

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

COMBINAÇÃO DA INJEÇÃO DE CLORETO DE CÁLCIO E DO
CONGELAMENTO PRÉVIO À MATURAÇÃO SOBRE A QUALIDADE
DA CARNE DE VACAS DE DESCARTE

Discente: Juliano César Castro Belmonte

Aquidauana/ MS

Maio 2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

COMBINAÇÃO DA INJEÇÃO DE CLORETO DE CÁLCIO E DO
CONGELAMENTO PRÉVIO À MATURAÇÃO SOBRE A QUALIDADE
DA CARNE DE VACAS DE DESCARTE

Discente: Juliano César Castro Belmonte

Orientador: Prof. Dr. Dalton Mendes de Oliveira

“Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal no Cerrado-Pantanal, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências par a obtenção do título de Mestre em Zootecnia.”

Aquidauana/ MS

Maio 2025

B389c Belmonte, Juliano César Castro

Combinação da injeção de cloreto de cálcio e do congelamento prévio à maturação sobre a qualidade da carne de vacas de descarte/ Juliano César Castro Belmonte. - - Aquidauana, MS: UEMS, 2025.

53p.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Zootecnia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Dalton Mendes de Oliveira.

1. Classificação e tipificação. 2. Conservação da carne. 3. Hidroxiprolina. 4. Processamento da carne. I. Oliveira, Dalton Mendes de. II. Título.

CDD 23. ed. - 636.2

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PRODUÇÃO
ANIMAL NO CERRADO – PANTANAL**

JULIANO CÉSAR CASTRO BELMONTE

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Zootecnia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 14/03/2025.

Documento assinado digitalmente
 DALTON MENDES DE OLIVEIRA
Data: 15/03/2025 09:51:20-0300
verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Dalton Mendes de Oliveira (Orientador)

(participação via videoconferência)

Prof. Dr. Aylpy Renan Dutra Santos (UEMS)

(participação via videoconferência)

Profa. Dra. Priscilla Dutra Teixeira (UFMS)

"Tenha fé em Deus, tenha fé na vida

Tente outra vez...

Queira (queira)

Basta ser sincero e desejar profundo

Você será capaz de sacudir o mundo

Vai, tente outra vez...

Tente (tente)

E não diga que a vitória está perdida

Se é de batalhas que se vive a vida

Tente outra vez."

— Raul Seixas, *Tente Outra Vez*

DEDICATÓRIA

*A Deus e minha família, pelo amor incondicional, pelo apoio constante e por acreditarem em mim mesmo nos momentos de dúvida. **Dedico!***

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, fonte de toda sabedoria e poder, à minha família, ao meu pai, Joel Belmonte da Silva, e à minha mãe, Lindalva Castro, mesmo que distante, por todo o amparo durante esse período; à minha irmã, Joelma Castro Belmonte, e à minha sobrinha, Cecília Belmonte de Andrade.

Agradeço a todos os professores do PGZOO e funcionários da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, que fizeram parte de todo o meu aprendizado e crescimento profissional, e, em especial, ao Gustavo Ruivo Salmazzo, técnico do laboratório. E por fim, o Professor Dr. Dalton Mendes de Oliveira, pela orientação deste estudo, pela paciência e experiência compartilhada durante esse período.

Agradeço aos meus amigos de turma do mestrado: Maria Carla, Camila de Souza, Leandra Florentino e Denise Euridse Mussalafo.

Agradeço de forma especial a Micheline de Castro, Taynara Santana e Wallery da Costa, pela amizade, pelo apoio e pelo companheirismo nas atividades de laboratório. E o Aylpy Renan Dutra, pós doutorando pela colaboração na escrita científica. Vocês foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Aos meus amigos Augusto Galhardo Gonçalves (*in memoriam*), Pollyanna Ricartes de Oliveira e Aracy Garcia Travassos dos Santos por todo o apoio, amizade, companheirismo e irmandade.

Agradeço à Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS, ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia – PGZOO, pela oportunidade de estudar em uma instituição pública e de qualidade.

Ao Grupo de Estudos em Avaliação de Carcaça e Qualidade de Carnes – GEQUAC.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – e à FUNDECT – Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul – pela concessão das bolsas e a realização da pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	11
1 INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 Uso de vaca de descarte na produção de bovinos de corte.....	13
2.2 Maciez da carne.....	14
2.3 Maturação da carne.....	15
2.4 Cloreto de Cálcio	16
2.5 Congelamento e descongelamento.....	18
3. OBJETIVOS.....	20
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
CAPÍTULO 2.....	26
1 INTRODUÇÃO	27
2. MATERIAL E MÉTODOS	28
2.3.1 <i>Cor</i>	30
2.3.2 <i>pH</i>	31
2.3.3 <i>Hidroxiprolina (Colágeno Total)</i>	31
2.3.4 <i>Força de cisalhamento</i>	32
2.3.5 <i>Pigmentos</i>	32
3 RESULTADOS	33
4 DISCUSSÃO	36
5. CONCLUSÃO.....	39
6. REFERÊNCIAS.....	40
TABELAS	44
CAPÍTULO 3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	53

RESUMO

Objetivou-se avaliar os efeitos da combinação da injeção de cloreto de cálcio e do congelamento prévio à maturação sobre a qualidade da carne de vacas de descarte, classificadas com oito dentes incisivos permanentes. Foram utilizadas 144 amostras de bifes de contra filé, distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado ($2 \times 2 \times 2$) com 8 tratamentos e 18 repetições. Os fatores estudados foram: com e sem injeção de cloreto de cálcio; com e sem congelamento por 30 dias; maturação por 3 e 14 dias. A injeção de cloreto de cálcio resultou em maiores valores de b^* ($P = 0,03$). Observou-se interação entre a injeção de cálcio e maturação sobre o pH, hidroxiprolina e mioglobina (Mb), sendo que a carne sem cálcio e maturada por 3 dias apresentou maiores valores de pH e Mb e menores de hidroxiprolina. A carne que recebeu injeção de cálcio e foi congelada por 30 dias teve maior concentração de hidroxiprolina. A maturação por 14 dias, independentemente do congelamento, aumentou o valor de L^* e b^* , enquanto a carne congelada por 30 dias teve maior teor de MMb e Mb. A carne maturada por 14 dias e não congelada apresentou maior teor de O2Mb. Esses resultados indicam que a injeção de cloreto de cálcio, aliada ao congelamento prévio à maturação, melhora as características físico-químicas da carne, sendo uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade da carne de vacas de descarte.

Palavras-chave: Classificação e tipificação, conservação da carne, hidroxiprolina, processamento da carne.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of the combination of calcium chloride injection and freezing prior to maturation on the quality of meat from cull cows. A total of 144 samples of sirloin steaks were distributed in a completely randomized design ($2 \times 2 \times 2$) with 8 treatments and 18 replicates. The factors studied were: with and without calcium chloride injection; with and without freezing for 30 days; and maturation for 3 and 14 days. The calcium chloride injection resulted in higher b^* values ($P = 0.03$). An interaction between calcium injection and maturation was observed on pH, hydroxyproline and Mb, with meat without calcium and matured for 3 days showing higher pH and Mb values and lower hydroxyproline values. Meat that received calcium injection and was frozen for 30 days had higher hydroxyproline concentrations. Aging for 14 days, regardless of freezing, increased the L^* and b^* values, while meat frozen for 30 days had higher MMb and Mb contents. Meat aged for 14 days and not frozen had higher O2Mb contents. These results indicate that the injection of calcium chloride, combined with freezing prior to aging, improves the physicochemical characteristics of meat, being an effective strategy to improve the quality of meat from cull cows.

Keywords: enzymatic activity, meat preservation, females, meat tenderness, meat processing.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da carne bovina desempenha um papel central na percepção e nas escolhas do consumidor, sendo determinante para a valorização do produto no mercado. De acordo com Henchion et al. (2017), atributos como maciez, sabor, suculência e aparência visual estão entre os principais critérios sensoriais utilizados pelos consumidores para avaliar a carne, influenciando diretamente em sua aceitação. Além disso, aspectos relacionados à segurança, origem do produto, métodos de produção e preocupações éticas também têm ganhado destaque, refletindo um consumidor cada vez mais exigente e informado.

Segundo o IBGE (2024), no estado de Mato Grosso do sul, em 2023, foram abatidas 942.568 cabeças de vacas, das quais 49% correspondem a fêmeas com idade acima de 36 meses. Esse número de vacas abatidas reflete a dinâmica do mercado, pois, à medida que a oferta de bovinos de reposição cresce, a retenção de fêmeas se torna economicamente menos viável. Consequentemente, os produtores optam ao abate das vacas, a fim de maximizar a rentabilidade em resposta às condições de mercado interno (Soares et al., 2024).

Porém fêmeas em final de ciclo produtivo tendem a apresentar carne com menor maciez em comparação à carne de animais mais jovens. Isso se deve principalmente ao aumento das ligações cruzadas nos tecidos musculares com o avanço da idade (Berg & Butterfield, 1976). Assim, para atender à demanda e competitividade de mercado, é indispensável buscar alternativas para melhorias das características sensoriais da carne destes animais.

Nesse sentido, uma estratégia é a aplicação de injeção de cloreto de cálcio (CaCl_2). A adição de CaCl_2 na forma de injeção na carne está associado à melhora na textura, maciez e atributos sensoriais que aumentam a aceitação do produto pelo consumidor (Koohmaraie et al., 1990; Huff-Lonergan & Lonergan, 2005). O CaCl_2 acelera o processo de maturação *post-mortem*, resultando em uma melhora significativa na maciez (Koohmaraie, 1989), pois acelera a proteólise através do complexo enzimático das calpaínas (Taylor, 2003). Além disso, o cloreto de cálcio é essencial em diversos processos de conservação de alimentos (Alves et al., 2019).

Além do CaCl_2 , existem outros métodos que possibilitam a melhoria nos padrões de qualidade da carne, dentre eles o congelamento, que é comumente utilizado para o armazenamento de produtos perecíveis por períodos prolongados (Kim et al., 2018). O congelamento além de conservar a carne, melhora sua maciez, pois inibe a atividade das calpastatinas, enzimas responsáveis por limitar a atividade das calpaínas (Koohmaraie et al., 1990). Outra estratégia para melhorar a qualidade da carne é a maturação, a qual resulta na proteólise natural da carne, melhorando sua maciez (Lonergan et al., 2010).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Uso de vaca de descarte na produção de bovinos de corte

O abate de vacas de descarte tem se consolidado como uma importante alternativa econômica dentro da cadeia produtiva da carne bovina no Brasil. Segundo Pacheco et al. (2013), esse segmento representa uma fonte significativa de receita para os pecuaristas, correspondendo a uma fração expressiva do total de abates no país. Essa prática é impulsionada por fatores como a maior oferta de fêmeas adultas com menor valor de mercado e a necessidade de renovação dos plantéis, especialmente em momentos de baixa retenção de matrizes. Além disso, o uso de vacas de descarte como fonte de carne tem se mostrado uma estratégia vantajosa ao produtor, considerando o rápido acabamento desses animais e sua capacidade de atender, de forma eficiente, à demanda do mercado interno (Santos, 2018).

Apesar de apresentarem menor eficiência alimentar e, muitas vezes, carcaças com conformação inferior à dos animais jovens, as vacas de descarte vêm ganhando destaque como uma alternativa viável do ponto de vista econômico e produtivo. Gottschall et al. (2007) destacam que, mesmo com limitações zootécnicas, o abate dessas fêmeas adultas se justifica pela alta demanda de carne e pelo baixo custo de aquisição. Ademais, estudos mais recentes demonstram que, com a adoção de práticas nutricionais e de manejo adequadas, é possível melhorar consideravelmente os atributos de carcaça e a qualidade da carne dessas vacas.

Berdusco et al. (2024) evidenciam que estratégias específicas podem aprimorar a composição muscular e a deposição de gordura, aumentando o valor comercial da carne. Da mesma forma, Moreira et al. (2021) reforçam o potencial

produtivo das vacas de descarte, desde que haja controle criterioso das etapas que envolvem o descarte, o transporte, o abate e o processamento. Além disso, variáveis como idade ao abate, sistema de produção e raça influenciam diretamente os parâmetros de qualidade da carne, como observado por Cantarero-Aparicio et al. (2024). Assim, a utilização estratégica desses animais, aliada à adoção de sistemas de produção tecnificados, representa uma alternativa promissora para atender às novas demandas do mercado consumidor, agregando valor à cadeia da carne bovina e promovendo maior sustentabilidade econômica ao setor.

