



LUCAS EDUARDO FERREIRA

**AVALIAÇÃO DO CONGELAMENTO E DA MATURAÇÃO A
SECO NA QUALIDADE DA CARNE DE BOVINOS NELORES
CLASSIFICADAS COMO DFD**

LAVRAS - MG

2021

LUCAS EDUARDO FERREIRA

**AVALIAÇÃO DO CONGELAMENTO E DA MATURAÇÃO A SECO NA QUALIDADE
DA CARNE DE BOVINOS NELORES CLASSIFICADAS COMO DFD**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia de Alimentos,
para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador

Prof. Dr. Eduardo Mendes Ramos

Coorientadora

Dra. Gabriela de Barros Silva Haddad

LAVRAS – MG

2021

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Ferreira, Lucas Eduardo.
AVALIAÇÃO E DA MATURAÇÃO A SECO NA
QUALIDADE DA CARNE DE BOVINOS NELORES
CLASSIFICADOS COMO DFD / Lucas Eduardo Ferreira. - 2021.
40 p.

Orientador(a): Eduardo Mendes Ramos.
Coorientador(a): Gabriela de Barros Silva Haddad, Douglas
Roberto Guimarães Silva.
TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2021.
Bibliografia.

1. Carne DFD. 2. Congelamento. 3. Maturação a seco. I.
Ramos, Eduardo Mendes. II. Haddad, Gabriela Barros. III.
Guimarães, Douglas Roberto. IV. Título.

LUCAS EDUARDO FERREIRA

**AVALIAÇÃO DO CONGELAMENTO E DA MATURAÇÃO A SECO NA QUALIDADE
DA CARNE DE BOVINOS NELORES CLASSIFICADAS COMO DFD**

Trabalho de Conclusão de curso apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia de Alimentos,
para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 13/05/2021

Profª. Dra. Alcinéia de Lemos Souza Ramos UFLA

Dr. Douglas Roberto Guimarães Silva UFLA

Prof. Dr. Eduardo Mendes Ramos

Orientador (UFLA)

LAVRAS – MG

2021

Aos meus pais que foram meu apoio.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela possibilidade de ter chegado até aqui mesmo em meio a tantos obstáculos. Aos meus pais Edlane e Jaquisson, por todo o apoio e carinho, mesmo que às vezes em tempos difíceis. A minha avó Lurdes pelo amor sempre acolhedor e palavras de incentivo. E a todos os meus outros familiares pelo apoio.

A Universidade Federal de Lavras, em especial, ao Departamento de Ciências dos Alimentos, pela oportunidade de formação acadêmica, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; processo no. 430206/2016-0) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG; APQ CVZ 02904-17) pelo financiamento do projeto, e ao CNPq pela concessão da bolsa de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq) relacionadas a este TCC.

Ao meu orientador, Prof. Eduardo Mendes Ramos, por ser sinônimo de sabedoria, por essa orientação, pelo apoio, incentivo e, principalmente, pela paciência. Obrigada pela confiança em mim depositada

A Prof. Alcinéia de Lemos Souza Ramos por abrir as portas do Laboratório de Carnes, pela coorientação, ensinamentos, apoio e incentivo. Gabriela e Douglas pela orientação e ajuda na realização desse trabalho.

Aos meus colegas de trabalho do Laboratório de Carnes pelo apoio e experiência compartilhada em especial aos que se tornaram grandes amigos: Ana Paula, Sâmia, Amanda Amador e Douglas.

Aos meus amigos de Barroso pelo apoio e por serem minha distração em momentos mais leves: Leo, Ian, Duda, Natiely, Paola e Rafaela.

A todos que, de alguma forma, participaram deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A maciez da carne bovina é o atributo mais importante em sua comercialização, motivo pelo qual a indústria tem buscado maneiras de valorizar esse atributo. Nesse quesito a maturação a seco tem ganhado destaque, pois a carne mantida exposta ao ambiente perde rapidamente água por evaporação na superfície, criando uma barreira impermeável que permite melhorar não só a maciez, como outros atributos. Outra técnica que se destaca na melhora da maciez é o congelamento, pois favorece a proteólise e o amaciamento da carne, no entanto a grande desvantagem associada ao congelamento prévio à maturação é o menor rendimento do processo devido às perdas por descongelamento. Desta forma o presente projeto teve como objetivo avaliar a influência do congelamento no processo de maturação a seco de carnes com alto valor de pH final consideradas DFD. Para isso, foram utilizados contrafilés de seis bovinos da raça Nelore previamente considerados DFD. Cada contrafilé foi serrado, mantendo-se a base óssea, destinada às análises do tempo zero, e três seções, que foram pesadas e aleatorizadas nos tempos de maturação (14, 28 e 42 dias). Os contrafilés do lado direito foram maturados, já os esquerdos foram previamente congelados para em seguida serem maturados. A partir daí foram realizadas análises físico-químicas, tecnológicas e de perdas durante o processo. As perdas no processo e características físico-químicas foram afetadas ($P < 0,01$) pela qualidade da carne onde os cortes considerados DFD obtiveram menores perdas durante o processo. Os diferentes tratamentos aplicados e o tempo de maturação também afetaram ($P < 0,01$) as perdas durante o processo onde o tratamento congelado apresentou maiores perdas do início ao fim do processo. Os diferentes tratamentos (controle e congelado) não afetaram ($P > 0,01$) os conteúdos de colágeno, índice de fragmentação e a força de cisalhamento, porém estes foram afetados ($P < 0,01$) pelo tempo de maturação, tornando a carne mais macia. Os índices relacionados a cor instrumental foram afetados pelos tratamentos sendo o congelado, que obteve menores intensidades que o controle, os tempos de maturação também foram afetados, onde em maiores tempos condiziam com carnes de menos brilho e cor. Concluindo que a maturação e o congelamento foram técnicas eficientes que apesar de gerar uma grande perda final no produto conseguiram melhorar consideravelmente a maciez da carne de nelores considerados DFD.

