) and rational handling (HFH=1)

Model parameters	β	SE	<i>P</i>	RR	$(\exp(\beta)-1) \times 100$
Intercept	-0.186	0.0654	0.005	0.624	-37.6
HFH	-0.286	0.0971	0.003	0.751	-25.0

β : Poisson regression coefficient; SE: Standard error; RR: Relative risk; HFH: Hands-free handling, a rational handling technique that uses the handler's body positioning as a means of directing and guiding cattle; ⁴*P*: Poisson regression probability

When discriminating the lesions by region and correlating them with the handling used, there was a difference between the regions that most frequently had lesions (Figure 5) and, consequently, suffer greater tissue removal during the trimming process. In the HFH, the regions with the highest frequency of occurrence of injuries identified and accounted for (Figure 4) were the flank (35.5%), the hindquarter (24.2%), and the rib (22.6%). In the CON treatment, the lesions were concentrated especially in the loin (28.9%) and rib (24.1%) regions, followed by the flank (20.5%).

Figure 4 - Number of injuries per animal according to the pre-slaughter handling method adopted

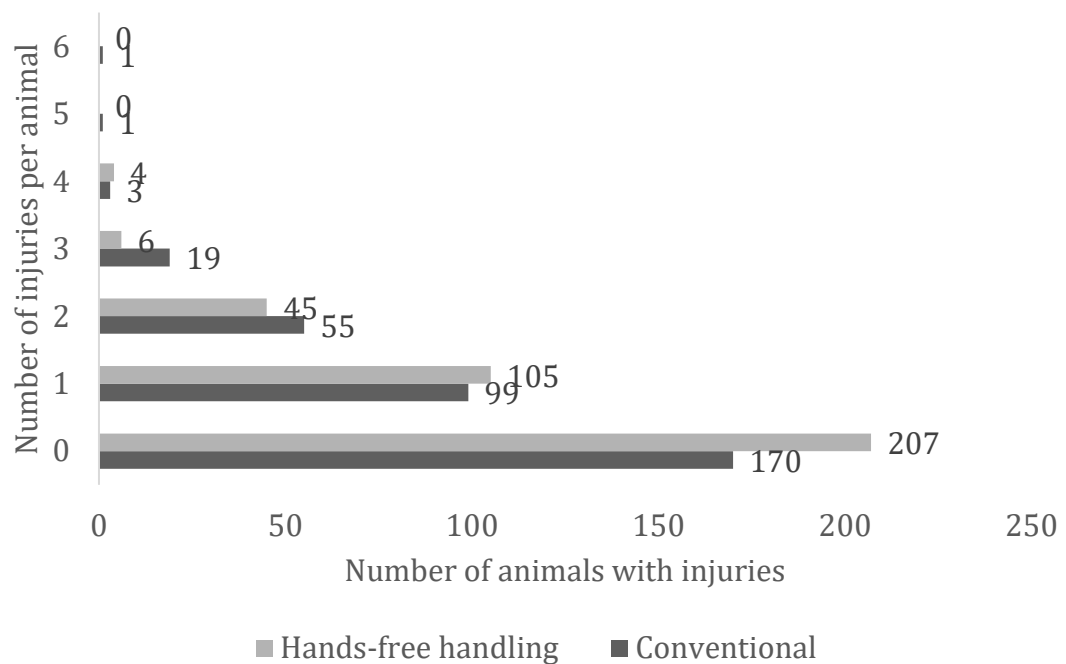
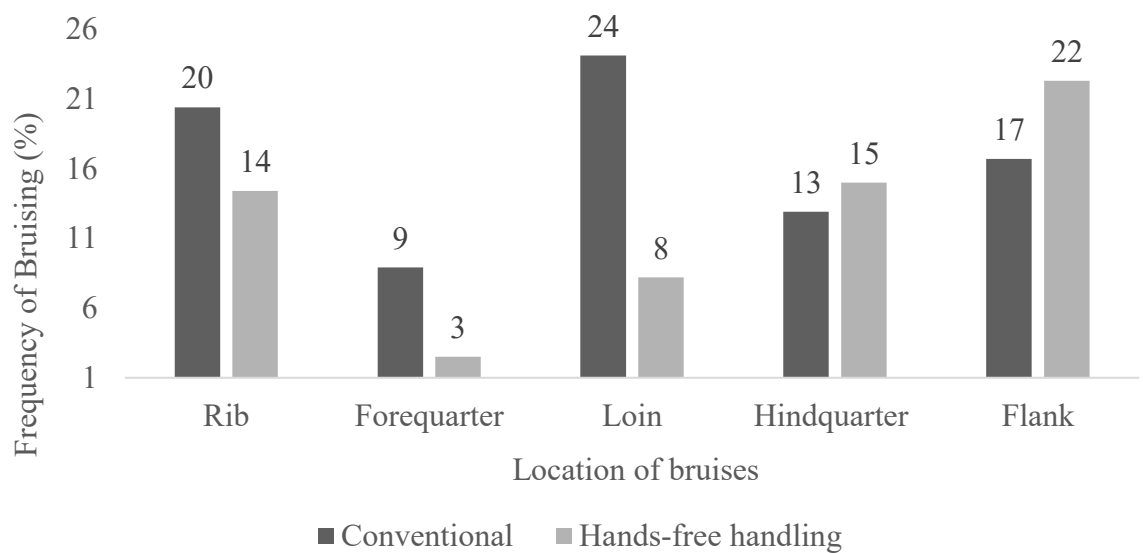


Figure 5 - Frequency of injuries by anatomical region in animals according to the handling method adopted



3.3 Carcass yield and pH

The type of pre-slaughter handling did not modify the carcass yield ($P=0.344$; Table 5) or the pH ($P=0.157$). The average weight of discarded bruises was lower for the HFH protocol ($P=0.005$; Table 5). When considering the average weight per animal, the values were 0.681 and 0.420 kg/animal for CON and HFH protocols, respectively. This result showed a 38.3% increase in partial carcass losses for CON. The live weight of the animals, as well as the hot carcass weight, were similar for both treatments.

Table 5 - Live weight, hot carcass weight, carcass yield and pH for conventional and rational handling

Variables	CON ¹	HFH ²	SEM ³	P ⁴
Live weight (kg)	502.0	467.2	-	-
Hot carcass weight (kg)	275.1	252.5	-	-
Carcass yield (%)	54.78	54.13	0.107	0.344
pH	5.66	5.65	0.007	0.157
Average discarded meat (kg) ⁵	12.3	6.01	1.25	0.006

¹CON: Conventional handling; ²HFH: Hands-free handling, a rational handling technique that uses the handler's body positioning as a means of directing and guiding cattle; ³SEM: standard error of the mean; ⁴P: F test probability; ⁵The weighting of the discarded meat was done in batches with 16 observations/treatment.

3.4 Financial impact

When assessing the economic impact as a function of the handling used (Table 6), the financial loss projection (minimum to maximum) for CON handling were around 692 to 979 thousand, and for HFH, 512 to 604 thousand dollars.

Table 6 -Economic impact assessment of losses due to discarded lesions for conventional and rational handling, considering an average carcass weight of 20 arrobas (@: 15 kg).

	CON ¹		HFH ²	
	Minimum	Maximum	Minimum	Minimum
Values paid for @ ³	R\$ 274.00	R\$ 323.00	R\$ 274.00	R\$ 323.00
Average weight of discarded lesions/animal (kg)	0.681		0.420	
US Dolars (US\$) ⁴				
Average value paid/carcass	1,058.73	1,248.07	1,058.73	1,248.07
Financial loss/carcass	2.40	2.83	1.48	1.75
Financial loss/slaughter/day ⁵	2,882.98	3,398.55	1,779.41	2,097.63
Monthly financial loss	57,659.53	81,565.09	42,705.85	50,343.03
Annual financial loss	691,914.37	978,781.05	512,470.23	604,116.36

¹CON: Conventional handling; ²HFH: Hands-free handling, a rational handling technique that uses the handler's body positioning as a means of directing and guiding cattle; ³Data from CEPEA (2021); ⁴Assumed a slaughterhouse processing 1200 head/day; ⁵Commercial USD exchange rate US\$ 5.1760 (09/07/2021)

4. DISCUSSION

Rational handling focuses on adapting handling practices to meet the behavioral needs of animals, thereby minimizing stress and promoting calmer and more efficient handling (Grandin, 1980; 1984; 1989). The author emphasizes that understanding the animal's natural instincts allows for smoother interaction, reduced aggression, and better handling. The HFH protocol, evaluated in this study, is a technique based on many of these principles, using the handler body language and leveraging the gregarious behavior of cattle to facilitate the movement of the flocks in a more efficient and less aversive way. The HFH respects the animals' flight zone and applies the pressure-release approach, promoting a more efficient and less aversive interaction (Grandin, 1984; 1989). These rational handling practices aim to improve animal well-being, productivity and safety in the handling process.

4.1 Transportation and injuries

Cattle transportation from the farm to the slaughterhouse may benefit from rational handling. During loading, cattle in the HFH group loaded onto the trucks 38% faster (8.9 seconds/animal) than the CON handling (14.4 seconds/animal), with no significant differences in transport and unloading time, as neither group was subjected to

electric shocks. The greater agility observed in the HFH may be associated with the absence of aversive stimuli, such as the electric pole on the boarding ramp and in the accommodation in the truck, reducing fear and stress. Similar results were reported by Huertas et al. (2018), who observed that rational handling methods with flags reduced the unloading time and favored animal welfare.

The 26% decreased chance of occurrence of lesions with HFH suggests that strategies based on cattle's natural instincts and minimizing aversive stimuli may improve carcass quality. These results corroborate with previous studies that associate low-stress handling practices with reduced physical damage and economic losses in the production chain (Grandin, 2014; Gellatly et al., 2020). Additionally, as the number of injuries increases, the probability of an animal being handled by the HFH protocol decreases (Table 4).