Contudo, a carne de vacas de descarte tem limitação em relação à sua qualidade, especialmente no que diz respeito à maciez. Devido a idade avançada desses animais na maioria dos casos, há uma alta formação de ligações cruzadas nas fibras de colágeno, o que torna a carne mais dura e menos macia. Assim, é essencial que sejam desenvolvidas estratégias para melhorar esta característica e assim, aumentar a qualidade deste produto no mercado.

2.2 Maciez da carne

A maciez é um dos principais atributos sensoriais da carne bovina e exerce grande influência na aceitação do produto pelos consumidores, sendo, portanto, um fator determinante na competitividade do setor produtivo (Rezende et al., 2022). Diversos fatores afetam essa característica, como o processo de maturação, a velocidade de queda do pH, a temperatura durante o rigor mortis, o preparo térmico e, especialmente, a ação de enzimas proteolíticas no período post-mortem (Dransfield et al., 1994; Montossi et al., 2005; Marsh, 1977; Zeola et al., 2007).

Dentre as enzimas responsáveis pela proteólise *post-mortem*, destacam-se as calpaínas, proteases dependentes de cálcio, que têm papel fundamental no processo de amaciamento da carne. Essas enzimas são classificadas em micro-calpaína (μ -calpaína) e mili-calpaína (m-calpaína), e atuam degradando proteínas miofibrilares, como titina, nebulina, desmina e troponina-T, além de promoverem a fragmentação da linha-Z, estrutura importante do sarcômero. Esses eventos estruturais resultam no aumento da maciez da carne (Koohmaraie, 1992).

A ação das calpaínas, no entanto, é regulada negativamente pela calpastatina, uma inibidora endógena específica. A calpastatina atua limitando a atividade proteolítica das calpaínas e, quando presente em altas concentrações, reduz significativamente a taxa de proteólise e, conseqüentemente, a maciez da carne (Lian et al., 2013). Dessa forma, o equilíbrio entre calpaínas e calpastatina é determinante para a intensidade do amaciamento *post-mortem*. Adicionalmente, outras enzimas como as catepsinas também contribuem para a degradação das proteínas miofibrilares, embora com menor impacto que as calpaínas. Todas essas enzimas são dependentes do íon cálcio para sua ativação, o que fundamenta a utilização de sais como o cloreto de cálcio (CaCl_2) como estratégia tecnológica para intensificar o amaciamento da carne (Goll et al., 1991; Pflanzner Júnior, 2012).

2.3 Maturação da carne

A maturação da carne é um termo que se refere ao processo de amaciamento natural da carne no *post-rigor* devido à proteólise decorrente da atividade das enzimas endógenas da carne. Seu principal objetivo é melhorar a maciez da carne (Andrighetto et al., 2006). A maciez é considerada uma das

principais características sensoriais da carne bovina, exercendo influência direta na aceitação do produto pelo consumidor e, conseqüentemente, na competitividade do setor produtivo (Rezende et al., 2022). No período *post-mortem*, o amaciamento natural da carne é promovido principalmente pela ação de enzimas proteolíticas endógenas, com destaque para as calpaínas (μ -calpaína e m-calpaína), que são ativadas em decorrência da queda gradual do pH muscular, associada ao esgotamento do ATP e à transição metabólica do estado aeróbico para o anaeróbico (Lonergan et al., 2010).

Essas proteases cálcio-dependentes atuam sobre componentes estruturais do sarcômero, como titina, nebulina, desmina e troponina-T, fragmentando a linha Z e promovendo o enfraquecimento da estrutura miofibrilar, o que resulta em maior maciez da carne (Koohmaraie, 1992). No entanto, a atividade das calpaínas é modulada pela calpastatina, um inibidor endógeno cuja concentração pode limitar significativamente a taxa de proteólise e, conseqüentemente, o grau de maciez obtido (Lian et al., 2013). Fatores adicionais, como a velocidade de queda do pH, a temperatura durante o *rigor mortis*, e as condições de maturação também impactam a eficiência do processo de amaciamento (Marsh, 1977; Dransfield et al., 1994; Montossi et al., 2005).

2.4 Cloreto de Cálcio

O cloreto de cálcio (CaCl_2) tem sido amplamente estudado como uma alternativa tecnológica eficaz para promover o amaciamento da carne bovina, especialmente em cortes oriundos de vacas de descarte, que apresentam características estruturais mais rígidas e menor aceitação sensorial. O cálcio atua

diretamente na ativação do sistema calpaína-calpastatina, e é um cofator essencial das proteases μ -calpaína e m-calpaína, responsáveis pela degradação de proteínas estruturais como actina, miosina, titina e troponina-T no período *post-mortem* (Koohmaraie, 1996).

Estudos clássicos de Guttman et al. (1997) e Guttman e Johnson (1998) demonstraram que a baixa disponibilidade de cálcio no músculo limita a atuação das calpaínas, reduzindo substancialmente o grau de maciez obtido após o abate. A suplementação exógena de CaCl_2 , portanto, visa restabelecer essa disponibilidade iônica, promovendo uma aceleração no processo de proteólise miofibrilar e mitigando o encurtamento das fibras musculares, o qual está associado ao endurecimento da carne.

Pesquisas mais recentes têm avaliado diferentes concentrações e métodos de aplicação do CaCl_2 , com resultados promissores. A injeção de soluções de 0,3M de CaCl_2 , na proporção de até 10% do peso da amostra, mostrou-se eficaz na melhoria da maciez, sem comprometer a aceitabilidade sensorial do produto (Boleman et al., 1995; Stanisławczyk et al., 2020).

Além disso, Cao et al. (2012) observaram que a utilização de CaCl_2 não apenas reduz a força de cisalhamento em músculos como o *longissimus dorsi*, mas também está associada a maior atividade de caspases, enzimas que contribuem para a degradação proteica *post-mortem*, atuando de forma sinérgica com as calpaínas. A combinação de técnicas, como a aplicação de CaCl_2 e o congelamento controlado, tem sido proposta como uma estratégia de potencial adicional para

melhorar a qualidade de carnes menos valorizadas (Kim et al., 2015; Bunmee et al., 2014).

2.5 Congelamento e descongelamento

A conservação de alimentos por meio de baixas temperaturas é uma das estratégias mais utilizadas por consumidores para prolongar a vida útil de produtos perecíveis. No caso da carne, o congelamento permite sua preservação por períodos prolongados, mantendo características físico-químicas, sensoriais e nutricionais semelhantes às do produto fresco (Pelegri et al., 2012). No entanto, o processo de congelamento e subsequente descongelamento inadequado pode acarretar efeitos indesejáveis, como queima por congelamento, rancificação, desidratação, perdas por exsudação e alterações na coloração (Obuz & Dikeman, 2003).

Inicialmente, os estudos científicos se concentravam apenas nos efeitos diretos do congelamento e descongelamento sobre a carne (Obuz & Dikeman, 2003; Hergenreder et al., 2012). Mais recentemente, pesquisadores passaram a investigar os efeitos da combinação entre congelamento, descongelamento e maturação sobre a qualidade da carne (Aroeira et al., 2016; 2017; Nascimento et al., 2021). De maneira geral, recomenda-se que carnes submetidas ao congelamento e descongelamento passem por períodos mais curtos de maturação, uma vez que maturações prolongadas podem favorecer a oxidação lipídica, comprometendo a estabilidade do produto.

Estudos indicam que o congelamento realizado antes da maturação pode inativar parcialmente a calpastatina (inibidor natural das calpaínas) favorecendo,

assim, a ação dessas proteases no processo de amaciamento da carne. A calpaína, por sua vez, apresenta maior estabilidade frente ao congelamento, o que torna esse processo benéfico para intensificar a proteólise e, conseqüentemente, a maciez (Rubensam et al., 1998). Koohmaraie et al. (1990) demonstraram que a carne congelada e posteriormente descongelada apresenta maior atividade proteolítica em comparação àquela submetida exclusivamente à maturação.

Li et al. (2019), ao avaliarem o congelamento da carne de cordeiros em diferentes momentos post-mortem, observaram diferenças significativas na perda de exsudato, na força de cisalhamento e na degradação das proteínas miofibrilares. A coloração, contudo, foi negativamente afetada em todos os tratamentos, um problema frequentemente relatado para carnes congeladas. A liberação de mioglobina com o exsudato durante o descongelamento é apontada como a principal causa da alteração de cor, tornando a carne menos atrativa visualmente quando comparada à carne fresca, que mantém a tonalidade vermelho-cereja por mais tempo (Pinheiro et al., 2019).

Outro aspecto relevante é a taxa de congelamento, congelamentos rápidos resultam na formação de cristais de gelo menores, o que reduz os danos às estruturas celulares e minimiza a perda de qualidade da carne. Kim et al. (2015) destacaram que esse tipo de congelamento interfere menos nos atributos sensoriais do produto. Nesse mesmo sentido, Grayson et al. (2014) relataram que carnes congeladas rapidamente e submetidas à maturação posterior apresentaram menores valores de força de cisalhamento, indicando maior maciez. Esse resultado foi atribuído à intensificação da proteólise e ao efeito mecânico dos cristais de gelo na desorganização das estruturas miofibrilares.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivos geral

Avaliar os efeitos da combinação entre a injeção de cloreto de cálcio (CaCl_2) e o congelamento prévio à maturação sobre as características de qualidade da carne de vacas de descarte (classificadas com oito dentes incisivos permanentes).

3.2 Objetivos específicos

Avaliar o efeito da injeção de cloreto de cálcio, combinada ao armazenamento congelado por 0 e 30 dias, sobre a maciez e os parâmetros de cor da carne (L , a , b^*) de contrafilés de vacas de descarte da raça Nelore.

Mensurar o impacto do congelamento prévio à maturação por 3 e 14 dias nos parâmetros de pH, coloração e teor de colágeno total da carne de vacas classificadas com oito dentes incisivos permanentes.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A. M. A. Conservação de melão 'Cantaloupe' minimamente processado com diferentes recobrimentos. 2019. 62 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Pombal. 2019.
- ANDRIGHETTO, C., et. al. (2006). Maturação da carne bovina. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, VII(6), 1-6.
- AROEIRA, C.N. et al. Effect of freezing prior to aging on myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nellore and Aberdeen Angus cattle. Meat Science, 125, 16-21. 2017.
- AROEIRA, C.N. et al. Freezing, thawing and aging effects on beef tenderness from Bos indicus and Bos taurus cattle. Meat Science, 116, 118-125. 2016.
- BERDUSCO N, KELTON D, HALEY D, WOOD KM, Duffield TF. Improving market (cull) dairy cows' carcass traits and meat quality. J Dairy Sci. 2024.
- BERG, R. T.; BUTTERFIELD. New concepts of cattle growth. Sidney; Sidney University Press, 1976, 240p.
- BOLEMAN, S. J. et. al. Effects of postmortem time of calcium chloride injection on beef tenderness and drip, cooking, and total loss. Meat Science, v. 39, n. 1, p. 35-41, 1995.
- BUNMEE, T. et. al. Can calcium chloride injection facilitate the agein-derived improvement in the quality of meat from culled dairy cows? Meat Science, 96, 1440-1445. 2014.
- CANTARERO-APARICIO, Miguel Ángel et al. Características de carcaça e qualidade da carne em fêmeas da raça Lidia abatidas em diferentes idades. Animais, v. 14, n. 6, pág. 850, 2024.
- CAO J, et al. The effect of calcium chloride injection on shear force and caspase activities in bovine longissimus muscles during postmortem conditioning. Animal. 2012 Jun;6(6):1018-22.
- DRANSFIELD, E. Optimization of tenderization, ageing and tenderness. Meat Science, 36, 1-2, 105-121. 1994.