Palavras-chaves: Maciez, grau fragmentação, colágeno, cor, anomalia DFD.

ABSTRACT

The tenderness of beef is the most important attribute in its commercialization, which is why the industry has been looking for ways to value this attribute. Dry aging has gained prominence, as meat kept exposed to the environment quickly loses water through evaporation in the surface, creating an impermeable barrier that improves not only tenderness but other attributes. Another technique that improves the tenderness is freezing, as it favors the proteolysis and tenderization of the meat, however, the great disadvantage associated with freezing before aging is the lower yield of the process due to defrost losses. Thus, the present project aims to evaluate the influence of freezing on the dry-aging process of meat with a high final pH value considered DFD. For that, Longissimus thoracis muscles of six Nellore cattle previously considered DFD were used. Each meat was sawn, maintaining the bone base, obtaining a section of approximately 5 cm, destined to the analysis of time zero, and three sections of approximately 12 cm each that were weighed and randomized aging times (14, 28, and 42 days). Where the Longissimus thoracis muscles went directly to aging, the left ones were previously frozen and then aged. From there, physicochemical, technological, and loss analyzes were carried out during the process. The losses in the process and physicochemical characteristics were affected ($P < 0.01$) by the quality of the meat where the cuts considered DFD obtained fewer losses during the process. The different treatments applied and the aging time also affected ($P < 0.01$) the losses during the process where the frozen treatment showed greater losses from the beginning to the end of the process. The different control and frozen treatments did not affect the degrees of collagen, fragmentation index, and shear force that are characteristic of meat tenderness, whereas the aging time affected both parameters ($P < 0.01$) making the meat tender. The indices related to instrumental color were affected by treatments where the frozen treatment had lower intensities than the control, the aging times also affected longer times matched meat of less brightness and color. Concluding that the aging process and freezing generated great losses but if more tender besides affecting other parameters.

Keywords: Tenderness, fragmentation degree, collagen, color, DFD anomaly.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1 Mercado brasileiro da carne bovina.....	14
2.2 Maturação	14
2.2.1 Maturação úmida.....	15
2.2.2 Maturação a seco	16
2.3 Carne DFD	17
2.4 Efeitos do alto valor de pH final na maturação da carne	18
2.5 Efeitos do congelamento na maturação da carne.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Seleção e obtenção das amostras	22
3.2 Perdas de massa e rendimento	23
3.3 Análises físico-químicas e tecnológicas	23
3.4 Análise estatística	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Perdas de processo e características físico-químicas.....	26
4.2 Colágeno, grau de fragmentação e força de cisalhamento.....	31
4.3 Pigmentos heme e cor instrumental	34
5 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS	40
APÊNCIDE A	44

1 INTRODUÇÃO

A elevada competitividade do mercado e a exigência crescente quanto à qualidade da carne por parte do consumidor obriga o setor a controlar e otimizar todos os fatores que a condicionam, tanto durante a fase de produção, como durante o abate e processamento tecnológico das carcaças e carnes. Para a carne bovina, a maciez é o atributo de qualidade mais importante na comercialização do produto.

Recentemente, tem-se dado atenção a antiga forma de maturar a carne, que é exposta diretamente às condições de refrigeração, sem a proteção da embalagem, em um processo conhecido como maturação a seco (*dry aging*). Na maturação a seco a carne perde rapidamente água por evaporação na superfície, criando uma barreira impermeável (“crosta”) que permite melhorar outros atributos além da maciez, como os de aroma e sabor da carne.

O processo de maturação envolve alterações oriunda da atividade proteolítica de enzimas endógenas responsáveis pela desestruturação das fibras musculares e pelo enfraquecimento do tecido conjuntivo, implicando no amaciamento da carne. No entanto, quase 80% do rebanho bovino brasileiro é composto pela raça Nelore (genótipo *Bos indicus*), que apresentam uma menor proteólise durante a maturação, ocasionando em carnes menos macias quando comparada ao gado europeu (genótipo *Bos taurus*).