In the CON handling, the region most affected by injuries was the loin, possibly due to the impact with the doors of the "guillotine" trucks, aggravated by the lack of training of drivers and stockpeople. The second most compromised area was the rib, where there are cuts of high economic value, resulting in significant losses for the industry. The average weight of discarded injuries per animal was 62.1% higher in CON handling, reinforcing the efficiency of replacing conventional methods with rational handling practices, such as HFH.

In HFH treatment, the most affected region was the flank, with 35.5% of carcasses showing injuries. This region contains noble cuts and, similar to the loin, is susceptible to injuries from truck gates (Huertas et al., 2010). Despite improvements in handling, the persistence of these injuries suggests a need for continuous training of employees, especially drivers responsible for transporting cattle. The percentage of animals with at least one injury (47.3%) observed in that study can be considered relatively low. Huertas, et al. (2015) found that 60.0% had at least one injury. In a subsequent study, the same authors (Huertas et al., 2018) observed that more than 90% of them contained one or more bruises, showing significant variations between production systems. These differences may be associated with different production systems and methodologies for diagnosing and recording injuries, in addition to variations in rearing systems, such as confinement and pasture. Cattle raised in feedlots, for example, tend to have greater

interaction with humans, which may influence their response to handling (Huertas et al., 2010).

4.2 Study limitations

Pre-slaughter handling is just one of several factors influencing the appearance of bruises on cattle carcasses. In addition to the practices adopted on the property, the temperament of the animals also plays a crucial role in the process efficiency (Ceballos et al., 2018; Vaz et al., 2023). Cattle raised in extensive systems, with less human contact, tend to react more intensely to handling, making boarding and transport difficult (Titterington et al., 2022). These authors also highlight that the behavior and posture of workers are fundamental for safety on farms, as experienced and well-trained teams can significantly reduce the risk of injuries.

4.3 Carcass quality

Carcass injuries result from impact against sharp objects, contact with other animals, excessive swaying of trucks, and poor handling practices that promote stress and agitation (Bethancourt-Garcia et al., 2019; Mendonça et al., 2019). In addition, the location of bruises directly impacts the quality of meat cuts.

Carcass quality and the profitability of the production chain are widely recognized since the relationship between pre-slaughter and handling have been established (Broom, 2003). The results from the present study demonstrated a significant reduction ($P=0.003$) in the total number of bruises for the HFH treatment, a novel rational handling protocol, when compared to conventional handling. Most of the injuries found on bovine carcasses are caused by inadequate handling practices. In addition to direct economic losses - such as the removal of parts of the carcass and the decrease in meat quality - there is an impact on animal welfare and worker safety (Grandin, 1990). Thus, improvements in pre-slaughter conditions and handling techniques are fundamental strategies to optimize production results (Paranhos da Costa et al., 2012).

Stressful conditions during pre-slaughter can compromise meat quality, mainly by altering pH, a key indicator of beef shelf life (Mendes et al., 2024a). Despite the evidence on the impact of pre-slaughter handling on meat quality, in the present study no significant differences were observed in carcass pH between handling methods. In addition to pre-

slaughter stress, other factors directly influence meat pH, such as feed, genotype, age, sex, breed and physiological state of the animals (Guerrero et al., 2013).

The weight of bruises represented, on average, 0.17% of carcass weight for the HFH treatment and 0.25% for CON. Although carcass yield is mainly influenced by factors intrinsic to the animal and environmental conditions, the amount of tissue removed during meat trimming due to bruises in the slaughter line was not sufficiently expressive, in relative terms, to significantly impact this variable. However, when considering the total weight of the bruises removed in each treatment, the values were economically relevant when analyzed by lot. Although these losses are not directly reflected in the carcass yield, they significantly impact the producer's profitability.

4.4 Financial impact

The primary determinant of payment from the slaughterhouse to the producer is based on hot carcass weight, the weight of the carcass immediately after slaughter but before refrigeration (Beloni; Alonso, 2017). Practices that minimize trim losses, such as rational handling protocols, have a direct and positive impact on cattle producer profitability.

During the trimming process, bruises are removed, resulting in potential loss of affected cuts and economic losses proportionate to the severity and anatomical position of the bruises (Huertas et al., 2015a).

When analyzing the financial losses associated with the presence of bruises on the carcasses and considering a carcass with an average weight of 20 *arrobas* (@; 15 kg), the average loss was R\$ 13.55 (US\$ 2.62) for CON handling and R\$ 8.36 (US\$ 1.62) for HFH, depending on the amount paid by the slaughterhouse to the producer. For a slaughterhouse with a slaughter capacity of 1,200 head/day, an average daily loss of R\$ 16,256.58 (US\$ 3,140.76) is estimated in CON handling and R\$ 10,033.77 (US\$ 1,938.52) in HFH.

The CON treatment significantly increased the probability of injuries in the rib and loin regions (Table 2), areas of high commercial value. This pattern reinforces the hypothesis that the lack of rational handling on property contributes to injuries in more exposed points during the driving of the animals. Rational handling method in production

systems should be adopted to reduce around 26% the probability of bruises occurring in pre-slaughter handling, as observed in this study for the HFH protocol (Table 3). In addition to meeting international animal welfare requirements, the adoption of low-stress protocols such as HFH is a strategic tool for improving the economic efficiency and reputation of meat products.

Rational handling practices, which respect the natural behaviors of animals, are essential to reduce stress and improve handling efficiency (Canén et al., 2023). Techniques such as the use of flags to lead cattle and minimizing the use of electric sticks, for example, contribute to creating a less aversive environment, respecting the cattle's escape zones and facilitating a calmer and more efficient handling. The adoption of rational handling practices not only reduces stress on animals but also favors a more productive interaction between handlers and cattle, promoting animal welfare and the sustainability of the production system.

5. CONCLUSION

The Hands-free handling method, a novel approach to rational handling, was more efficient in loading animals for slaughter, with a concomitant reduction in both the occurrence and number of carcass bruises. The financial losses associated with the higher number of injuries in conventional handling highlight the need to adopt more humane and efficient handling techniques. Therefore, rational handling not only improves animal welfare but also increases profitability for cattle breeders and slaughterhouses, making it a viable strategy for the sustainability of the beef production chain.

6. REFERENCES

- AMOS, N.; SULLIVAN, R. The Business Benchmark on Farm Animal Welfare 2016 Report. SSRN Electronic Journal, 2017.
- BELONI, T.; ALONSO, M. P. Relationship between the prices of cattle beef and animal negotiated in Cuiabá, MT. *Revista iPecege*, v. 3, n. 2, p. 26–37, 2017.
- BETHANCOURT-GARCIA, J. A.; VAZ, R. Z.; VAZ, F. N.; SILVA, W. B.; PASCOAL, L. L.; MENDONÇA, F. S.; VARA, C. C. da; NUÑEZ, A. J. C.; RESTLE, J. Pre-slaughter factors affecting the incidence of severe bruising in cattle carcasses. *Livestock Science*, v. 222, p. 41–48, 1 abr. 2019.
- CANÉN, , Stella Maris Huertas; GALLO, , Carmen; TADICH, T.; GALINDO, F. Integrating Animal Welfare as a Component of Sustainable Farming Systems. *In: One Welfare Animal Health and Welfare, Food Security and Sustainability*. GB: CABI, 2023. p. 43–61.
- CAPPER, C. The Language of Forensic Medicine: The Meaning of Some Terms Employed. *Medicine, Science and the Law*, v. 41, n. 3, p. 256–259, 1 jul. 2001.
- CEBALLOS, M. C.; SANT'ANNA, A. C.; BOIVIN, X.; COSTA, F. de O.; CARVALHAL, M. V. de L.; PARANHOS DA COSTA, M. J. R. Impact of good practices of handling training on beef cattle welfare and stockpeople attitudes and behaviors. *Livestock Science*, v. 216, p. 24–31, out. 2018.
- GELLATLY, D.; CYRILLO, J. N. S. G.; SANT'ANNA, A. C.; VALENTE, T. S.; SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K.; PARANHOS DA COSTA, M. J. R. Flight speed as an indicator of Zebu cattle growth performance and suitability to the feedlot environment. *Animal Production Science*, v. 60, n. 4, p. 560, 2020.
- GRANDIN, T. Observations of cattle behavior applied to the design of cattle-handling facilities. *Applied Animal Ethology*, v. 6, n. 1, p. 19–31, jan. 1980.
- GRANDIN, T. Reduce stress of handling to improve productivity of livestock [Physiologic reactions]. *Veterinary-Medicine-and-Small-Animal-Clinician (USA)*, v. 79, n. 0042–4889, p. 827–831, jun. 1984.
- GRANDIN, T. Behavioral Principles of Livestock Handling. *The Professional Animal Scientist*, v. 5, n. 2, p. 1–11, dez. 1989.
- GRANDIN, T. Design of loading facilities and holding pens. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 28, n. 1–2, p. 187–201, nov. 1990.
- GRANDIN, T. Animal welfare and society concerns finding the missing link. *Meat Science*, v. 98, n. 3, p. 461–469, nov. 2014.
- GUERRERO, A.; SAÑUDO, C.; ALBERTÍ, P.; RIPOLL, G.; CAMPO, M. M.; OLLETA, J. L.; PANEA, B.; KHLIJI, S.; SANTOLARIA, P. Effect of production system before the

finishing period on carcass, meat and fat qualities of beef. *Animal*, v. 7, n. 12, p. 2063–2072, 2013.

HARLEY, S.; MORE, S.; BOYLE, L.; CONNELL, N. O.; HANLON, A. Good animal welfare makes economic sense: potential of pig abattoir meat inspection as a welfare surveillance tool. *Irish Veterinary Journal*, v. 65, n. 1, p. 11, 27 dez. 2012.

HUERTAS, S.; GIL, A.; PIAGGIO, J.; VAN EERDENBURG, F. Transportation of beef cattle to slaughterhouses and how this relates to animal welfare and carcass bruising in an extensive production system. *Animal Welfare*, v. 19, n. 3, p. 281–285, 1 ago. 2010.