- GOLL, D. E. et al. Role of proteinases and protein turnover in muscle growth and meat quality. *Proceedings Recipe Meat Conference*, 44, 25-33. 1991.
- GOTTSCHAL, C. S. et. al. Avaliação de três diferentes categorias de bovinos de corte terminados em regime de confinamento. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.8, n.2, p. 61-70, 2007.
- GRAYSON, A.L. et al. Freezing and thawing or freezing, thawing, and aging effects on beef tenderness. *Journal of Animal Science*, 92, 2735-2740. 2014.
- GUTTMANN, R. P., e JOHNSON, G. V. W.. Oxidative stress inhibits calpain activity in situ. *J. Biol. Chem.* 273:13331-13338. 1998.
- GUTTMANN, R. P., et. al. Oxidation inhibits substrate proteolysis but not autolysis. *J. Biol. Chem.* 272:2005-2012. 1997.
- HENCHION MM, MCCARTHY M, RESCONI VC. Beef quality attributes: A systematic review of consumer perspectives. *Meat Sci.* 2017 Jun;128:1-7. doi: 10.1016/j.meatsci.2017.01.006. Epub 2017 Jan 17. PMID: 28160662.
- HERGENREDER, J.E. et al. Effects of freezing and thawing rates on tenderness and sensory quality of beef subprimals in the same manner described for. *Jornal of Animal Science*, 91, 483– 490. 2012.
- HUFF-LONERGAN, E.; LONERGAN, S. M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat science*, v. 71, n. 1, p. 194-204, 2005.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Trimestral do Abate de Animais - 3º trimestre 2023. <https://sidra.ibge.gov.br/home/abate/brasil>. Acesso em: novembro de 2024.
- KIM, H.W. et. al. Effects of aging/freezing sequence and freezing rate on meat quality and oxidative stability of pork loins. *Meat Science*, v. 139, p. 162–170, 2018.
- KIM, Y.H.B. et. al. Evaluation of combined effects of ageing period and freezing rate on quality attributes of beef loins. *Meat Science*, v. 110, p. 40–45, 2015
- KOOHMARAIE, M. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization 505 processes of meat. *Meat Science*, v. 43, p.193-201, 1996.

- KOOHMARAIE, M. et. al. Acceleration of post mortem tenderization in ovine carcasses through infusion of calcium chloride: effect of concentration and ionic strength. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.67, n.4, p.934-942, 1989.
- KOOHMARAIE, M. et. al. Acceleration of post mortem tenderization in lamb and Brahman-cross beef carcasses through infusion of calcium chloride. *Journal of Animal Science*, 68, 5, 1278- 1283. 1990.
- KOOHMARAIE, M. The role of Ca^{2+} dependent proteases (calpains) in post mortem proteolysis and meat tenderness. *Biochimie*, 74, 3, 239-245. 1992.
- LI, G.; et. al. Postmortem ageing influences the thawed meat quality of frozen lamb loins. *Food Chemistry*, v. 275, n. 1, p. 105–112, 2019
- LIAN, T. et. al. A new insight into the role of calpains in postmortem meat tenderization in domestic animals: A review. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 26, 443-454. 2013.
- LONERGAN, E.H. et. al. Biochemistry of postmortem muscle – Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science*, 86, 184-195. 2010.
- MARSH, B.B. The basis of quality in muscle foods: symposium the basis of tenderness in muscle foods. *Journal of Food Science*, 42, 2, 295-297. 1977.
- MONTOSSI, C. et. al. Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in tensively rared beef. *Meat Science*, 71, 3, 471-479. 2005.
- MOREIRA LC, ROSA GJM, SCHAEFER DM. Beef production from cull dairy cows: a review from culling to consumption. *J Anim Sci*. 2021 Jul 1;99(7):skab192.
- NASCIMENTO, J.D. et al. A comparison of Nellore and Nellore-cross entire male cattle finished in a feedlot in a tropical area of Brazil with respect to carcass characteristics and meat quality after ageing either with or without 60 days of prior frozen storage. *Animal Production Science*, 62, 2, 173-181. 2021.
- OBUZ, E.; DIKEMAN, M. E. Effects of cooking beef muscles from frozen or thawed states on cooking traits and palatability. *Meat Science*, 65, 3, 993–997. 2003.

- PACHECO P. S. et al. Características da carcaça e do corpo vazio de bovinos Charolês de diferentes categorias abatidos com similar grau de acabamento. Arq Bras Med Vet Zoo. 2013;65(1): 281-288, 2013.
- PELEGRINI, L.F.V. et. al. Efeito do tempo de congelamento sobre as características físico-químicas da carne bovina e suína. Revista Acadêmica Ciência Animal, 10, 238, 367. 2012.
- PFLANZER JÚNIOR, S.B. Injeção post-rigor de cloreto de cálcio no músculo semimembranoso de novilhos suplementados com zilpaterol: propriedades físico-químicas e sensoriais da carne. 2012. 177 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- PINHEIRO, R.S.B. et. al. Meat quality of Santa Inês lamb chilled-then-frozen storage up to 12 months. Meat Science, v. 148, p. 72–78, 2019.
- REZENDE, L. R. et al. Expressão de transcritos do sistema calpaína responde de forma inversa ao amaciamento após suplementação com vitamina D 3 em bovinos Nelore. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 23, p. e2122402021, 2022.
- RUBENSAM, J.M. et. al. Influência do genótipo Bos Indicus na atividade de calpastatina e na textura da carne de novilhos abatidos no sul do Brasil. Ciência Tecnologia de Alimentos, 18, 4, 405- 409. 1998.
- SANTOS, LAIZE VIEIRA. TORTA DE DENDÊ EM DIETAS PARA VACAS DE DESCARTE TERMINADAS EM CONFINAMENTO. 2018.
- SOARES, K. R; XIMENES, L. F. CARNE BOVINA: v. 9, n. 348, setembro, 2024. Caderno Setorial ETENE, v. 9, 2024.
- STANISŁAWCZYK R. et. al. O efeito do ácido cítrico, NaCl e CaCl₂ nas mudanças qualitativas da carne de cavalo em armazenamento refrigerado. Processos . 2020; 8(9):1099. <https://doi.org/10.3390/pr8091099>
- TAYLOR, R.G. Meat Tenderness: theory and practice. Brazilian Journal of Food Technology. Campinas, v.6, Special Issue, p.56-66, 2003.

ZEOLA, N. M. B. L. Parâmetros qualitativos da carne ovina: um enfoque à maturação e marinação. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, 102, 215-224. 2007.

CAPÍTULO 2 - COMBINAÇÃO DA INJEÇÃO DE CLORETO DE CÁLCIO E DO CONGELAMENTO PRÉVIO À MATURAÇÃO SOBRE A QUALIDADE DA CARNE DE VACAS DE DESCARTE

RESUMO

Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito da injeção de cloreto de cálcio, em combinação com o congelamento prévio à maturação, sobre a degradação proteica post-mortem em carne de vacas de descarte classificadas com oito dentes incisivos permanentes. Foram utilizadas amostras de carne de vacas descartes obtidas em frigorífico comercial. Foram utilizadas 144 amostras que foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial triplo ($2 \times 2 \times 2$), sendo 8 tratamentos com 18 repetições cada. Os tratamentos foram: com e sem aplicação de cálcio; sem congelamento e com congelamento por 30 dias; maturação por 3 dias e maturação por 14 dias. Foram avaliadas quanto à maciez, coloração, pH, perda de líquidos. Os resultados mostraram que a aplicação de CaCl_2 , especialmente em combinação com a maturação pós-congelamento, resultou em uma maior degradação das proteínas musculares, com uma redução significativa no conteúdo de colágeno insolúvel, que passou de 23,5% para 17,3%. Isso contribuiu para uma melhoria significativa na maciez da carne, com aumento de 25% na pontuação de maciez, em comparação ao grupo controle. Embora o congelamento tenha influenciado a coloração da carne, tornando-a mais escura, com a média de luminosidade (L^*) diminuindo de 35,6 para 31,2. A injeção de CaCl_2 favoreceu a solubilização do colágeno, o que resultou em uma melhora na textura da carne, com aumento de 18% na solubilidade das proteínas totais em relação ao grupo controle. Esses resultados indicam que a estratégia de injeção de CaCl_2 , combinada com congelamento, foi eficaz na melhoria das características sensoriais e estruturais da carne de vacas de descarte. Em conclusão, a injeção de cloreto de cálcio, aliada ao congelamento prévio à maturação, pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade da carne de vacas classificadas com oito dentes incisivos permanentes.

Palavras-chave: cor da carne, colágeno, proteólise, textura.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior exportador de carne bovina no mundo (USDA, 2022). Em 2023, no estado de Mato Grosso do Sul foram abatidas 942.568 cabeças de vacas (IBGE, 2024). Além disso, no Estado, a categoria de fêmeas acima de 36 meses de idade representou uma participação no total de abate de 49% em 2023 (FAMASUL, 2024).

O abate de vacas de descarte tem grande importância para a indústria da carne, assim como para os produtores, especialmente no que se refere ao desempenho econômico, particularmente nas operações de criação de bezerros, quando as vacas são diagnosticadas como não prenhes (Montossi et al., 2014). É importante destacar que o descarte de fêmeas é caracterizado por decisões estratégicas relacionadas ao fator climático, mercado ou redução do rebanho (Troxel et al., 2005).

Em função disso, o setor da pecuária de corte brasileira passou por modernização tecnológica nos seus sistemas de produção, resultando em maior produção, melhor qualidade da carne e maior competitividade no setor (Guilherme et al., 2021).

Assim, características como coloração e maciez que são fatores essenciais na qualidade da carne, são dependentes de fatores intrínsecos aos animais, como genética, classe sexual e idade (Listrat et al., 2016; Tomasevic et al., 2021; Warner et al., 2022;). Adicionalmente, os consumidores de carne bovina atribuem à maciez uma característica de qualidade muito importante, destacando a coloração o principal aspecto levado em consideração no momento da compra (Chen et al., 2023).

Em animais acima de 36 meses, ou seja, vacas de descarte isso está relacionado com o aumento na concentração de colágeno, com redução de capacidade de degradação (Nishimura, 2010). Sabe-se que o colágeno influencia na maciez da carne e conforme estudos realizados por Tharcilla et al. (2021) o uso de tecnologias para melhorar a qualidade da carne

de vacas de descarte, acarreta alternativas para a comercialização do produto e atendimento a exigências do consumidor.

Considerando a relação entre a idade dos animais e a maciez da carne, voltado para bovinos acima de 36 meses, torna essencial o uso de ferramentas que contribuam na melhoria dos padrões de qualidade de carne. Conforme estudos realizados por (Rossato et al., 2010), animais Nelore com idade acima de 36 meses apresentam carne com padrões de maciez abaixo do preconizado pelo consumidor. Neste contexto destaca-se a importância de estratégias que visem aprimorar esses parâmetros, como a aplicação de cloreto de cálcio (CaCl_2).

O CaCl_2 é conhecido como promotor do amaciamento da carne, através da aceleração do processo de proteólise realizada pelo sistema enzimático das calpaínas (Taylor, 2003). A utilização de alternativas para beneficiar a qualidade da carne proveniente de vacas de descarte é pouco avaliada, entretanto, é de grande importância, visto a quantidade de animais abatidos e a possibilidade de competitividade de mercado.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a combinação da injeção de cloreto de cálcio e do congelamento prévio à maturação sobre a qualidade da carne de vacas com oito dentes incisivos permanentes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e procedimentos experimentais

O experimento foi realizado no Laboratório de Avaliação de Carcaça e Qualidade de Carne pertencente à Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul/Unidade Universitária de Aquidauana (UEMS/UUA), localizada na região do Alto Pantanal do estado brasileiro de Mato Grosso do Sul.

2.2 Amostras e tratamentos

Foram utilizadas amostras do músculo *Longissimus thoracis et lumborum*, localizadas na região entre a 6ª e 12ª costela de vacas da raça Nelore com idade acima de 36 meses, classicadas com oito dentes incisivos permanentes. As amostras foram adquiridas de um frigorífico comercial controlado pelo Serviço de Inspeção Federal (SIF), seguindo o protocolo de abate humanitário exigidos pela legislação brasileira por meio das normas do Regulamento Técnico de Inspeção de Produtos de Origem Animal (RISPOA) (BRASIL, 2000).

As peças de contra filé foram cortadas em bifes com tamanho aproximado de 2,54 cm cada, totalizando 144 amostras ou unidades experimentais. As amostras foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial triplo ($2 \times 2 \times 2$), sendo 8 tratamentos com 18 repetições cada. Os tratamentos foram: com e sem aplicação de cálcio; sem congelamento e com congelamento por 30 dias; maturação por 3 dias e maturação por 14 dias (Figura 1).

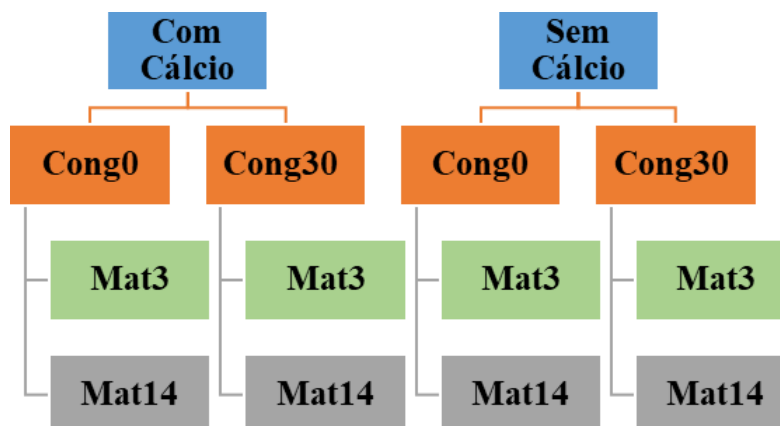


Figura 1. Fluxograma representando o desenho experimental adotado.

Com Cálcio = com aplicação de CaCl_2 ; Sem Cálcio = sem aplicação de CaCl_2 ; Cong0= sem congelamento; Cong30= congelamento por 30 dias; Mat3= maturação por 3 dias; Mat14= maturação por 14 dias.

A injeção do CaCl_2 foi realizada em 72 amostras, sendo injetado de forma homogênea por toda amostra da carne com concentração equivalente a 200nM e, na proporção de 10% do peso da amostra.

Em seguida, as amostras que não passaram pelo congelamento foram conduzidas diretamente à câmara de maturação (BOD), onde permaneceram armazenadas a temperaturas entre 0 °C e 4 °C, por períodos de 3 ou 14 dias. Já as amostras submetidas ao congelamento foram armazenadas em freezer a -15 °C por 30 dias e, após esse período, foram descongeladas sob refrigeração e posteriormente maturadas nas mesmas condições descritas, também por 3 ou 14 dias.

2.3 Análises laboratoriais

2.3.1 Cor

Para a determinação da cor, a carne foi exposta ao ar durante 30 minutos para permitir a oxigenação da mioglobina, o que favorece o desenvolvimento da cor característica da carne fresca, essencial para uma leitura precisa dos parâmetros de cor. Após esse período, os valores de L^* (luminosidade), a^* (intensidade de vermelho), b^* (intensidade de amarelo), C^* (chroma) e h^* (hue) foram mensurados na superfície das amostras por meio de um colorímetro digital (Minolta CM-26dg, Minolta Co., Osaka, Japão) previamente calibrado com placa padrão branca, seguindo o sistema de cor CIELAB (Houben et al., 2000).

2.3.2 pH

Para a determinação do pH das amostras de carne, foi utilizado um pHmetro digital (Mettler, M1120x – Toledo International Inc., Columbus, OH, EUA), o qual foi inserido no centro das amostras. O equipamento foi calibrado previamente com soluções tampão padrão de pH 4,0 e 7,0, garantindo a precisão das medições.

2.3.3 Hidroxiprolina (Colágeno Total)

A quantificação de hidroxiprolina foi realizada segundo a metodologia descrita por Neuman e Logan (1950), modificado por Bergman e Loxley (1963). Foi pesado cerca de 4 g de amostra de carne, posteriormente triturada com agitador e adicionada a 30 mL de solução ácido sulfúrico e hidrolisado na estufa a 105°C, por 16 horas. O conteúdo hidrolisado, ainda quente, foi transferido para o balão volumétrico e, adicionado água destilada até completar o volume do balão de 500 mL, após esfriar, parte da solução foi filtrada. Uma alíquota de 500 µl do filtrado e 1500 µl de água foram adicionados ao tubo de ensaio de 10 mL. Posteriormente, foi adicionado 1 mL de solução oxidante (composto por 10 mL de solução estoque de cloramina-T e 40 mL de tampão de citrato) e agitados em vortéx, posterior, ao repouso de 20 minutos em temperatura ambiente. Em seguida, foi adicionado aos tubos 1 mL de solução Ehrlich (com 10 g de *p*-DABA em 35 mL de ácido perclórico 60%, diluído em 65 mL de isopropanol), em cada tubo de ensaio, agitados em vortéx e envoltos em papel alumínio e imediatamente, acondicionados em banho-maria a 60 °C por exatos 15 minutos. Após esse tempo, os tubos foram resfriados em água corrente por 3 minutos. Em seguida, as amostras foram colocadas em cubeta e lidas em espectrofotômetro em absorvância de 558 nm, utilizando o branco como controle.

2.3.4 Força de cisalhamento

As amostras foram conduzidas ao forno elétrico pré-aquecido a 180 °C, permanecendo até atingirem a temperatura de 71 °C em seu centro geométrico. A escolha da temperatura interna de 71 °C baseia-se nas recomendações do USDA (2011) para cocção segura de carnes bovinas, garantindo a inativação de patógenos sem comprometer excessivamente a qualidade sensorial da carne. Para o monitoramento da temperatura, utilizou-se um termômetro digital (KP-8007, KNUP, China), inserido no centro das amostras. Após o procedimento de cozimento das carnes, foi retirado três cilindros de cada amostra de carne paralelamente à orientação das fibras musculares com o auxílio de um vazador padronizado de 1,27 cm de diâmetro. As subamostras cilíndricas foram cortadas transversalmente com uma lâmina de corte (Warner-Bratzler) em “V”, com angulação de 60° e velocidade fixa de 3,3 mm/s, acoplada a um texturômetro (Brookfield CTX - AMETEK Brookfield, Middleboro, MA, EUA).

2.3.5 Pigmentos

As proporções das formas químicas da mioglobina, foram estimadas pelo método matemático de Krzywicki (1979), a partir das leituras realizadas com o colorímetro digital (Minolta CM-26dg, Minolta Co., Osaka, Japão) no padrão SCI, curvas de reflectância entre 390 a 710 nm com intervalo de 10 nm. Os valores de refletância intermediária (473, 525 e 572 nm) obtidos no modo SCI foram determinados por interpolação linear e o conteúdo relativo dos pigmentos heme, expresso como porcentagem de oximioglobina (O₂Mb), mioglobina (Mb) e metamioglobina (MMb).

2.4 Análises estatísticas

Todas as análises foram feitas utilizando a amostra como unidade experimental. O efeito dos tratamentos foi avaliado utilizando o procedimento MIXED do SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA; versão 9.4) e foi incluído como efeito fixo o cálcio, congelamento e dias de maturação, além de todas as possíveis interações entre estes fatores. A amostra foi incluída como efeito aleatório.

As amostras foram classificadas com base no teor de hidroxiprolina, um aminoácido presente no colágeno, que está diretamente relacionado à firmeza do tecido muscular. A mediana do teor de hidroxiprolina (0,049 unidade) foi utilizada como ponto de corte: valores abaixo da mediana foram considerados como baixos e valores acima como altos. Essa classificação foi adotada devido à correlação entre o conteúdo de colágeno e a maciez da carne. Dessa forma, avaliou-se os efeitos da hidroxiprolina sobre os demais parâmetros estudados. As médias foram separadas utilizando a função PDIFF e todos os resultados foram reportados como LSMEANS. A significância foi definida quando $P \leq 0,05$.

3 RESULTADOS

Houve interação ($P < 0,05$) entre maturação e congelamento para L^* , a^* , b^* , C^* , h^* , pH, hidroxiprolina, FC, MMb, Mb, O_2Mb . A carne maturada por 14 dias, não congelada e congelada por 30 dias resultou em maiores valores de L^* , enquanto a carne maturada por 3 dias e não congelada resultou em menor valor para este parâmetro (Figura 2A). Por outro lado, a carne maturada por 3 dias e congelada por 30 dias resultou em valores intermediários, pois seus valores de L^* não diferiram dos demais tratamentos. Foi observado que a carne maturada e congelada por 3 e 30 dias, respectivamente, apresentou menor valor de a^* (11,80) em comparação aos demais tratamentos, os quais foram similares entre si (Figura 2B).

Quanto à intensidade de amarelo, constatou-se que independente dos dias de congelamento, as carnes maturadas por 14 dias resultaram em maiores valores deste parâmetro em comparação à carne maturada e congelada por 3 e 30 dias, respectivamente (Figura 2C). Observaram-se menores valores de C^* na carne maturada e congelada por 3 e 30 dias, respectivamente (Figura 2D). Nos demais tratamentos, os valores foram semelhantes entre si. A carne maturada por 3 dias e congelada por 30 dias resultou em maiores valores de h^* em relação aos demais tratamentos (Figura 2E). Por outro lado, a carne maturada durante 3 dias e não congelada apresentou menor valor de h^* quando comparada aos outros tratamentos avaliados. Independente do congelamento, a maturação da carne durante 14 dias resultou em valores similares para este parâmetro.

O maior valor de pH foi observado na carne maturada por 3 dias e não congelada (Figura 2F). Por outro lado, quando a carne foi maturada por 14 dias, os valores de pH foram inferiores, não diferindo em função dos dias de congelamento. Foi constatado que a carne maturada por 3 dias e não congelada apresentou menor concentração de hidroxiprolina (Figura 2G). A carne maturada por 14 dias apresentou maiores valores de hidroxiprolina, não diferindo em função do congelamento e não congelamento. A FC da carne maturada por 3 dias e não congelada foi menor em comparação aos demais tratamentos avaliados, que por sua vez, não diferiram entre si (Figura 2H).

A carne maturada e congelada por 3 e 30 dias, respectivamente, foi a que apresentou maior teor de MMb, seguida da carne maturada por 3 dias e não congelada (Figura 2I). A maturação da carne por 14 dias resultou em menor teor de MMb, independente dos diferentes dias de congelamento. A carne maturada e congelada por 3 e 30 dias, respectivamente, apresentou maior valor de Mb, seguida das carnes maturadas (3 e 14 dias) não congeladas (Figura 2J). O menor teor de Mb foi observado na carne maturada por 14 dias e congelada

por 30 dias. Em relação ao teor de O₂Mb, foi observado que a carne maturada por 14 dias e não congelada, apresentou maior valor, enquanto a carne maturada e congelada por 3 e 30 dias, respectivamente, apresentou menor valor (Figura 2K).

Houve interação ($P < 0,05$) entre aplicação de cálcio e maturação para o pH, hidroxiprolina e Mb. Maiores valores de pH foram registrados nas carnes que não tiveram aplicação de cálcio e que foram maturadas por 3 dias (Figura 3A). Por outro lado, independentemente da aplicação de cálcio, nas amostras maturadas por 14 dias foram encontrados os menores valores de pH. Foi constatado que as carnes maturadas por 14 dias apresentaram valores superiores de hidroxiprolina, independentemente da aplicação de cálcio (Figura 3B). Já a carne que não recebeu aplicação de cálcio e maturada por 3 dias, os valores relacionados à hidroxiprolina foram inferiores.

O maior valor de Mb foi observado na carne que não recebeu cálcio e que foi maturada por 3 dias, enquanto o menor valor de Mb foi encontrado na carne que teve aplicação de cálcio e foi maturada por 14 dias (Figura 3C). Os demais tratamentos não diferiram entre si.

Houve interação ($P < 0,05$) entre aplicação de cálcio e congelamento para o teor de hidroxiprolina. A maior concentração de hidroxiprolina foi observada na carne que recebeu aplicação de cálcio e que foi congelada por 30 dias (Figura 4A). A carne que não foi congelada e que recebeu aplicação de cálcio apresentou menor valor de hidroxiprolina em comparação aos demais grupos avaliados. As carnes que não receberam aplicação de cálcio apresentaram valores similares de hidroxiprolina.

Foi observado que o teor de hidroxiprolina da carne afetou ($P < 0,05$) a L*, h*, pH e hidroxiprolina (Tabela 2). Maiores valores de L*, h* e hidroxiprolina foram observados

nas carnes que apresentaram alto teor de hidroxiprolina, enquanto a carne com baixo teor de hidroxiprolina apresentou maior pH.