HUERTAS, S. M.; EERDENBURG, F.; GIL, A.; PIAGGIO, J. Prevalence of carcass bruises as an indicator of welfare in beef cattle and the relation to the economic impact. *Veterinary Medicine and Science*, v. 1, n. 1, p. 9–15, 12 jul. 2015a.

HUERTAS, S. M.; KEMPENER, R. E. A. M.; VAN EERDENBURG, F. J. C. M. Relationship between Methods of Loading and Unloading, Carcass Bruising, and Animal Welfare in the Transportation of Extensively Reared Beef Cattle. *Animals*, v. 8, n. 7, p. 119, 17 jul. 2018.

HUERTAS, S. M.; VAN EERDENBURG, F.; GIL, A.; PIAGGIO, J. Prevalence of carcass bruises as an indicator of welfare in beef cattle and the relation to the economic impact. *Veterinary Medicine and Science*, v. 1, n. 1, p. 9–15, 12 jul. 2015b.

JARDIM, C. C.; SILVEIRA, I. D. B.; RESTLE, J.; MENDONÇA, F. S.; BETHANCOURT-GARCIA, J. A.; OLIVEIRA, R. M. de; MOARES, R. E. de; REIS, N. P.; VAZ, R. Z. Effect of good handling on stress indicators and behaviour in beef cattle. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 43, n. 6, p. 2517–2530, 12 dez. 2022.

MENDES, N. da S. R.; SILVA, R. R.; KOMBOLO-NGAH, M.; RIVET, P.-P.; TONDUSSE, J.; DE OLIVEIRA, T. F.; CHRIKI, S.; ELLIES-OURY, M.-P.; HOCQUETTE, J.-F. Does transport affect the eating quality potential of beef from Limousin cows in France? - A case study. *Veterinary and Animal Science*, v. 26, p. 100411, dez. 2024.

MENDONÇA, F. S.; VAZ, R. Z.; LEAL, W. S.; RESTLE, J.; PASCOAL, L. L.; VAZ, M. B.; FARIAS, G. D. Genetic group and horns presence in injuries and economic losses of bovine carcasses. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 37, n. 6, p. 4265, 14 dez. 2016.

MENDONÇA, F. S.; VAZ, R. Z.; VAZ, F. N.; LEAL, W. S.; SILVEIRA, I. D. B.; RESTLE, J.; BOLIGON, A. A.; CARDOSO, F. F. Causes of bruising in carcasses of beef cattle during farm, transport, and slaughterhouse handling in Brazil. *Animal Science Journal*, v. 90, n. 2, p. 288–296, 18 fev. 2019.

MPAKAMA, T.; CHULAYO, A. Y.; MUCHENJE, V. Bruising in Slaughter Cattle and Its Relationship with Creatine Kinase Levels and Beef Quality as Affected by Animal Related Factors. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 27, n. 5, p. 717–725, 22 abr. 2014.

PARANHOS DA COSTA, M. J. R.; HUERTAS, S. M.; GALLO, C.; DALLA COSTA, O. A. Strategies to promote farm animal welfare in Latin America and their effects on carcass and meat quality traits. *Meat Science*, v. 92, n. 3, p. 221–226, nov. 2012.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, 2020.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. de M. Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias. Viçosa: Editora UFV, 2007. v. 1

TARAZONA, A. M.; CEBALLOS, M. C.; BROOM, D. M. Human Relationships with Domestic and Other Animals: One Health, One Welfare, One Biology. *Animals*, v. 10, n. 1, p. 43, 24 dez. 2019.

TITTERINGTON, F. M.; KNOX, R.; MORRISON, S. J.; SHIRALI, M. Behavioural Traits in *Bos taurus* Cattle, Their Heritability, Potential Genetic Markers, and Associations with Production Traits. *Animals*, v. 12, n. 19, p. 2602, 28 set. 2022.

VAZ, R. Z.; DUTRA, M. M. M.; BETHANCOURT-GARCIA, J. A.; PASCOAL, L. L.; VAZ, F. N.; SARTORI, D. B. S.; REIS, N. P.; RESTLE, J. Intrinsic and environmental factors in the pre-slaughter behavior of beef cattle. *Journal of Veterinary Behavior*, v. 63, p. 48–54, maio 2023.

WIGHAM, E. E.; BUTTERWORTH, A.; WOTTON, S. Assessing cattle welfare at slaughter – Why is it important and what challenges are faced? *Meat Science*, v. 145, p. 171–177, nov. 2018.

ZEILEIS, A.; KLEIBER, C.; JACKMAN, S. Regression Models for Count Data in *R*. *Journal of Statistical Software*, v. 27, n. 8, 2008.

CAPÍTULO 2

Ocorrência de hematomas e perdas econômicas em carcaças bovinas: efeito do sexo, raça e distância percorrida até o frigorífico

Ocorrência de hematomas e perdas econômicas em carcaças bovinas: efeito do sexo, raça e distância percorrida até o frigorífico

RESUMO

Este estudo avaliou os efeitos do sexo, grupo genético, sistema de terminação e distância percorrida até o frigorífico sobre a ocorrência de hematomas musculares e as perdas econômicas associadas em bovinos de corte abatidos no estado da Bahia, Brasil. Foram analisados dados de 44.350 animais, distribuídos em 433 lotes. Após o abate, foram registradas as massas de hematomas removidos e calculadas as perdas econômicas com base no valor médio de mercado por quilograma de carcaça. As fêmeas apresentaram média de peso de hematomas significativamente superior em relação aos machos (15,5 e 1,05 kg, respectivamente), com destaque para as fêmeas da raça Nelore, que atingiram até 22,81 kg de carne descartada por animal. A distância de transporte impactou diretamente a ocorrência de lesões, com aumento médio de 0,024 kg de hematomas por quilômetro adicional. As perdas econômicas estimadas alcançaram até R\$ 587,49 por animal em lotes provenientes de distâncias superiores à média. Os resultados apontam para a importância de considerar fatores intrínsecos e extrínsecos aos animais na formulação de protocolos pré-abate, especialmente em relação à gestão de fêmeas zebuínas e ao planejamento logístico do transporte.

Palavras-chave: bem-estar animal; carne bovina; hematomas; perdas econômicas; pré-abate; transporte de bovinos

1. INTRODUÇÃO

O transporte tem se destacado como um dos principais desafios para a preservação do bem-estar animal e a prevenção de perdas econômicas ao longo da cadeia da carne bovina, sendo amplamente reconhecido como uma das fases mais críticas do ciclo produtivo, especialmente durante o pré-abate. Isso ocorre em virtude da exposição dos animais a uma série de fatores estressores que comprometem seu estado físico e psicológico, e influenciam diretamente a qualidade da carcaça (Nielsen et al., 2022; Strappini et al., 2009). Dentre os principais fatores agravantes externos têm-se a superlotação dos veículos, jejum prolongado, ruídos excessivos, movimentação intensa, falta de descanso e a duração prolongada das viagens (Brennecke et al., 2020; Grandin, 2006; Huertas et al., 2015a). Já como fatores intrínsecos temos classe sexual dos animais, o grupo genético, regime nutricional e espessura de gordura subcutânea dos animais (Huerta-Leidenz et al., 2021).

A distância percorrida até o frigorífico um fator que apresenta destaque, pois pode intensificar esses efeitos, aumentando o estresse, aumentando a possibilidade da incidência de escorregões e quedas, promovendo a formação de lesões e hematomas musculares, que podem ser superficiais ou graves, que só se tornam visíveis após o abate (Strappini et al., 2013). As características individuais e intrínsecas dos animais também são de relevância, uma vez que influenciam a suscetibilidade ao estresse e à ocorrência de lesões, visto que diferenças morfológicas, comportamentais e fisiológicas modulam a reatividade à fatores estressantes, como o transporte (Mendonça et al., 2019; Grandin, 2021; Zanardi et al., 2022).

A presença de contusões em carcaças é um indicador objetivo de falhas no manejo pré-abate (Mendonça et al., 2017), geralmente ocorrendo durante o embarque, a viagem, desembarque ou o manejo nos currais de espera, sendo possível serem evidenciadas apenas na inspeção post mortem, quando é necessária a remoção das áreas comprometidas durante o processo da toalete da carcaça (Jarvis et al., 1995). A legislação brasileira prevê o aproveitamento condicional das carcaças quando as lesões estão localizadas e não comprometam o estado geral da carcaça, desta forma, podem ser passíveis de aproveitamento desde que removidas e descartadas adequadamente (Brasil, 2017). Compreende-se, assim que essa prática resulta em perdas financeiras tanto para o

pecuarista quando para a indústria, afetando diretamente a rentabilidade do sistema (Andrade et al., 2008).

Diante das perdas econômicas associadas às contusões e do impacto sobre o bem-estar dos bovinos, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da classe sexual, grupo genético, sistema de terminação e distância percorrida até o frigorífico sobre a ocorrência de hematomas em carcaças bovinas e a quantidade de carne descartada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local, período de coleta de dados e animais

O estudo foi realizado com dados provenientes de propriedades comerciais de bovinos de corte, obtidos em uma planta frigorífica sob inspeção federal, localizada no Estado da Bahia. Foram analisados 433 lotes de bovinos, totalizando 44.350 animais, dos quais 12.196 eram fêmeas e 32.154 machos, com média de 102 animais por lote. Os lotes foram classificados em três grupos genéticos (Tabela 1): Nelore (32,2%), cruzamento Nelore \times Angus (9,4%) e Mistos (58,5%), compostos por mais de 15% de animais cruzados em proporções indefinidas. Os sistemas de produção estavam equilibrados, com 50,1% dos animais provenientes de confinamento e 49,9% de pasto.