4 DISCUSSÃO

O tempo de maturação não influenciou os valores de L^* nas amostras de carne congeladas, sugerindo que o congelamento exerce maior impacto sobre o teor de pigmentos da carne. Por outro lado, nas amostras não congeladas, observou-se um aumento nos valores de L^* conforme o aumento do tempo de maturação. Cho et al. (2016) também observaram aumento na L^* da carne bovina com o aumento dos dias de maturação. Semelhantemente, Aroeira et al. (2017) e Gómez et al. (2022) encontraram maiores valores de L^* em carnes com maior tempo de maturação. Diversos estudos na literatura (Lagerstedt et al., 2011; Vitale et al., 2014; Gómez et al., 2022; Wicks et al., 2024) têm sugerido que os maiores valores de L^* observados com o aumento do tempo de envelhecimento estão associados à redução da atividade respiratória mitocondrial, o que proporciona maior oxigenação da molécula de Mb, resultando em maior formação de O_2Mb . No presente estudo, o menor teor de MMb em função do aumento dos dias de maturação também explicam a elevação nos valores de L^* . Além disso, os teores de O_2Mb e MMb na carne são inversamente proporcionais. Isso significa que à medida que a concentração de um destes pigmentos aumenta, a concentração do outro diminui. Este comportamento foi evidenciado no presente estudo, onde as amostras de carne congeladas e maturadas por 30 e 3 dias, respectivamente, apresentaram maiores teores de MMb e menores de O_2Mb .

O maior teor de MMb nas amostras congeladas por 3 dias e com menor tempo de maturação se deve à oxidação lipídica causada pelo congelamento, a qual eleva significativamente os níveis de MMb (Leygonie et al., 2012). Lanari et al. (1989) relataram

maior concentração de MMb em amostras de carne submetidas ao congelamento. Segundo Abdallah et al. (1999), o sistema enzimático responsável por reduzir a MMb é negativamente afetado pelo congelamento, o que explica o acúmulo de MMb na carne congelada. Contudo, a partir do presente estudo é possível observar que o uso de maiores tempos de maturação resolve esse problema.

É importante destacar que estas mesmas amostras apresentaram menores valores de a^* e isso ocorreu devido ao aumento da cor marrom em função da elevação dos níveis de MMb. Além disso, os níveis de O_2Mb são responsáveis pela cor vermelha da carne. Desse modo, uma elevação dos níveis de MMb diminui os níveis de O_2Mb , resultando em menores valores de a^* . A redução dos valores de a^* explica parcialmente a diminuição e aumento dos valores de C^* e h^* , respectivamente.

Neste estudo, a queda do pH em função do aumento dos dias de maturação está de acordo com os estudos de Guterres (2022) e Gliga et al. (2024) em estudos conduzidos com amostras de carne bovina. Tais resultados podem ser atribuídos a metabólitos microbianos, como ácido láctico ou CO_2 . Nas carnes maturadas por um período menor, o congelamento resultou em uma diminuição do pH. Leygonie et al. (2012) explicam que o congelamento da carne eleva a desnaturação proteica, e aumenta a liberação de íons H^+ no meio, causando o rebaixamento do pH. Em um estudo recente, Guimarães et al. (2024) também observaram menor pH em amostras de carne bovinas submetidas ao congelamento antes da maturação.

Os menores valores de hidroxiprolina na carne não congelada e maturada por 3 dias resultaram em menores valores de FC. A hidroxiprolina é um aminoácido encontrado exclusivamente no colágeno, logo, o aumento do seu conteúdo sugere uma maior concentração de colágeno, o qual está correlacionado positivamente com a força de cisalhamento da carne.

Quanto aos resultados oriundos das interações entre injeção de cálcio e tempo de maturação, foi observado que a maturação exerce maior influência sobre os parâmetros. Assim, quando se usa uma maturação mais longa como a de 14 dias, os efeitos da injeção de cálcio sobre os parâmetros avaliados são anulados, tornando dispensável o uso de cálcio. No presente estudo, era esperado menores valores de FC em função do uso de CaCl_2 , devido os efeitos positivos desse aditivo sobre a ação de enzimas responsáveis pela proteólise da carne.

5. CONCLUSÃO

Os achados do presente estudo indicam que os efeitos do congelamento sobre a cor, pH e pigmentos são dependentes do tempo de maturação das amostras de carne. No geral, os resultados indicam que o congelamento intensificou a oxidação lipídica e piorou a cor da carne, tornando-a menos atraente. Contudo, o uso de maiores tempos de maturação, como 14 dias, diminui este impacto negativo. Embora fosse esperado que a injeção de cálcio promovesse maior amaciamento da carne por ativação de enzimas proteolíticas, o estudo não mostrou redução significativa na força de cisalhamento. Futuras pesquisas são recomendadas com diferentes concentrações e formas de aplicação de cálcio, além de diferentes dias de maturação.

6. REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, M. B., MARCHELLO, J. A., & AHMAD, H. A. (1999). Effect of freezing and microbial growth on myoglobin derivatives of beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 4093–4099
- AROEIRA, C. N. et. al., Effect of freezing prior to aging on myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nellore and Aberdeen Angus cattle. *Meat Sci.* 2017 Mar;125:16-21. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.11.010. Epub 2016 Nov 16. PMID: 27883957.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 3, de 17 de janeiro de 2000. Aprova o Regulamento Técnico de Métodos de Insensibilização para Abate Humanitário de Animais de Açougue. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/defesa-agropecuaria/animal/bem-estar-animal/arquivos/arquivos-legislacao/in-03-de-2000.pdf/@download/file> Acesso em: 10 de setembro de 2024.
- BERGMAN I, LOXLEY R. Two improved and simplified methods for the spectrophotometric determination of hydroxyproline. *Analytical Chemistry*. Washington, 1963; (35): 1961-1965.
- CHEN, X. et. al. Study on meat color stability of Qinchuan cattle during post-slaughter storage. *Food Science and Technology*, v.43, e101222, 2023.
- CHO S, KANG SM, SEONG P, KANG G, KIM Y, KIM J, LEE S, KIM S. Effect of Aging Time on Physicochemical Meat Quality and Sensory Property of Hanwoo Bull Beef. *Korean J Food Sci Anim Resour.* 2016;36(1):68-76. doi: 10.5851/kosfa.2016.36.1.68. Epub 2016 Feb 28. PMID: 27499666; PMCID: PMC4973944.
- FAMASUL. Boletim SIGABOV: Edição 50 - Agosto 2024: Idade dos animais ao abate em Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS: Sistema FAMASUL, 2024. Disponível em: <https://portal.sistemafamasul.com.br/sites/default/files/boletimcasapdf/BOLETIM%20SIGABOV%20Ed.%2050%20-%20Agosto%202024%20-%20Idade%20dos%20animais%20ao%20abate%20em%20Mato%20Grosso%20do%20Sul.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

- GUIMARÃES, A. S. et al. (2024). Freezing/thawing as an accelerating process of wet- and dry-aged Nellore beef. *Meat Science*, 211, Article 109443
- GLIGA, M. C., et. al. (2024). THE pH TRENDS OF BEEF MEAT DURING TWO AGING PROCESSES.
- GÓMEZ, J. F. M. et. al., (2022). Feeding strategies impact animal growth and beef color and tenderness. *Meat Science*, 183, 108599.
- GUILHERME, L. P. et. al. (2021). Modernização tecnológica e competitividade da pecuária de corte no Brasil. *Revista Brasileira de Pecuária*, 34(3), 456-472.
- GUTERRES, A. S. (2022). ESTUDO DA QUALIDADE DA CARNE DE BOVINO: "EFEITO DA MATURAÇÃO DA CARNE".
- HOUBEN, J.H. et. al. 2000. Effect of dietary vitamin E supplementation, fat level and packaging on colour stability and lipid oxidation in minced beef. *Meat Sci.* 55, 331–336. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00161-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00161-8).
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Trimestral do Abate de Animais - 3º trimestre 2023. <https://sidra.ibge.gov.br/home/abate/brasil>. Acesso em: novembro de 2024.
- KRZYWICKI, K. (1979). Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. *Meat Science*, 3(1), 1-10. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(79\)90019-6](https://doi.org/10.1016/0309-1740(79)90019-6)
- LAGERSTEDT, Å., LUNDSTRÖM, K., & LINDAHL, G. (2011). Influence of vacuum or high-oxygen modified atmosphere packaging on quality of beef *M. longissimus dorsi* steaks after different ageing times. *Meat Science*, 87(2), 101–106.
- LANARI, M. C., BEVILACQUA, A. E., & ZARITZKY, N. E. (1990). Pigments modifications during freezing and frozen storage of packaged beef. *Journal of Food Process Engineering*, 12(1), 49-66.
- LEYGONIE, C. et. al. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Science*, v. 91, n. 2, p. 93–98, 2012.
- LISTRAT, ANNE et al., How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *The Scientific World Journal*, v. 2016, 2016.
- MONTOSSI, F. et. al. 2014. Impacto en lo productivo y económico de las diferentes orientaciones productivas y tecnologías propuestas para la región del basalto. in:

- Alternativas tecnológicas para los sistemas ganaderos del basalto. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Serie Técnica 217. Montevideo. Uruguay. pp. 557 – 568.
- NEUMAN, R. E., & LOGAN, M. A. (1950). The determination of hydroxyproline. *Journal of Biological Chemistry*, 184(1), 299-306.
- NISHIMURA, T. (2010). The role of intramuscular connective tissue in meat texture. *Animal Science Journal*, 81(1), 21-27. DOI: 10.1111/j.1740-0929.2009.00696.x
- ROSSATO, L. V. et al. Parâmetros físico-químicos e perfil de ácidos graxos da carne de bovinos Angus e Nelore terminados em pastagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 1127-1134, 2010.
- TAYLOR, R.G. Meat Tenderness: theory and practice. *Brazilian Journal of Food Technology*. Campinas, v.6, Special Issue, p.56-66, 2003.
- THARCILLA I.R.C. et. al. Hopkins, Is meat from cull cows tougher?, *Meat Science*, Volume 177, 2021, 108498, ISSN 0309-1740, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108498>.
- TOMASEVIC, I. et al. Recent advances in meat color research. *Current Opinion in Food Science*, v. 41, p. 81-87, 2021.
- TROXEL, T. R. et. al. Managing and marketing cull cows. Local: University of Arkansas (Division of Agriculture – Cooperative Extension Service), FSA3058. 2005
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Safe minimum internal temperature chart. Food Safety and Inspection Service, 2011. Disponível em: <https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/food-safety-basics/safe-temperature-chart>. Acesso em: 10 de março de 2025.
- USDA AGRICULTURE, UNITED STATES DEPARTMENT OF LIVESTOCK AND POULTRY: world markets and trade: USDA [updated 2022 October; cited 2022 December, 29]., 2022. - p. http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf
- VITALE, M., et. al. (2014). Effect of aging time in vacuum on tenderness, and color and lipid stability of beef from mature cows during display in high oxygen atmosphere package. *Meat Science*, 96(1), 270–277
- WARNER, R. D. et al. Meat tenderness: Advances in biology, biochemistry, molecular mechanisms and new technologies. *Meat Science*, v. 185, p. 108657, 2022.

WICKS, J. C. et al. Aging increases lightness of grass-fed beef. *Translational Animal Science*, v. 8, p. txae140, 2024.