As distâncias percorridas do local de origem até o frigorífico variaram amplamente, entre 30 e 1.000 km, permitindo a categorização em diferentes níveis de deslocamento. Considerou-se curta distância aquela inferior a 100 km (ex.: 30 e 47 km), média distância entre 100 e 500 km (ex.: 295, 390 e 510 km) e longa distância acima de 500 km (ex.: 885, 930 e 1.000 km). Essa estratificação foi empregada para avaliar os efeitos do tempo de transporte e do estresse associado sobre a ocorrência de hematomas e perdas econômicas nas carcaças.

Tabela 1- Distribuição dos animais abatidos por sexo, grupo genético e sistema de produção.

Fatores	Total de animais	% do total
Sexo		
Machos	32154	72,50%
Fêmeas	12196	27,50%
Raça		
Nelore	14265	32,20%
Cruzamento (Nelore × Angus)	4152	9,40%
Mistos (indefinidos)	25933	58,50%
Sistema de produção		
Confinamento	22232	50,10%
Pasto	22118	49,90%
Total de animais	44350	100%
Número de lotes	433	—

Amostra composta por 433 lotes abatidos entre janeiro de 2022 e abril de 2025. Apresentam-se os totais absolutos e as respectivas proporções (%).

As variáveis analisadas no presente estudo incluíram: distância percorrida entre a fazenda de origem e o frigorífico (expressa em quilômetros), rendimento de carcaça (em percentagem), peso dos hematomas removidos durante o refile da carcaça (em quilogramas) e perda econômica estimada em função das contusões (expressa em quilogramas de carne descartada e convertida em valores monetários em reais por animal).

Os dados foram obtidos por meio de registros padronizados coletados em campo, com apoio das equipes técnicas da propriedade e da indústria frigorífica. A distância de transporte foi calculada com base em informações logísticas fornecidas pelos responsáveis pelo embarque e transporte dos animais. Após o abate, as carcaças foram inspecionadas quanto à presença de hematomas, e as porções removidas durante o toalete foram pesadas individualmente em balança eletrônica homologada.

Posteriormente ao processo de refile, as carcaças foram pesadas e com o peso corporal final obtido na fazenda imediatamente antes do embarque dos animais, estimou-se o rendimento de carcaça. A estimativa da perda econômica foi calculada por animal, mediante a multiplicação do peso total de carne descartada pelo valor médio pago ao produtor por quilograma de carcaça durante o período avaliado.

2.2 Análise estatística

O delineamento experimental adotado foi delineamento inteiramente casualizado organizado em esquema fatorial 2x3x2 (2 classes sexuais, 3 grupos genéticos e 2 sistemas de terminação).

Inicialmente, foram aplicadas análises estatísticas descritivas com o objetivo de caracterizar a distribuição das contusões e das perdas econômicas associadas, de acordo com os fatores classe sexual, grupo genético, sistema de terminação e distância percorrida até o frigorífico.

Modelos Lineares Generalizados (GLM) com distribuição Gama e função de ligação identidade foram utilizados para a modelagem de variáveis contínuas com distribuição assimétrica, como o peso dos hematomas e as perdas econômicas estimadas por animal. Para testar a presença ou não de hematomas, utilizou-se a regressão logística. Foram testados, de forma independente, os efeitos da classe sexual sobre o peso das contusões, do grupo genético e da distância de transporte na magnitude das perdas. Além disso, foram avaliadas possíveis interações entre classe sexual e distância, bem como grupo genético e distância. Quando pertinente, termos de interação foram incluídos nos modelos para melhor representar a estrutura dos dados. Significância foi declarada a 5%.

3. RESULTADOS

3.1 Rendimento de Carcaça

Observou-se diferença estatística ($P < 0,001$) para o rendimento de carcaça entre as classes sexuais, com os machos apresentando média superior à das fêmeas (54,2 % vs. 49,5 %) (Tabela 2). Essa diferença é confirmada pela ausência de sobreposição entre os intervalos de confiança de 95%: 53,9–54,4 % para machos e 49,1–50,0 % para fêmeas. Quanto ao grupo genético, os animais cruzados (52,2 %), mistos (52,8 %) e Nelore (52,5 %) não apresentaram diferenças significativas ($P > 0,05$).

Já em relação ao sistema de terminação, animais terminados em confinamento apresentaram rendimento de carcaça superior (54,6 %) quando comparados aos terminados a pasto (51,0 %), com diferença significativa ($P < 0,001$) (Tabela 2). Os resultados foram obtidos por modelos GLM com distribuição Gama.

Tabela 2- Rendimento de carcaça, segundo classe sexual, grupo genético e sistema de terminação. Média, desvio padrão, intervalo de confiança (95%), valores mínimo e máximo, número de lotes (n) e valor de P (modelo GLM com distribuição Gama).

Fator	N (lotes)	Rendimento de carcaça (%)	Desvio padrão	IC 95%	Mínimo	Máximo	P- valor ¹
Classe sexual							<0,001
Fêmeas	140	49,5	2,57	49,1–50,0	45,1	55,5	
Machos	293	54,2	2,1	53,9–54,4	47,5	60,4	
Grupo genético							<0,001
Cruzamento	47	52,2	2,9	51,3–53,0	46,1	58,2	
Misto	235	52,8	3,18	52,4–53,1	45,1	60,4	
Nelore	151	52,5	3,1	52,0–53,0	45,2	57,7	
Sistema de terminação							<0,001
Confinado	203	54,6	2,9	54,2–54,9	45,2	60,4	
Pasto	230	51	2,7	50,6–51,3	45,1	58,2	

¹ Valores de P obtidos por regressão logística; diferenças foram consideradas estatisticamente significativas quando $P < 0,05$.

3.2. Peso de Hematomas

Houve efeito significativo da classe sexual sobre o peso dos hematomas musculares removidos durante o refil das carcaças ($P < 0,001$). As fêmeas apresentaram média superior à dos machos (15,15 kg vs. 1,05 kg) (Tabela 3). A diferença é corroborada pelos intervalos de confiança (95%): 10,56–19,73 kg para fêmeas e 0,52–1,58 kg para machos.

Em relação ao grupo genético, verificou-se diferença estatística significativa ($P = 0,003$), com os animais da raça Nelore apresentando maior média (9,43 kg), seguidos pelos cruzados (4,75 kg) e pelo grupo misto (3,32 kg). Já quanto ao sistema de terminação, não foram observadas diferenças significativas entre os animais confinados (6,04 kg) e aqueles terminados a pasto (5,23 kg), com sobreposição entre os intervalos de confiança e valor de P não significativo ($P > 0,05$).

Tabela 3- Peso dos hematomas musculares (kg) em carcaças bovinas, de acordo com classe sexual, grupo genético e sistema de terminação. Resultados do modelo de regressão com distribuição Gama.

Fator	N (lotes)	Peso médio (kg)	IC 95%	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	P- valor ¹
Classe sexual							<0,001
Fêmeas	140	15,15	10,56 – 19,73	27,43	0	186,4	
Machos	293	1,05	0,52 – 1,58	4,64	0	44	
Grupo genético							0,003
Cruzado	47	4,75	2,26 – 7,24	8,48	0	30,9	
Misto	235	3,32	2,02 – 4,62	10,09	0	69,2	
Nelore	151	9,43	5,30 – 13,57	25,7	0	186,4	
Sistema de terminação							Ns
Confinados	203	6,04	3,48 – 8,60	18,5	0	186	
Pasto	230	5,23	3,11 – 7,34	16,3	0	153	

¹ P-valor obtido por modelo de regressão com distribuição Gama e função de ligação log; diferenças consideradas estatisticamente significativas quando $P < 0,05$.

Além da análise do peso dos hematomas, a ocorrência (presença ou ausência) dessas lesões musculares foi avaliada por regressão logística binária. O sexo dos animais influenciou significativamente a probabilidade de ocorrência de hematomas ($p < 0,001$), com maior chance de lesões observada nas fêmeas.

Como mostra a Tabela 4, a razão de chances (OR) para a ocorrência de hematomas em fêmeas foi 14,45 vezes maior do que em machos, representando um aumento de 1.345% na chance de lesões musculares associadas ao manejo pré-abate.

Tabela 4- Efeito do sexo na probabilidade de hematomas em carcaças de bovinos com base na análise de regressão logística.

Model parameters	β	SE	<i>P</i>	OR	$(\exp(\beta)-1) \times 100$
Intercept	1.280	0.143	<0.001	3.59	259.0
Sexo (M - F)	2.670	0.287	<0.001	14.45	1,345.0

β : Coeficiente de regressão logística; SE: Erro padrão; OR: Razão de chances; *P*: Probabilidade de regressão logística; Sexo (M - F): Machos e fêmeas

O sexo também influenciou o peso total de hematomas encontrados nas carcaças ($p = 0,005$) (Tabela 5). De acordo com o modelo linear generalizado com distribuição Gama, fêmeas apresentaram, em média, 14,1 kg a mais de hematomas do que machos ($\beta = -14,1$; SE = 4,98).

Tabela 5- Efeito do sexo sobre o peso total de hematomas (kg) em carcaças bovinas com base em modelo linear generalizado (distribuição Gama)

Model parameters	Estimativa	SE	<i>p</i>	IC 95% Inferior	IC 95% Superior
Intercept	22,4	2,49	<0,001	18,2	28,26
Sexo (M - F)	-14,1	4,98	0,005	-24	-2,96

β : Coeficiente estimado do modelo; SE: Erro padrão; *p*: Valor de significância; IC: Intervalo de confiança; Sexo (M - F): Machos em comparação às fêmeas.

3.3. Grupo genético

A interação entre o sexo e o grupo genético influenciou significativamente o peso dos hematomas nas carcaças bovinas (Tabela 6). Os efeitos mais expressivos foram observados nas fêmeas, com destaque para aquelas do grupo Nelore, que apresentaram a maior média de carne descartada por contusões (22,81 kg), apresentando valores que chegaram a 186,40 kg em um único lote. Fêmeas cruzadas e do grupo misto também apresentaram médias elevadas, de 7,70 kg e 10,36 kg, respectivamente, ambas com significância estatística na regressão linear em função da distância ($P = 0,01$).

Entre os machos, os valores médios foram substancialmente menores: 0 kg para os cruzados, 0,61 kg para os Nelore e 1,37 kg para o grupo misto, sem significância estatística em nenhum dos modelos ($P > 0,05$).

Tabela 6- Peso dos hematomas musculares (kg) em bovinos, conforme a interação entre sexo e grupo genético. Resultados de regressão linear simples com distância percorrida (km) como variável independente.

Grupo genético	N (lotes)	Peso médio (kg)	IC 95%	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	P-valor ¹
Fêmea							
Cruzamento	29	7,70	4,00 – 11,39	9,72	0	30,9	0,01
Nelore	60	22,81	13,29 – 32,34	36,86	0	186,4	<0,001
Misto	51	10,36	5,42 – 15,31	17,58	0	69,2	0,01
Macho							
Cruzamento	18	0	0,00 – 0,00	0	0	0	—
Nelore	91	0,61	-0,13 – 1,34	3,53	0	30,4	Ns
Misto	184	1,37	0,60 – 2,14	5,29	0	44	Ns

¹ P-valores obtidos por modelo de regressão linear simples com distância (km) como variável independente. Diferenças consideradas estatisticamente significativas quando $P < 0,05$.

3.4. Influência da distância percorrida

No modelo de regressão logística múltipla, que considerou simultaneamente o sistema de terminação e a distância de transporte, ambos os fatores apresentaram efeito significativo sobre a probabilidade de ocorrência de contusões ($P < 0,001$) (Tabela 7). Animais terminados a pasto tiveram 88% menos chance de apresentar hematomas em comparação aos terminados em confinamento (OR = 0,12), enquanto a distância se manteve como fator de risco, com redução de 0,6% na chance de ausência de hematomas por quilômetro adicional (OR = 0,994).

Tabela 7- Modelo de regressão logística múltipla avaliando o efeito do sistema de terminação e da distância de transporte na probabilidade de hematomas em carcaças de bovinos.

Parâmetro	β	SE	P	OR	$(\exp(\beta)-1) \times 100$
Intercept	1.889	0.183	<0.001	6.61	561.0
Nutrição (P-C)	-2.122	0.365	<0.001	0.12	-88.0
Distância (km)	-0.0059	0.00076	<0.001	0.994	-0.6

β : Coeficiente de regressão logística; EP: Erro padrão; OR: Razão de chances; P: Probabilidade de regressão logística; Nutrição (P - C): Pastagem comparada ao confinamento.

A regressão logística múltipla (Tabela 8) indicou que o aumento da distância elevou a probabilidade de ocorrência de hematomas nas carcaças ($P < 0,001$), com acréscimo estimado de 0,3% na chance de lesões a cada quilômetro percorrido ($OR = 0,997$). Além disso, a análise que considerou o sexo dos animais demonstrou que os machos apresentaram probabilidade 13,56 vezes maior de apresentar hematomas em relação às fêmeas ($P < 0,001$), o que corresponde a um aumento de 1.256% na chance de ocorrência de lesões. A distância de transporte manteve sua influência negativa sobre a chance de ausência de hematomas, com efeito semelhante ao observado no modelo anterior ($OR = 0,997$).

Tabela 8- Efeito da distância e do sexo na probabilidade de hematomas em carcaças de bovinos com base na análise de regressão logística.

Parâmetros	β	SE	P	OR	$(\exp(\beta)-1) \times 100$
Intercept	1.621	0.182	<0.001	5.06	405.7
Distância	-0.0032	0.0006	<0.001	0.997	-0.3
Sexo (M - F)	2.607	0.304	<0.001	13.56	1,256.0

β : Coeficiente de regressão logística; SE: Erro padrão; OR: Razão de chances; P: Probabilidade de regressão logística; Sexo (M - F): Machos em relação às fêmeas; Distância em quilômetros.

3.5. Interação Sistema de Terminação e Grupo Genético sobre o peso de hematomas

A interação entre o sistema de terminação e o grupo genético também influenciou o peso dos hematomas ($P = 0,012$). Os resultados estão apresentados na Tabela 9. Para animais confinados, as médias mais elevadas foram observadas nos animais da raça Nelore (9,33 kg) e cruzados (8,00 kg), enquanto os mistos apresentaram valores mais baixos (3,12 kg). Entre os terminados a pasto, os animais Nelore mantiveram médias altas (9,54 kg), seguidos pelos mistos (3,48 kg) e cruzados (0,72 kg), com diferenças estatisticamente significativas em alguns casos.

Tabela 9- Peso dos hematomas musculares (kg) em bovinos de corte conforme a interação entre grupo genético e sistema de terminação.

Sistema de Terminação	Grupo Genético	N (lotes)	Peso médio (kg)	IC 95%	DP	Mínimo	Máximo	P-valor ¹
Confinamento	Cruzado	26	8,00	3,99 – 12,02	9,94	0	30,9	0,023
	Misto	102	3,12	1,23 – 5,00	9,61	0	69,2	0,045
	Nelore	75	9,33	3,03 – 15,63	27,39	0	186,4	<0,001
Pasto	Cruzado	21	0,72	-0,78 – 2,22	3,30	0	15,1	ns
	Misto	133	3,48	1,68 – 5,27	10,47	0	66,6	0,037
	Nelore	76	9,54	4,03 – 15,04	24,11	0	152,8	<0,001

¹ P-valores obtidos por modelo GLM com distância como covariável, considerando o grupo genético dentro de cada sistema de terminação. Diferenças consideradas estatisticamente significativas quando $P < 0,05$; ns = não significativo.

O sistema de terminação, por outro lado, não influenciou significativamente a ocorrência de contusões quando avaliado de forma isolada ($P = 0,363$) (Tabela 10). A análise de regressão logística indicou que bovinos terminados a pasto apresentaram 24% mais chance de apresentarem hematomas do que aqueles terminados em confinamento, mas essa diferença não foi estatisticamente significativa. Isso sugere que, embora o manejo nutricional possa exercer alguma influência no risco de contusões, ele não é, por si só, um preditor robusto sem considerar outros fatores, como genética, sexo e distância de transporte.

Tabela 10- Efeito do sistema de terminação na probabilidade de hematomas em carcaças de bovinos com base na análise de regressão logística.

Model parameters	β	SE	P	OR	$(\exp(\beta)-1) \times 100$
Intercept	1.307	0.118	<0.001	3.69	269.0
Terminação (P-C)	0.214	0.235	0.363	1.24	24.0

β : Coeficiente de regressão logística; SE: Erro padrão; OR: Razão de chance; P: Probabilidade de regressão logística; Nutrição (P - C): Pasto comparado ao confinamento.

3.6 Perdas econômicas estimadas

As perdas econômicas médias por hematomas musculares nas carcaças bovinas variaram significativamente entre as diferentes categorias sexuais, grupos genéticos e sistemas de terminação (Tabela 11). As fêmeas apresentaram maior média de carne descartada por hematomas, totalizando 15,15 kg por animal, o que corresponde a uma perda econômica média de R\$ 283,51. Entre os machos, a média foi de 1,05 kg por animal, resultando em R\$ 19,64 de perda por cabeça. Em relação ao grupo genético, animais da raça Nelore apresentaram as maiores perdas médias (9,43 kg; R\$ 176,48), seguidos pelos cruzados (4,75 kg; R\$ 88,37) e pelos animais de grupo genético misto (3,32 kg; R\$ 62,15). Quanto ao sistema de terminação, as carcaças de animais oriundos de confinamento apresentaram média de 6,04 kg de hematomas (R\$ 113,07), enquanto os terminados a pasto apresentaram 5,23 kg (R\$ 97,86).

Tabela 11- Estimativas de perdas econômicas por hematomas musculares em bovinos, segundo sexo, grupo genético, sistema de terminação e distância percorrida.

Fator	Categoria	Peso médio de hematomas (kg)	Valor médio da perda (R\$)¹
Sexo	Machos	1,05	R\$ 19,64
	Fêmeas	15,15	R\$ 283,51
Grupo genético	Cruzado	4,75	R\$ 88,37
	Misto	3,32	R\$ 62,15
	Nelore	9,43	R\$ 176,48
Sistema de produção	Confinamento	6,04	R\$ 113,07
	Pasto	5,23	R\$ 97,86

¹ Valores calculados com base na massa média de hematomas observada por categoria e no valor de mercado da arroba bovina (R\$ 280,61/@; equivalente a R\$ 18,71/kg), conforme média CEPEA entre janeiro de 2022 e abril de 2025. As análises econômicas não foram submetidas à inferência estatística e têm caráter descritivo.

Não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas de terminação ($P > 0,05$) (Tabela 11). Animais terminados em confinamento apresentaram média de 6,04 kg, e os terminados a pasto, 5,23 kg, com sobreposição entre os intervalos de confiança.

A variável distância percorrida até o frigorífico também influenciou as perdas por hematomas (Tabela 12). Lotes oriundos de propriedades localizadas abaixo da distância média percorrida apresentaram média de 21,0 kg de carne descartada por hematomas, o que corresponde a R\$ 392,91 por animal. Já aqueles transportados por distâncias superiores à média apresentaram média de 31,4 kg de hematomas (R\$ 587,49 por animal). Adicionalmente, a análise de regressão indicou que a cada quilômetro adicional de transporte, estima-se um acréscimo de 0,024 kg na massa de hematomas, o que representa um aumento de R\$ 0,45 na perda econômica por animal.

Tabela 12- Estimativa do impacto da distância percorrida no transporte sobre as perdas econômicas por animal.

Distância percorrida	Peso médio de hematomas (kg)	Perda média por animal (R\$)
Distância < média (curta)	21,000	R\$ 392,91
Distância > média (longa)	31,400	R\$ 587,49
A cada km adicional	0,024	R\$ 0,45

Estimativas baseadas na massa média de hematomas observada por animal conforme a distância percorrida até o frigorífico, classificada em abaixo ou acima da média geral.