TABELAS

Tabela 1. Efeitos da aplicação do CaCl₂, tempo de maturação e congelamento sobre a qualidade da carne de vacas de descarte

Itens	Calcio				SemCalcio				EPM	P-valor						
	Mat3		Mat14		Mat3		Mat14			Ca	M	C	Ca×M	Ca×C	M×C	Ca×M×C
	Cong0	Cong30	Cong0	Cong30	Cong0	Cong30	Cong0	Cong30								
L*	35,2	36,0	37,2	36,9	34,2	36,0	37,1	36,2	0,64	0,31	<0,01	0,45	0,92	0,90	0,03	0,35
a*	16,7	11,8	15,1	15,3	15,9	11,8	15,3	14,5	0,42	0,24	<0,01	<0,01	0,95	0,80	<0,01	0,14
b*	13,7	12,4	13,5	13,8	12,7	11,5	13,7	13,3	0,38	0,03	<0,01	0,01	0,15	0,63	0,01	0,48
C*	21,7	17,2	19,6	20,7	20,5	16,6	20,6	19,7	0,53	0,22	<0,01	<0,01	0,23	0,36	<0,01	0,11
h*	39,5	46,1	41,8	42,0	38,7	44,1	41,9	42,5	0,92	0,41	0,90	<0,01	0,18	0,75	<0,01	0,52
pH	6,57	5,75	5,46	5,48	6,65	5,83	5,47	5,49	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,92	<0,01	0,98
Hidroxip	0,036	0,058	0,048	0,062	0,038	0,043	0,063	0,049	0,002	0,05	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,13
FC	25,3	31,1	30,9	28,9	27,9	31,1	31,0	30,6	1,50	0,30	0,15	0,11	0,83	0,81	<0,01	0,33
%MMb	32,7	38,5	31,5	31,5	33,4	37,1	28,7	30,8	1,01	0,13	<0,01	<0,01	0,31	0,97	0,01	0,15
%Mb	4,47	6,01	4,46	4,06	6,51	7,92	5,54	4,55	0,46	<0,01	0,20	0,01	0,07	0,33	<0,01	0,15
%O ₂ Mb	62,8	55,3	64,0	64,1	59,8	55,0	65,7	61,1	1,08	0,14	<0,01	<0,01	0,50	0,50	0,01	0,13

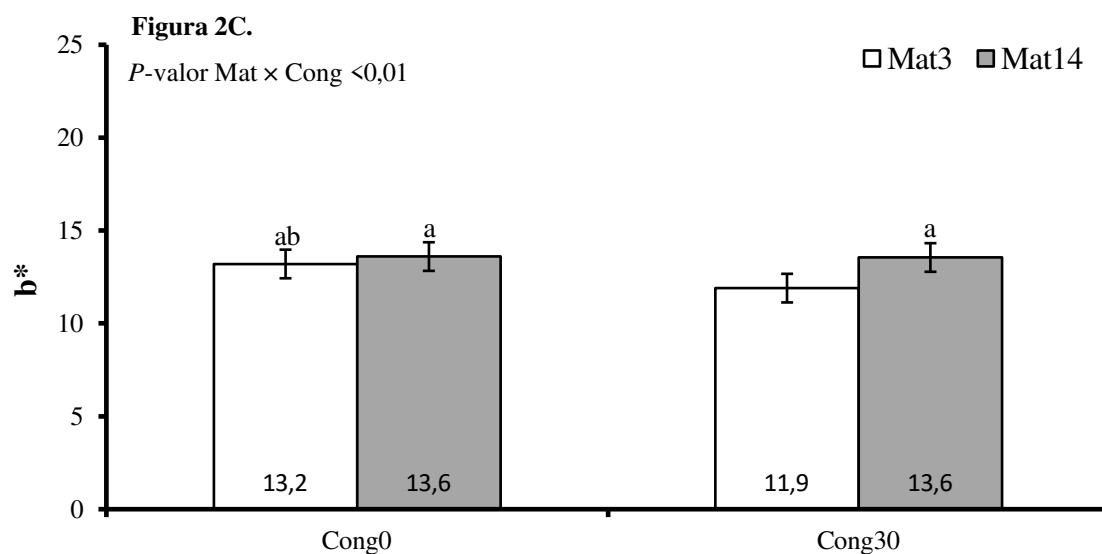
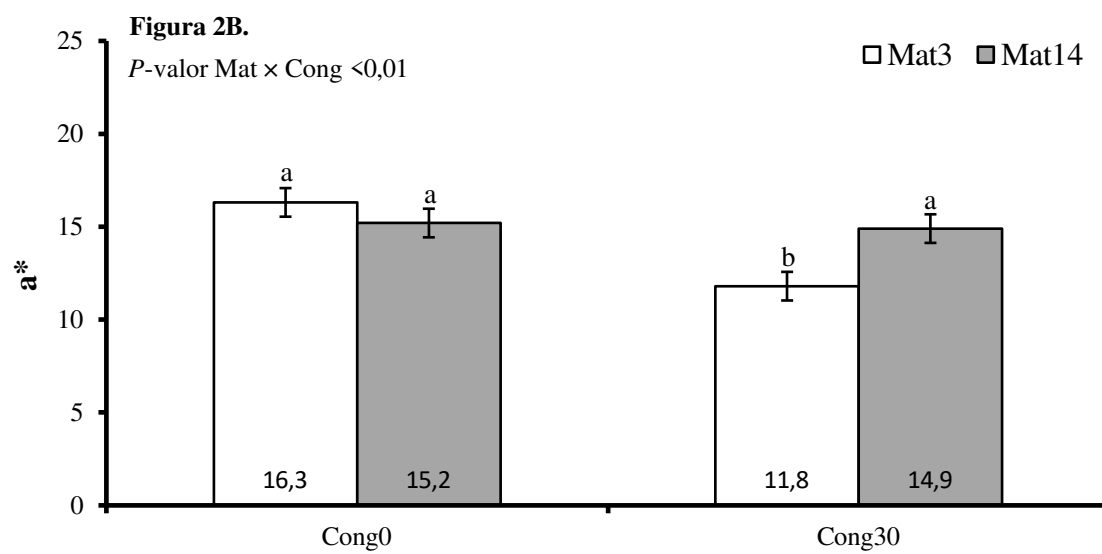
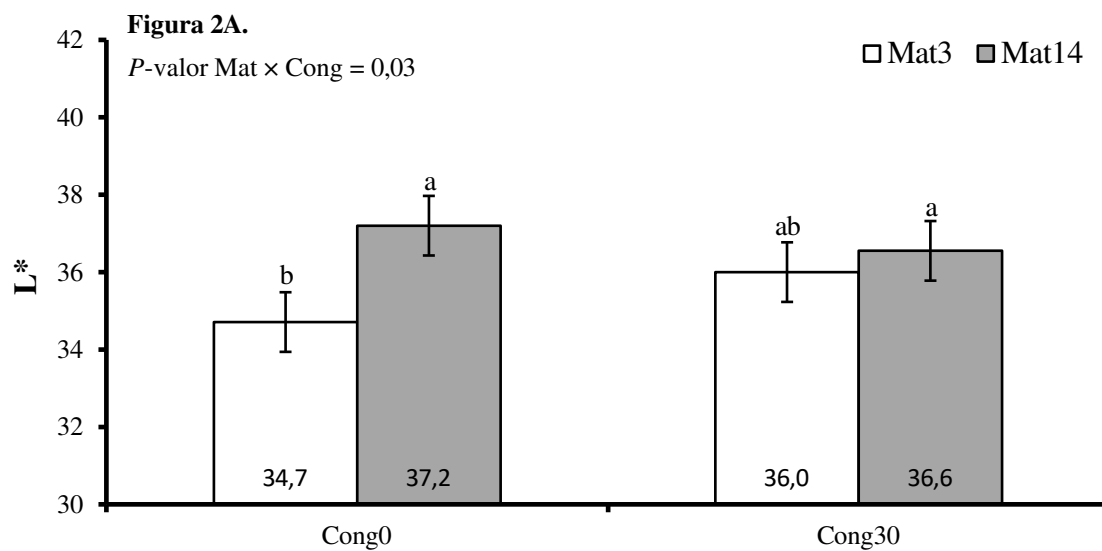
Cálcio = com aplicação; SemCalcio = sem aplicação; Mat3 = maturação por 3 dias; Mat14 = maturação por 14 dias; Cong0 = sem congelamento; Cong30 = congelamento por 30 dias; EPM = erro padrão da média; Ca = efeito do cálcio; M = efeito da maturação; C = efeito do congelamento; Ca×M = efeito da interação entre cálcio e maturação; Ca×C = efeito da interação entre cálcio e congelamento; M×C = efeito da interação entre maturação e congelamento; Ca×M×C = efeito da interação entre cálcio, maturação e congelamento;

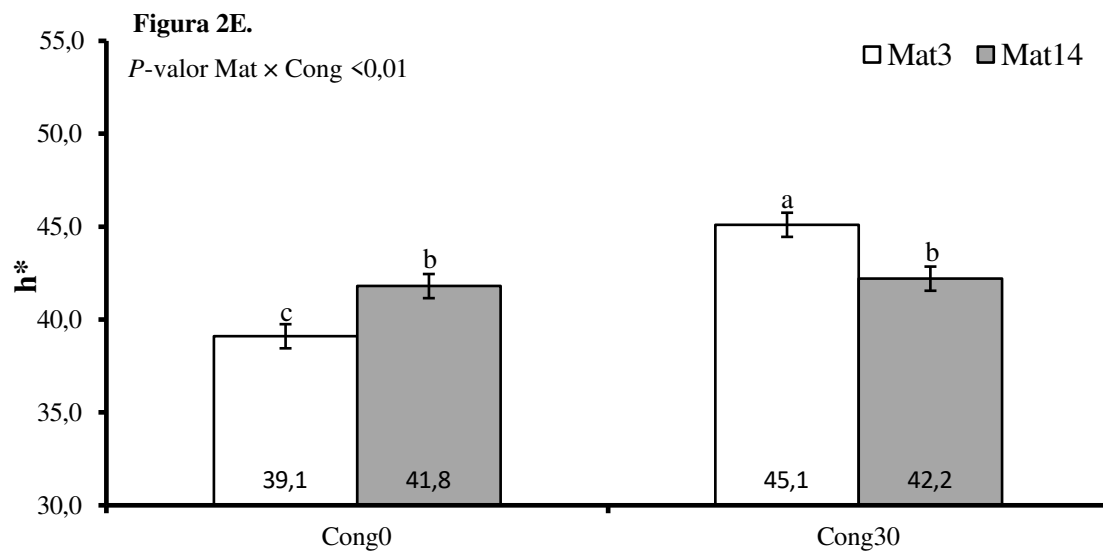
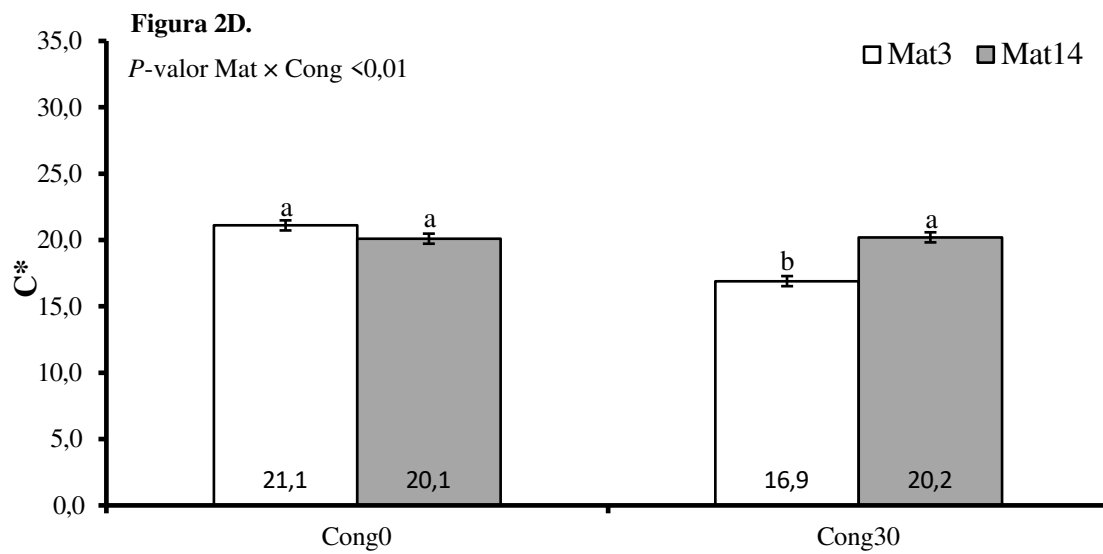
L* = luminosidade; a* = intensidade da cor vermelha; b* = intensidade da cor amarela; C* = chroma; h* = ângulo de tonalidade; pH = potencial hidrogeniônico; Hidroxip = colágeno total; FC = força de cisalhamento; %MMb = metamioglobina %Mb = mioglobina; %O₂Mb = oximioglobina.