A perda econômica foi calculada multiplicando-se o peso médio de hematomas pelo valor de R\$ 18,71/kg (equivalente a R\$ 280,61/@), com base na média de preços CEPEA para o período de janeiro de 2022 a abril de 2025. A estimativa de acréscimo de 0,024 kg por quilômetro adicional foi obtida por meio de modelo de regressão linear simples.

4. DISCUSSÃO

O rendimento de carcaça foi significativamente influenciado pela classe sexual dos animais. Machos apresentaram rendimento médio superior ao das fêmeas (54,2 kg vs. 49,5 kg; $P < 0,001$), o que era esperado em função do maior desenvolvimento muscular e da menor deposição de gordura em machos inteiros — características que favorecem uma maior proporção de tecidos nobres na carcaça (Tabela 2). Resultados semelhantes foram reportados por Yuksel et al. (2024), que observaram maiores rendimentos e melhor conformação em machos, associando esse desempenho à ação da testosterona sobre o crescimento muscular e à menor deposição de gordura subcutânea. Essa diferença entre sexos é amplamente reconhecida na literatura e atribuída ao efeito dos hormônios sexuais

sobre o crescimento dos tecidos, especialmente a testosterona, que estimula a deposição de massa magra (Tan; Jiang, 2024).

Por outro lado, o grupo genético não exerceu influência estatisticamente significativa sobre o rendimento de carcaça ($P > 0,05$) (Tabela 2). Embora animais mestiços e cruzados com Angus sejam frequentemente associados a melhor qualidade de carne e desempenho produtivo, neste estudo as médias foram bastante próximas entre os grupos avaliados (variação entre 52,2 kg e 52,8 kg). Isso sugere que fatores como manejo alimentar, idade ao abate e tipo de terminação podem ter exercido maior influência do que a composição genética isoladamente. Resultados similares também foram observados por Maciel et al., (2021) que relataram maior impacto do sistema de terminação sobre o desempenho e as características de carcaça em comparação ao genótipo dos animais. Vale destacar que a predominância de machos nos grupos cruzados e mistos pode ter contribuído para nivelar os rendimentos entre os grupos (Bonilha et al., 2007)

O sistema de terminação demonstrou efeito significativo sobre o rendimento de carcaça, com animais terminados em confinamento apresentando média significativamente maior (54,6 %) do que aqueles terminados a pasto (51,0 %; $P < 0,001$) (Tabela 2). Esse resultado reforça a eficiência do confinamento em promover maior ganho de peso e deposição de tecidos comercialmente valiosos, devido à maior oferta de energia e proteína, além do menor gasto energético com locomoção. De fato, Fruet et al. (2019) observaram que bovinos terminados em confinamento apresentaram ganho médio diário, peso de carcaça quente e rendimento superiores comparados aos terminados em pasto, sobretudo em função de dietas com maior densidade nutricional.

A eficiência alimentar e deposição de músculo também foram favorecidas por efeitos observados independentemente do grupo genético (Doyle et al., 2023; Maciel et al., 2021), reforçando a vantagem do confinamento no desempenho final da carcaça. De forma geral, os dados indicam que o rendimento de carcaça responde de maneira mais significativa às diferenças de sexo e sistema de terminação do que às variações genéticas entre os grupos avaliados.

Houve diferença estatística no peso de hematomas em função da classe sexual, com médias muito superiores nas fêmeas em comparação aos machos (15,15 kg vs. 1,05 kg; $P < 0,001$) (Tabela 3). Além disso, os intervalos de confiança de 95% não se

sobrepuseram, reforçando a diferença observada. Esses achados corroboram com estudos anteriores que indicam maior ocorrência e severidade de contusões em fêmeas, possivelmente devido à maior reatividade ao manejo e ao estresse pré-abate (Grandin, 2014; Strappini et al., 2010). Em bovinos, esse comportamento mais reativo pode resultar em maior incidência de quedas, escorregões e impactos contra superfícies duras, aumentando o risco de hematomas visíveis na carcaça (Strappini et al., 2010).

Quanto ao grupo genético, foram observadas diferenças estatísticas ($P = 0,003$), com os animais da raça Nelore apresentando maiores valores médios de hematomas (9,43 kg), seguidos pelos cruzados (4,75 kg) e pelo grupo genético misto (3,32 kg) (Tabela 3). A maior incidência de hematomas em Nelore pode estar relacionada a características comportamentais e morfológicas típicas das raças zebuínas, como temperamento mais agitado, maior frequência de chifres e menor espessura de gordura subcutânea, que aumentam a vulnerabilidade a lesões durante o transporte (S. Huertas et al., 2010; Sánchez et al., 2022).

Além disso, a menor docilidade e maior reatividade ao manejo, especialmente em sistemas a pasto com menor contato humano, contribuem para uma maior susceptibilidade ao estresse pré-abate e às contusões. Por outro lado, no confinamento, a homogeneização ambiental e o maior controle no manejo parecem reduzir essas diferenças, como indicado pela menor variação entre grupos genéticos nesse sistema. A adaptabilidade e a frequência do contato humano são, portanto, variáveis importantes na modulação da resposta ao estresse em diferentes sistemas de terminação (Grandin, 2014).

O sistema de terminação, por sua vez, não influenciou significativamente o peso dos hematomas ($P > 0,05$), com valores médios semelhantes entre animais terminados em confinamento (6,04 kg) e a pasto (5,23 kg) (Tabela 3). Isso sugere que, embora o sistema possa afetar características como acabamento e rendimento, a ocorrência de lesões traumáticas está mais relacionada às etapas finais do pré-abate — como embarque, transporte e desembarque — independentemente do sistema de terminação (Huertas et al., 2015; Mendonça et al., 2019).

A interação entre grupo genético e classe sexual apresentou efeito significativo sobre o peso dos hematomas nas carcaças bovinas (Tabela 6). Em todos os grupos genéticos avaliados, as fêmeas apresentaram médias superiores às dos machos, indicando

uma tendência consistente de maior suscetibilidade às contusões entre os animais do sexo feminino. Esse padrão é coerente com dados previamente descritos na literatura, que apontam maior reatividade comportamental e menor cobertura de gordura subcutânea nas fêmeas — fatores que aumentam o risco de lesões traumáticas durante o transporte e o manejo pré-abate (Zanardi et al., 2022b).

No grupo de animais cruzados, as fêmeas apresentaram média de 7,70 kg de hematomas, enquanto os machos não apresentaram qualquer lesão, com diferença estatisticamente significativa ($P = 0,01$). Essa ausência total de hematomas nos machos cruzados pode estar relacionada ao fato de que, nesse grupo, os animais eram predominantemente jovens, de menor peso corporal e submetidos a embarque em menor densidade — fatores que reduzem o risco de impactos físicos durante o transporte (Vaz et al., 2023a).

Entre os animais do grupo genético misto, observou-se diferença significativa entre os sexos, com médias de 10,36 kg para fêmeas e 1,37 kg para machos ($P = 0,01$). Esse resultado reforça a influência do sexo sobre a ocorrência de hematomas, mesmo em grupos geneticamente heterogêneos. Esses achados corroboram as observações de Sánchez et al. (2022), que avaliaram a prevalência e severidade de hematomas em bovinos durante o transporte e pré-abate, identificando que fêmeas apresentam maior incidência de contusões em comparação a machos, independentemente do grupo genético. Os autores atribuíram essa diferença não só a fatores fisiológicos, como menor cobertura de gordura e maior reatividade comportamental, mas também a fatores relacionados ao manejo, como maior hesitação no embarque e resistência ao toque, o que aumenta a probabilidade de empurrões e quedas.

No grupo Nelore, a diferença entre fêmeas e machos foi ainda mais acentuada: as fêmeas apresentaram média de 22,81 kg de hematomas — o maior valor entre todos os subgrupos avaliados —, enquanto os machos registraram apenas 0,61 kg ($P < 0,001$). Essa discrepância pode estar relacionada ao temperamento tipicamente mais reativo da raça zebuína, como maior excitabilidade, menor docilidade e maior sensibilidade ao toque, especialmente em fêmeas adultas ou vacas de descarte. Estudos mostram que bovinos Nelore com temperamento mais reativo apresentam maior liberação de cortisol, maior

movimentação durante o manejo e maior propensão a lesões traumáticas no pré-abate (Francisco et al., 2015).

Em conjunto, os resultados sugerem que a classe sexual modifica significativamente o impacto do grupo genético sobre o risco de hematomas, com destaque para a vulnerabilidade das fêmeas da raça Nelore. Esse achado é relevante para o planejamento de manejos diferenciados, indicando que animais de maior risco — como fêmeas zebuínas — devem ser submetidos a protocolos específicos de embarque e transporte, com o objetivo de reduzir as perdas econômicas associadas às contusões e ao descarte de cortes nobres.

A distância entre a fazenda de origem e o frigorífico exerceu influência direta sobre a severidade das contusões observadas nas carcaças. A análise logística indicou que, com o aumento da distância, houve redução significativa na chance de ausência de hematomas ($P < 0,001$), evidenciando o transporte prolongado como um fator de risco crítico. De acordo com o modelo de regressão linear, cada quilômetro adicional resultou em um incremento de 0,024 kg no peso de hematomas por animal ($P = 0,001$), demonstrando um efeito cumulativo da distância sobre o descarte de carne. Lotes transportados por distâncias inferiores à média apresentaram peso médio de hematomas de 21,0 kg, enquanto os transportados por distâncias superiores à média alcançaram 31,4 kg.

Huerta-Leidenz et al. (2021) evidenciaram que distâncias superiores à 300 km estão associadas à maior incidência de hematomas, devido à exposição prolongada às vibrações do veículo, variações térmicas, jejum prolongado e fadiga muscular. O transporte prolongado favorece lesões repetitivas e aumenta a frequência de quedas e escorregões, especialmente em pisos metálicos sem antiderrapante, comprometendo a integridade muscular. Mendonça et al. (2019) também confirmaram essa associação em estudo com mais de 4.600 carcaças, demonstrando que maior distância percorrida e maior densidade de carga elevam significativamente a ocorrência de contusões. Schwartzkopf-Genswein et al., (2012), apontaram que viagens longas intensificam o estresse térmico e físico, resultando em qualidade inferior da carcaça, incluindo maior número de hematomas.

Nielsen et al., (2022) investigaram os efeitos do transporte prolongado sobre o bem-estar e a integridade física de bovinos, identificando que distâncias superiores a 300 km estão associadas a um aumento significativo na incidência de lesões traumáticas, devido ao maior estresse térmico, fadiga muscular e micro traumas acumulados durante a viagem. Esses achados corroboram os resultados do presente estudo, que evidenciam a influência direta da distância percorrida sobre a severidade dos hematomas. Tal evidência reforça a necessidade de revisão das práticas logísticas e de embarque, principalmente em regiões onde há grandes distâncias entre propriedades produtoras e frigoríficos, sugerindo a adoção de medidas como pausas programadas e redução da densidade nos caminhões para mitigar os impactos negativos do transporte.

A análise multivariada evidenciou que os efeitos da distância de transporte são modulados por variáveis como classe sexual e grupo genético, indicando que o impacto da distância foi significativamente maior sobre as fêmeas do que sobre os machos ($P = 0,003$). Em viagens mais longas, observou-se um aumento expressivo no peso dos hematomas entre as fêmeas, ao passo que nos machos esse acréscimo foi modesto. Esses resultados reforçam evidências de que as fêmeas apresentam menor resiliência fisiológica e comportamental ao estresse prolongado do transporte, devido à maior sensibilidade à dor e menor resistência metabólica, especialmente entre vacas de descarte ou novilhas não adaptadas ao manejo intensivo (Zanardi et al., 2022b).

De forma semelhante, a interação entre grupo genético e distância também foi estatisticamente significativa ($P < 0,001$), com destaque para os animais da raça Nelore, que apresentaram os maiores incrementos no peso dos hematomas à medida que a distância aumentava. Isso pode estar relacionado a características comportamentais típicas da raça, como maior excitabilidade, menor docilidade e propensão à reação de fuga em situações de estresse, o que eleva a ocorrência de impactos contra paredes, divisórias ou outros animais durante o transporte (Sánchez et al., 2022)

Esses dados reforçam que o manejo pré-abate não deve ser uniforme entre categorias de animais. A interação entre fatores genéticos, fisiológicos e ambientais precisa ser considerada na formulação de protocolos de transporte adaptados, especialmente para fêmeas e para animais de genética zebuína. Práticas como aumento do espaço disponível nos caminhões, embarque em horários mais amenos e priorização

de rotas mais curtas para grupos vulneráveis podem contribuir para a redução de perdas econômicas e para a melhoria do bem-estar animal.

Vale salientar que para além das características genéticas e do sistema de terminação, o manejo reprodutivo anterior ao abate das fêmeas pode influenciar a suscetibilidade dos animais a lesões durante o transporte e pré-abate. Vacas recém-apartadas dos bezerros, prenhes ou vazias apresentam diferentes níveis de estresse fisiológico e comportamental, o que afeta sua reação ao manejo. Essa variabilidade individual influencia a resposta a estímulos durante o transporte e o pré-abate, aumentando o risco de quedas e contusões em determinadas condições (Gous, 2010).

Vacas prenhes, por exemplo, podem apresentar limitações físicas e maior sensibilidade ao estresse — devido à carga uterina, mobilização energética aumentada e alterações no metabolismo e temperatura corporal durante viagens — impactando a resposta motora e o manejo (Littlejohn et al., 2020). Portanto, a condição reprodutiva prévia pode ser uma variável importante a considerar na avaliação do risco de hematomas e perdas econômicas associadas ao transporte e pré-abate, embora essa influência ainda careça de estudos específicos em sistemas comerciais.

As perdas econômicas decorrentes da presença de hematomas em carcaças bovinas demonstraram forte associação com o sexo dos animais, sendo observadas médias significativamente superiores em fêmeas (15,15 kg; R\$ 283,51) em comparação aos machos (1,05 kg; R\$ 19,64). Esse resultado corrobora estudos prévios que apontam maior suscetibilidade das fêmeas à ocorrência de lesões traumáticas durante o manejo pré-abate, especialmente em razão de características fisiológicas, como menor espessura de gordura subcutânea, e comportamentais, como maior reatividade ao estresse (Mendonça et al., 2019; Davis et al., 2024). Além disso, fêmeas adultas ou vacas de descarte apresentam, frequentemente, maior desgaste físico, o que compromete a locomoção e eleva o risco de escorregões, quedas e impactos durante o transporte (Strappini et al., 2013a).

Em relação ao grupo genético, bovinos da raça Nelore apresentaram maior média de carne descartada por hematomas (9,43 kg; R\$ 176,48), seguidos pelos animais cruzados (4,75 kg; R\$ 88,37) e os de grupo misto (3,32 kg; R\$ 62,15). A maior incidência de lesões nos animais zebuínos é consistente com a literatura e pode ser atribuída a fatores

como maior excitabilidade, menor docilidade e conformação corporal menos protegida por gordura, o que aumenta a predisposição a contusões em condições adversas de manejo (Huertas et al., 2010; Strappini et al., 2010b). Embora o sistema de terminação não tenha apresentado efeito estatisticamente significativo sobre a ocorrência de hematomas, as perdas econômicas foram numericamente superiores nos animais provenientes de confinamento (R\$ 113,07) em relação aos terminados a pasto (R\$ 97,86), possivelmente devido à menor adaptabilidade dos animais confinados ao transporte e à movimentação em grupo em currais e corredores (Mendonça et al., 2016).

A variável distância percorrida até o frigorífico também apresentou impacto expressivo sobre a severidade das lesões e os prejuízos econômicos associados. Carcaças provenientes de lotes submetidos a viagens longas ($>$ média) apresentaram, em média, 31,4 kg de hematomas (R\$ 587,49), enquanto lotes transportados por distâncias curtas ($<$ média) resultaram em 21,0 kg de carne descartada (R\$ 392,91). Adicionalmente, os dados de regressão indicaram que a cada quilômetro adicional de transporte, ocorre um acréscimo estimado de 0,024 kg em hematomas por animal, equivalente a um aumento de R\$ 0,45 por quilômetro.

Tais resultados corroboram os achados de Davis et al., (2024), que observaram maior incidência de hematomas em carcaças de bovinos Nelore transportados por distâncias superiores a 200 km. O prolongamento do tempo de transporte está associado a maior fadiga muscular, jejum prolongado e maior exposição a micro traumas acumulativos, resultando em deterioração do bem-estar animal e perdas econômicas relevantes (Nielsen et al., 2022).

Em trajetos mais longos, as fêmeas apresentaram aumentos expressivos na massa de carne removida por hematomas, enquanto, nos machos, o acréscimo foi discreto. Esses resultados sugerem menor resiliência fisiológica e comportamental das fêmeas ao estresse associado ao transporte prolongado.

De forma semelhante, a interação entre grupo genético e distância também foi estatisticamente significativa ($P < 0,001$). Carcaças de animais da raça Nelore apresentaram maior incremento no peso dos hematomas com o aumento da distância, em comparação aos animais cruzados e mistos. Essas diferenças podem estar associadas a características genéticas, morfológicas e comportamentais específicas da raça Nelore,

como maior reatividade, menor espessura de gordura subcutânea e menor tolerância ao manejo pré-abate.

5. CONCLUSÃO

A ocorrência de hematomas em carcaças bovinas foi influenciada principalmente pelo sexo, grupo genético e distância percorrida até o frigorífico. Fêmeas, sobretudo do grupo Nelore, apresentaram maior predisposição às lesões, enquanto o aumento da distância de transporte elevou progressivamente as perdas por descarte de carne. Estimou-se impacto econômico superior a R\$ 580,00 por animal em cenários de longos deslocamentos. Esses resultados reforçam a necessidade de estratégias específicas para categorias mais suscetíveis e de melhorias na logística e no manejo pré-abate, a fim de reduzir perdas econômicas e promover maior bem-estar animal.

6. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. N. de; SILVA, R. A. M. S.; ROÇA, R. de O.; SILVA, L. A. C. da; GONÇALVES, H. C.; PINHEIRO, R. S. B. Ocorrência de lesões em carcaças de bovinos de corte no Pantanal em função do transporte. *Ciência Rural*, v. 38, n. 7, p. 1991–1996, out. 2008.
- BONILHA, S. F. M.; PACKER, I. U.; FIGUEIREDO, L. A. de; ALLEONI, G. F.; RESENDE, F. D. de; RAZOOK, A. G. Efeitos da seleção para peso pós-desmame sobre características de carcaça e rendimento de cortes cárneos comerciais de bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 5, p. 1275–1281, out. 2007.
- BRENNECKE, K.; ZEFERINO, C. P.; SOARES, V. E.; ORLANDI, C. M. B.; BERTIPAGLIA, L. M. A.; SGAVIOLI, S.; DIAN, P. H. M.; AMÂNCIO, W. D. C. Welfare during pre-slaughter handling and carcass lesions of beef cattle submitted to different loading densities. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v. 40, n. 12, p. 985–991, dez. 2020.
- DAVIS, M. K.; SULLIVAN, P. A.; HESS, A. M.; NAIR, M. N.; MOONEY, D. F.; EDWARDS-CALLAWAY, L. N. Benchmarking current preslaughter management factors, welfare indicators, and meat quality outcomes at commercial fed cattle processing facilities in the United States. *Translational Animal Science*, v. 8, 1 jan. 2024.
- DOYLE, P.; O’RIORDAN, E. G.; MCGEE, M.; CROSSON, P.; KELLY, A. K.; MOLONEY, A. Temperate pasture- or concentrate-beef production systems: steer performance, meat nutritional value, land-use, food–feed competition, economic and environmental sustainability. *The Journal of Agricultural Science*, v. 161, n. 5, p. 704–719, 29 out. 2023.
- FRANCISCO, C. L.; RESENDE, F. D.; BENATTI, J. M. B.; CASTILHOS, A. M.; COOKE, R. F.; JORGE, A. M. Impacts of temperament on Nellore cattle: physiological responses, feedlot performance, and carcass characteristics¹. *Journal of Animal Science*, v. 93, n. 11, p. 5419–5429, 1 nov. 2015.
- FRUET, A. P. B.; STEFANELLO, F. S.; TROMBETTA, F.; DE SOUZA, A. N. M.; ROSADO JÚNIOR, A. G.; TONETTO, C. J.; FLORES, J. L. C.; SCHEIBLER, R. B.; BIANCHI, R. M.; PACHECO, P. S.; DE MELLO, A.; NÖRNBERG, J. L. Growth performance and carcass traits of steers finished on three different systems including legume–grass pasture and grain diets. *Animal*, v. 13, n. 7, p. 1552–1562, 2019.
- GOUS, R. M. Nutritional limitations on growth and development in poultry. *Livestock Science*, v. 130, n. 1–3, p. 25–32, maio 2010.
- GRANDIN, T. Progress and challenges in animal handling and slaughter in the U.S. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 100, n. 1–2, p. 129–139, out. 2006.