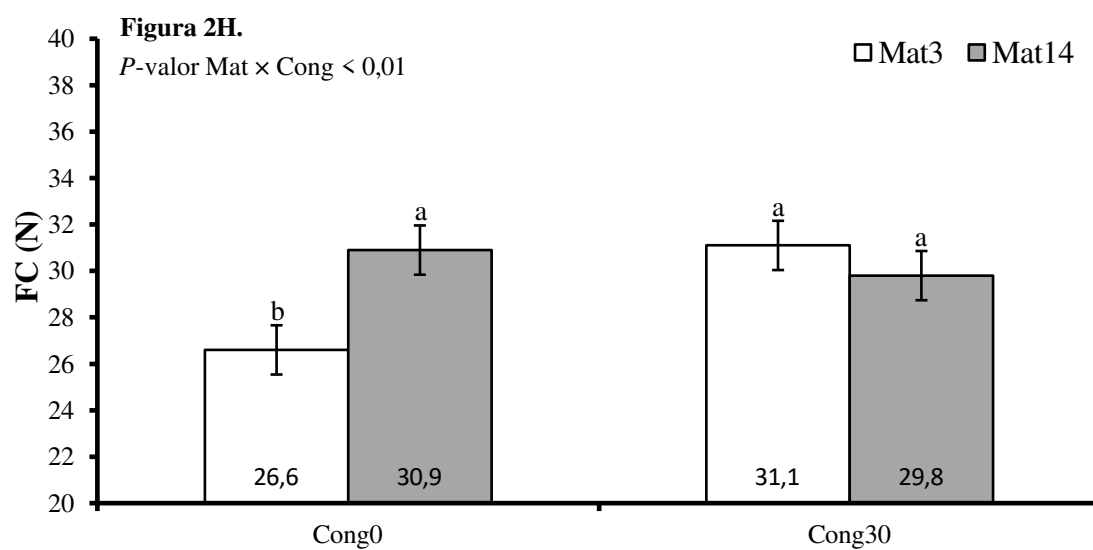
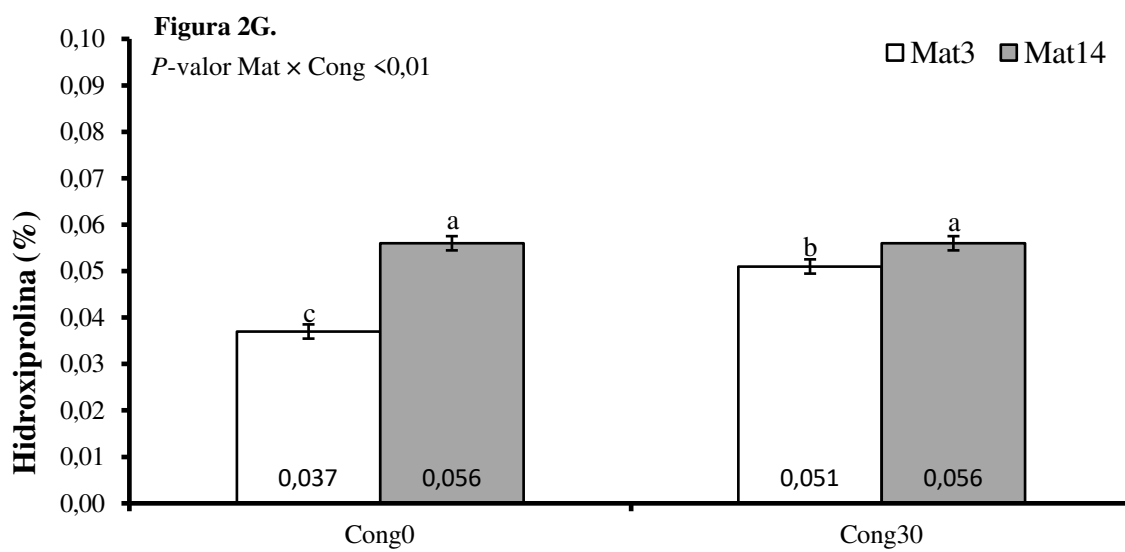
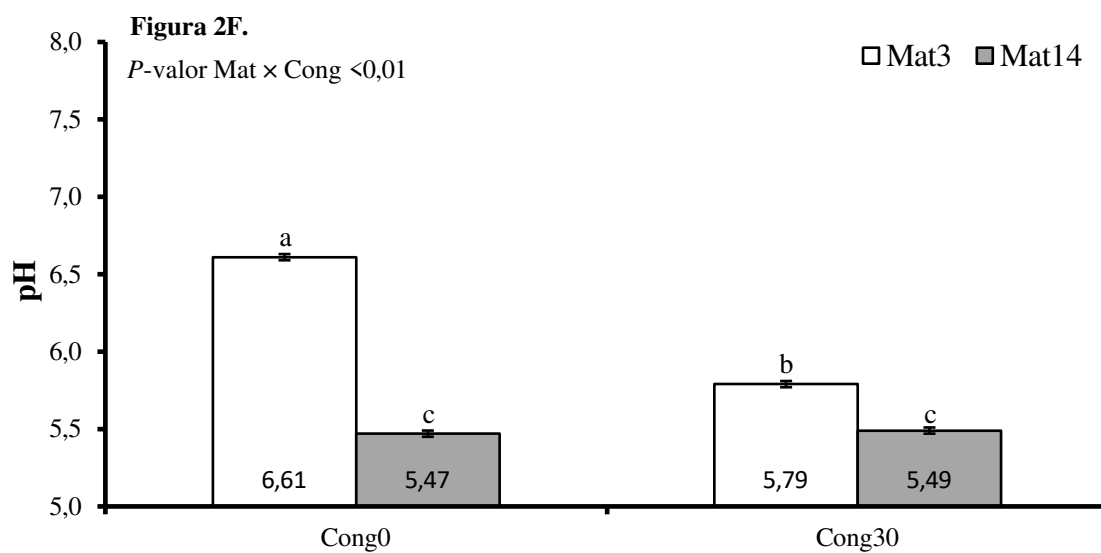
Tabela 2. Efeito da categoria de concentração de hidroxiprolina sobre a qualidade da carne de vacas de descarte

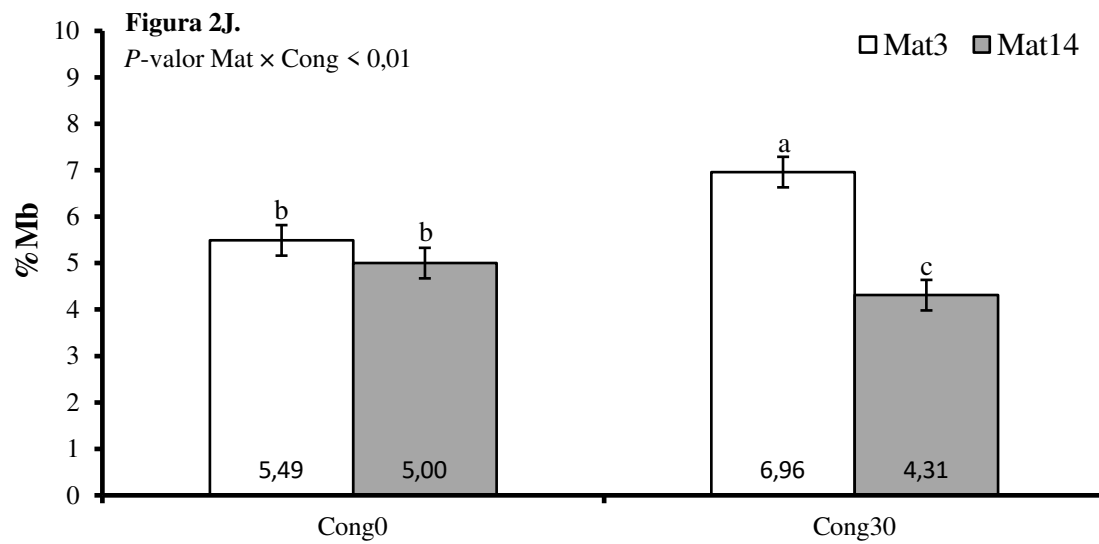
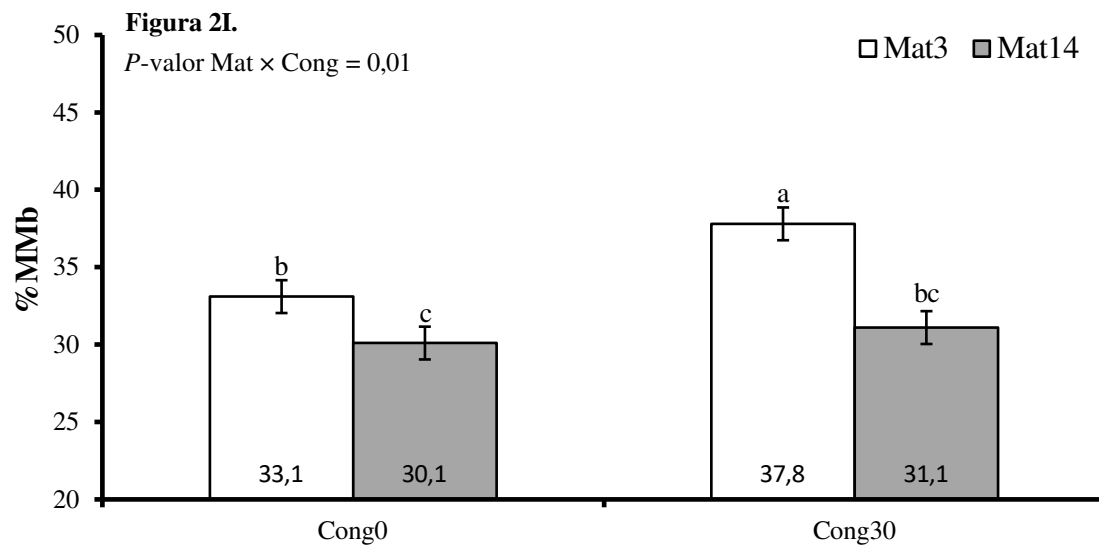
Items	Classe de Hidroxiprolina		EPM	P-valor
	Alto	Baixo		
L*	36,8	35,4	0,32	<0,01
a*	14,3	14,8	0,26	0,12
b*	13,3	12,7	0,20	0,13
C*	19,4	19,7	0,31	0,48
h*	43,2	41,0	0,49	<0,01
pH	5,63	6,04	0,04	<0,01
Hidroxiprolina	0,061	0,038	0,0009	<0,01
FC	30,2	30,0	0,76	0,25
%MMb	32,9	33,2	0,58	0,75
%Mb	5,35	5,53	0,26	0,63
%O ₂ Mb	61,1	60,9	0,65	0,83

A mediana dos valores de hidroxiprolina de todas as amostras foi definida (0,049), e valores inferiores a mediana foram classificados como baixo hidroxiprolina, e valores acima da mediana, como alto hidroxiprolina; EPM = erro padrão da média; L* = luminosidade; a* = intensidade da cor vermelha; b* = intensidade da cor amarela; C* = chroma; h* = ângulo de tonalidade; pH = potencial hidrogeniônico; Hidroxiprolina = colágeno total; FC = força de cisalhamento; %MMb = metamioglobina %Mb = mioglobina; %O₂Mb = oximioglobina.









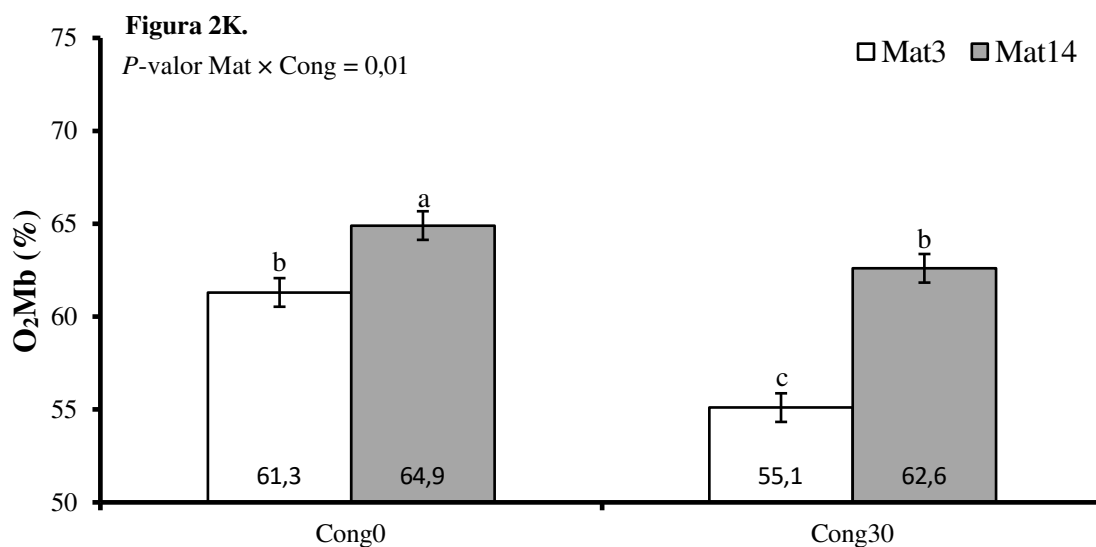


Figura 1. Interação entre congelamento e maturação sobre a qualidade da carne de vacas de descarte. Mat3 = maturação por 3 dias; Mat14 = maturação por 14 dias; Cong0 = sem congelamento; Cong30 = congelamento por 30 dias; L* = luminosidade; a* = intensidade da cor vermelha; b* = intensidade da cor amarela; C* = chroma; h* = ângulo de tonalidade; pH = potencial hidrogeniônico; Hidroxiprolina = colágeno total; FC = força de cisalhamento; %MMb = metamioglobina; %Mb = mioglobina; %O₂Mb = oximioglobina. ^{a-c}Representam diferenças ($P \leq 0,05$) ou tendências ($P \leq 0,10$) entre tratamentos.