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

GRANDIN, T. The importance of measurement to improve the welfare of livestock, poultry, and fish. *In: Improving animal welfare: a practical approach*. UK: CABI, 2021. p. 19–45.

HUERTA-LEIDENZ, N.; JEREZ-TIMAURE, N.; SARTURI, J. O.; BRASHEARS, M. M.; MILLER, M. F.; MOYA, A.; GODOY, S. Effects of Sex Class, a Combined Androgen and Estrogen Implant, and Pasture Supplementation on Growth and Carcass Performance and Meat Quality of Zebu-Type Grass-Fed Cattle. *Animals*, v. 11, n. 12, p. 3441, 2 dez. 2021.

HUERTAS, S.; GIL, A.; PIAGGIO, J.; VAN EERDENBURG, F. Transportation of beef cattle to slaughterhouses and how this relates to animal welfare and carcass bruising in an extensive production system. *Animal Welfare*, v. 19, n. 3, p. 281–285, 1 ago. 2010.

HUERTAS, S. M.; EERDENBURG, F.; GIL, A.; PIAGGIO, J. Prevalence of carcass bruises as an indicator of welfare in beef cattle and the relation to the economic impact. *Veterinary Medicine and Science*, v. 1, n. 1, p. 9–15, 12 jul. 2015.

JARVIS, A. M.; SELKIRK, L.; COCKRAM, M. S. Pre-Slaughter Handling of Cattle and the Occurrence of Bruising. *Proceedings of the British Society of Animal Science*, v. 1995, p. 206–206, 20 mar. 1995.

LITTLEJOHN, B. P.; PRICE, D. M.; NEUENDORFF, D. A.; CARROLL, J. A.; VANN, R. C.; RIGGS, P. K.; RILEY, D. G.; LONG, C. R.; RANDEL, R. D.; WELSH, T. H. Influence of prenatal transportation stress-induced differential DNA methylation on the physiological control of behavior and stress response in suckling Brahman bull calves. *Journal of Animal Science*, v. 98, n. 1, 1 jan. 2020.

MACIEL, I. C. F.; SCHWEIHOFFER, J. P.; FENTON, J. I.; HODBOD, J.; MCKENDREE, M. G. S.; CASSIDA, K.; ROWNTREE, J. E. Influence of beef genotypes on animal performance, carcass traits, meat quality, and sensory characteristics in grazing or feedlot-finished steers. *Translational Animal Science*, v. 5, n. 4, 1 out. 2021.

MENDONÇA, F. S.; VAZ, R. Z.; LEAL, W. S.; RESTLE, J.; PASCOAL, L. L.; VAZ, M. B.; FARIAS, G. D. Genetic group and horns presence in injuries and economic losses of bovine carcasses. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 37, n. 6, p. 4265, 14 dez. 2016.

MENDONÇA, F. S.; VAZ, R. Z.; VAZ, F. N.; LEAL, W. S.; SILVEIRA, I. D. B.; RESTLE, J.; BOLIGON, A. A.; CARDOSO, F. F. Causes of bruising in carcasses of beef cattle during farm, transport, and slaughterhouse handling in Brazil. *Animal Science Journal*, v. 90, n. 2, p. 288–296, 18 fev. 2019.

MENDONÇA, F. S.; VAZ, R. Z.; VAZ, F. N.; RESTLE, J.; GONÇALVES, G. B.; VARA, C. C. Da. BREED AND CARCASS CHARACTERISTICS ON LOSSES BY BRUISES

AND MEAT PH IN BEEF OF STEERS AND CULLING COWS. *Ciência Animal Brasileira*, v. 18, n. 0, 2017.

NIELSEN, S. S.; ALVAREZ, J.; BICOUT, D. J.; CALISTRI, P.; CANALI, E.; DREWE, J. A.; GARIN-BASTUJI, B.; GONZALES ROJAS, J. L.; GORTÁZAR SCHMIDT, C.; MICHEL, V.; MIRANDA CHUECA, M. Á.; PADALINO, B.; PASQUALI, P.; ROBERTS, H. C.; SPOOLDER, H.; STAHL, K.; VELARDE, A.; VILTROP, A.; WINCKLER, C.; EARLEY, B.; EDWARDS, S.; FAUCITANO, L.; MARTI, S.; DE LA LAMA, G. C. M.; COSTA, L. N.; THOMSEN, P. T.; ASHE, S.; MUR, L.; VAN DER STEDE, Y.; HERSKIN, M. Welfare of cattle during transport. *EFSA Journal*, v. 20, n. 9, set. 2022.

SÁNCHEZ, J. N.; FÉLIX-LEYVA, B. J.; VELÁZQUEZ, D. Z.; ROSILES, J. R.; MONTERO, A.; STRAPPINI, A. C.; GALLO, C.; ROBLES-ESTRADA, J. C.; PORTILLO-LOERA, J. J.; DÍAZ, D.; DÁVILA-RAMOS, H. Prevalence, risk factors, and main characteristics of bruises in cattle: A meta-analysis in the American continent. *Veterinaria México OA*, v. 9, 31 out. 2022.

SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K. S.; FAUCITANO, L.; DADGAR, S.; SHAND, P.; GONZÁLEZ, L. A.; CROWE, T. G. Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcass and meat quality: A review. *Meat Science*, v. 92, n. 3, p. 227–243, nov. 2012.

STRAPPINI, A. C.; FRANKENA, K.; METZ, J. H. M.; GALLO, B.; KEMP, B. Prevalence and risk factors for bruises in Chilean bovine carcasses. *Meat Science*, v. 86, n. 3, p. 859–864, nov. 2010.

STRAPPINI, A. C.; METZ, J. H. M.; GALLO, C. B.; KEMP, B. Origin and assessment of bruises in beef cattle at slaughter. *Animal*, v. 3, n. 5, p. 728–736, 2009.

STRAPPINI, A. C.; METZ, J. H. M.; GALLO, C.; FRANKENA, K.; VARGAS, R.; DE FRESLON, I.; KEMP, B. Bruises in culled cows: when, where and how are they inflicted? *Animal*, v. 7, n. 3, p. 485–491, 2013.

TAN, Z.; JIANG, H. Molecular and Cellular Mechanisms of Intramuscular Fat Development and Growth in Cattle. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 25, n. 5, p. 2520, 21 fev. 2024.

VAZ, R. Z.; MENDONÇA, F. S.; BETHANCOURT-GARCIA, J. A.; VAZ, F. N.; PASCOAL, L. L.; DUTRA, M. M. M.; DA SILVA, H. R.; RESTLE, J. Probability and number of bruises in bovine carcasses according to animal type, handling and transport. *Veterinary Research Communications*, v. 47, n. 3, p. 1195–1205, 4 set. 2023.

YÜKSEL, S.; KARAÇUHALILAR, A.; BALTA, B.; ŞİMŞEK, U.; YÜKSEL, F.; MEMİŞ, M.; ÇELİK, M. Effect of breed and sex on carcass traits, meat quality and fatty acid composition of young cattle formed based on animal protein production and qualified

meat in plateau condition. *Archives Animal Breeding*, v. 67, n. 3, p. 409–420, 22 ago. 2024.

ZANARDI, E.; DE LUCA, S.; ALBORALI, G. L.; IANIERI, A.; VARRÀ, M. O.; ROMEO, C.; GHIDINI, S. Relationship between Bruises on Carcasses of Beef Cattle and Transport-Related Factors. *Animals*, v. 12, n. 15, p. 1997, 7 ago. 2022.

CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE

Os resultados desta tese demonstram que tanto as práticas de manejo pré-abate quanto fatores intrínsecos e extrínsecos aos animais exercem papel determinante na ocorrência de hematomas em carcaças bovinas e nas perdas econômicas associadas. O uso do protocolo Hands-Free Handling mostrou-se mais eficiente no embarque dos animais e reduziu significativamente a ocorrência e a severidade das lesões, traduzindo-se em menor descarte de carne e maior viabilidade econômica para a cadeia produtiva. Por outro lado, análises em larga escala revelaram que fêmeas, especialmente do grupo genético Nelore, e animais submetidos a maiores distâncias de transporte apresentam maior predisposição a hematomas e, conseqüentemente, a perdas expressivas, que podem ultrapassar R\$ 580,00 por animal.

De forma integrada, estes achados confirmam a hipótese de que o bem-estar animal no pré-abate está diretamente associado à qualidade da carcaça e à sustentabilidade econômica do setor. A adoção de manejos racionais, aliados a estratégias logísticas que considerem categorias de maior risco e a redução de longos deslocamentos, representa um caminho efetivo para minimizar perdas, atender às exigências de mercados internacionais e fortalecer a competitividade da carne bovina brasileira.