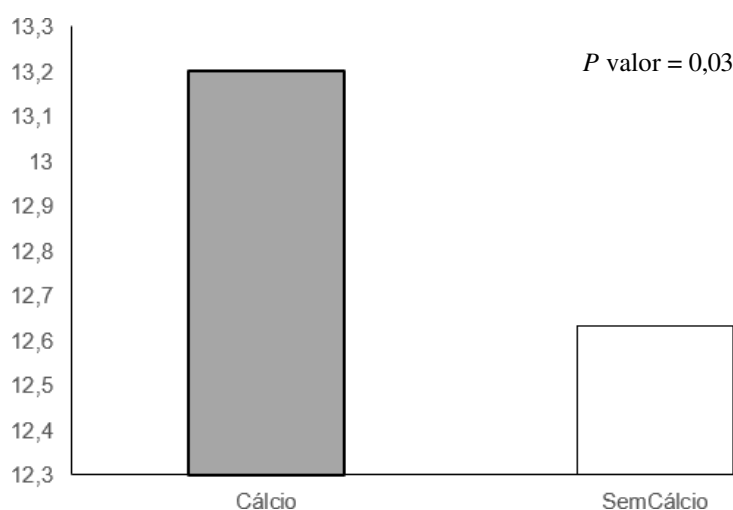
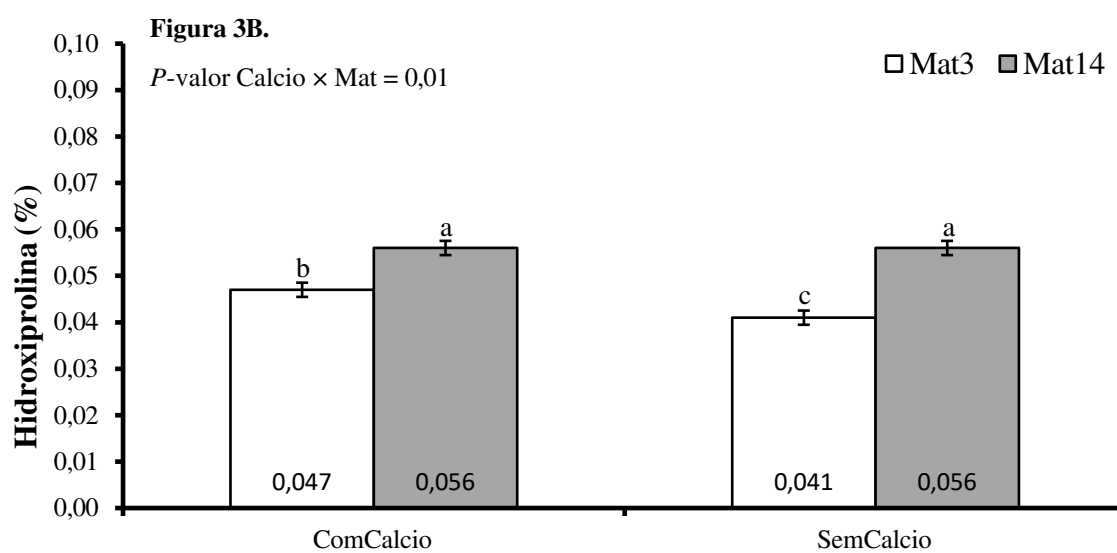
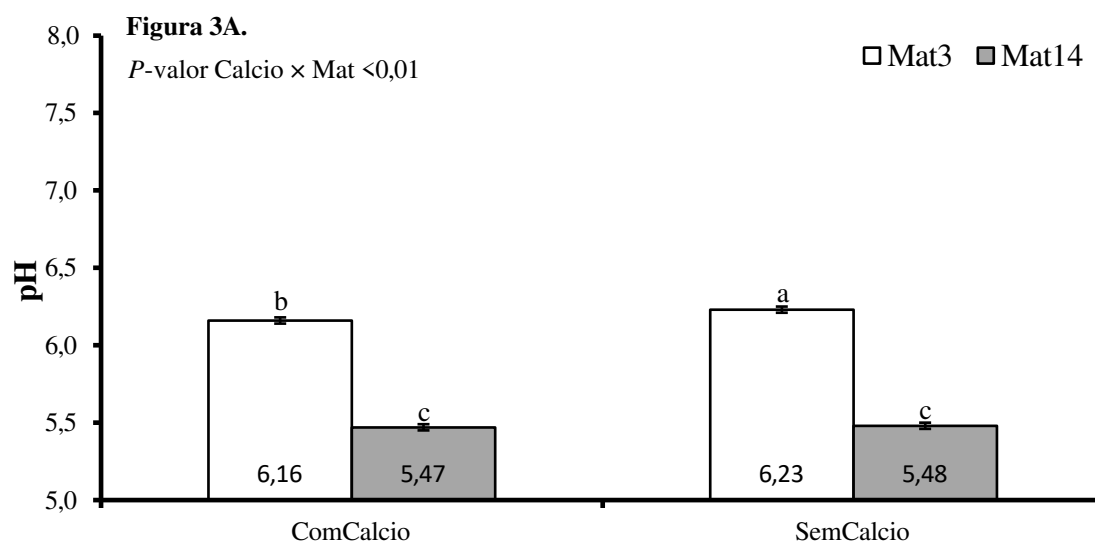


Figura 2. Efeito do cálcio sobre os valores médios de b* da carne de vacas de descarte.



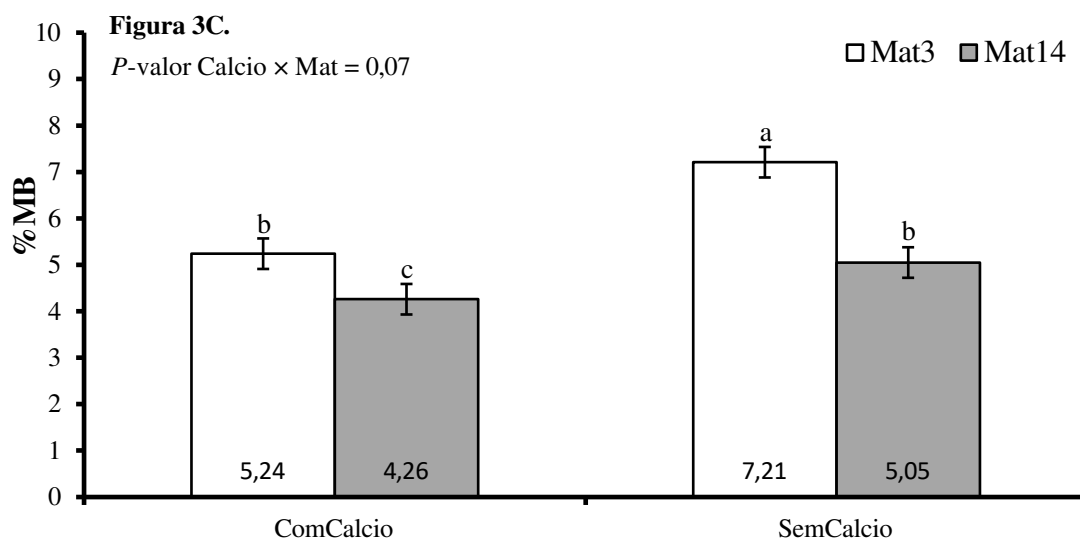


Figura 3. Interação entre cálcio e maturação sobre a qualidade da carne. ComCálcio = com aplicação; SemCálcio = sem aplicação; Mat3 = maturação por 3 dias; Mat14 = maturação por 14 dias; Cong0 = sem congelamento; Cong30 = congelamento por 30 dias; pH = potencial hidrogeniônico; Hidroxiprolina = colágeno total; %Mb = mioglobina. ^{a-c}Representam diferenças ($P \leq 0,05$) ou tendências ($P \leq 0,10$) entre tratamentos.

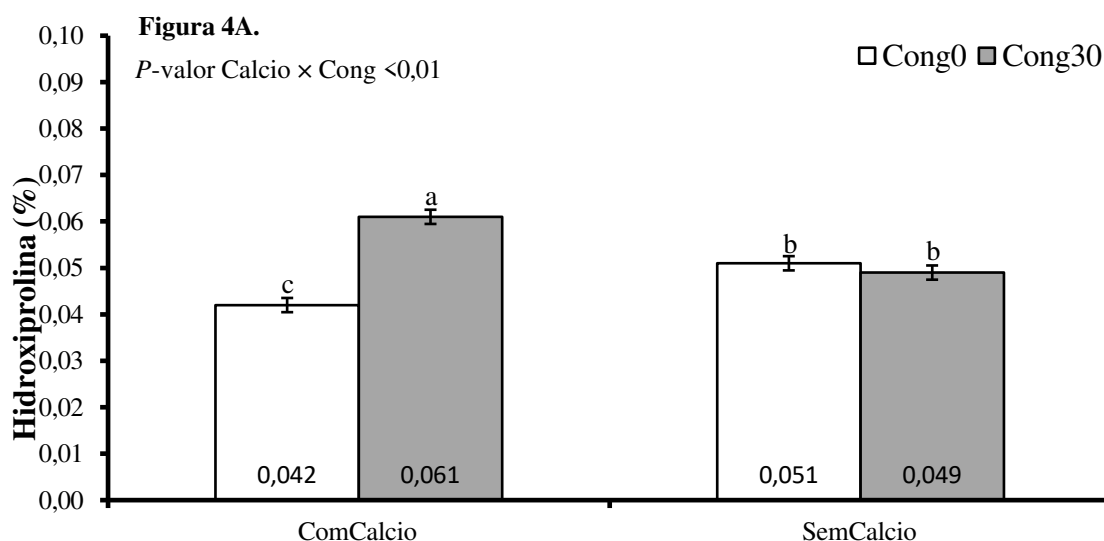


Figura 4. Interação entre cálcio e congelamento sobre a concentração de hidroxiprolina na carne. ComCálcio = com aplicação; SemCálcio = sem aplicação; Cong0 = sem congelamento; Cong30 = congelamento por 30 dias. Hidroxiprolina = colágeno total. ^{a-}
^bRepresentam diferenças ($P \leq 0,05$) ou tendências ($P \leq 0,10$) entre tratamentos.

CAPÍTULO 3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da expectativa de que o cloreto de cálcio acelerasse o processo de amaciamento, os resultados obtidos não demonstraram esse efeito de forma significativa, reforçando o papel fundamental da maturação. Da mesma forma, a maturação prolongada, especialmente em carnes congeladas, pode ser uma estratégia importante para garantir carnes de alta qualidade, com melhor sabor, maciez e suculência.

Com base nesse estudo, é possível ressaltar que a integração dessas técnicas - injeção de cálcio, congelamento e maturação - oferecem um caminho promissor para a indústria de carnes, permitindo o controle de características qualitativas desejáveis e agregando valor ao produto final. Estudos voltados para a qualidade da carne de animais de descarte (classificadas com oito dentes incisivos permanentes), contribuem para o surgimento de novas tecnologias, visto em poucos estudos com animais com tais classificação. Futuros estudos, no entanto, devem continuar investigando a interação desses fatores e sua aplicação prática, bem como os efeitos a longo prazo nas propriedades nutricionais e na aceitação do consumidor.