Na tentativa de melhorar a maciez da carne bovina brasileira utilizando processos pós abate, várias pesquisas têm demonstrado que o congelamento prévio à maturação favorece a fragmentação miofibrilar (proteólise) e o amaciamento da carne, no entanto a grande desvantagem associada ao congelamento prévio à maturação é o menor rendimento do processo devido às perdas por descongelamento.

Outro fator importante para a maciez de carnes é sua correlação positiva com os valores de pH final (pH_f) medido 24 horas *post mortem*. Carnes com valores de pH_f anormalmente elevados tem reflexos na qualidade final da carne pode apresentar uma textura firme, aparência seca (não-exsudativa) e coloração extremamente escura, sendo classificada como DFD (*dark, firm and dry*). Apesar de sua aparência escura a carne DFD possui elevada capacidade de retenção de água (CRA) e tem sido relatada na literatura como uma carne macia, devido a uma maior proteólise durante a maturação.

Desta forma o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do congelamento no processo de maturação a seco de carnes com alto valor de pH final. A premissa básica é que as características tecnológicas destas carnes, como alta capacidade de retenção de água (CRA) e maior proteólise, sejam adequadas para otimizar o amaciamento da carne de animais da raça Nelore.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Mercado brasileiro da carne bovina

A bovinocultura ocupa posição de destaque no contexto do agronegócio, e é responsável pela renda de milhões de brasileiros e pela geração de emprego nas diversas áreas do conhecimento. Atualmente o Brasil possui o segundo maior rebanho do mundo, perdendo somente para a Índia. Em produção de carne, o Brasil fica atrás somente dos Estados Unidos, que possui uma produção de 10.818,5 mil toneladas equivalente carcaça (TEC), enquanto o Brasil produziu cerca de 9.561,1 mil TEC, no ano de 2015, sendo o segundo país com maior exportação de carnes do mundo (1.882,0 mil TEC) (ABIEC, 2016).

A raça que representa o Brasil nesta atividade é o Nelore (*Bos indicus*) e apresentam características que favorecem sua criação no país em contrapartida a animais do grupo genético *Bos taurus*, os quais, segundo Whipple et al. (1990) são mais sensíveis aos efeitos do clima tropical e subtropical existente no Brasil. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne, aponta que 80% do rebanho brasileiro são compostos por animais zebuínos (*Bos indicus*), onde 90% destes estão representados pela raça Nelore.

Quanto à qualidade da carne, diversos estudos apontam significativas diferenças entre carnes de *Bos taurus* x *Bos indicus*. A extensão da proteólise induzida pelas calpaínas difere entre *Bos indicus* e *Bos taurus* e diversos trabalhos mostram que à medida que a proporção de *B. indicus* aumenta, ocorre uma redução na maciez da carne (CROUSE; CUNDIFF; KOCH, 1989; MARSHALL, 1994; RESTLE; VAZ; QUADROS, 1999; WHIPPLE et al., 1990).

Devido a esses fatores e a grande maioria da carne bovina brasileira ser descendente de *B. indicus* observa-se um grande apelo pela maturação que acaba se tornando uma maneira eficiente de obter uma melhor maciez desse tipo de carne.

2.2 Maturação

A maturação consiste no armazenamento refrigerado da carne, após o *rigor mortis*, durante um período de 7 a 28 dias, sendo um processo complexo que envolve muitas variáveis como idade, espécie, raça, quantidade e solubilidade do colágeno, comprimento do sarcômero

das miofibrilas, velocidade de glicólise, força iônica e degradação das miofibrilas (FELÍCIO, 1993). É realizada pelo armazenamento da carne *in natura* acima de seu ponto de congelamento (-1,5 °C), geralmente sob temperatura de refrigeração que varia de 0 a 4 °C (ZEOLA et al., 2007).

O processo de maturação consiste em diversas alterações bioquímicas que ocorrem no músculo esquelético após a morte do animal, onde várias enzimas, presentes naturalmente no músculo, compõe um sistema envolvido na proteólise muscular (TOLDRÁ; FLORES; ARISTOY, 1995). Nesse processo a ação de enzimas endógenas responsáveis pela maciez da carne é prolongada, melhorando outras características sensoriais, como sabor e suculência. As principais enzimas presentes nessa atividade são as calpaínas e as catepsinas, capazes de hidrolisar as proteínas miofibrilares. As miofibrilas são estruturas contráteis que se encontram exclusivamente no interior da fibra muscular, e são responsáveis pela aparência estriada do músculo esquelético.

O sarcômero é considerado como a unidade básica das miofibrilas e são responsáveis pelos ciclos de contração e relaxamento. Na contração muscular os filamentos da proteína actina deslizam sobre os de miosina (ZEOLA et al., 2007) ocasionando um encurtamento do sarcômero o que é capaz de diminuir a maciez da carne.

Alves et al. (2005) demonstraram que carnes de animais com 75% de sangue zebuíno, submetidas a 10 dias de maturação, apresentaram força de cisalhamento semelhante ao da carne de animais Angus que não passaram pelo processo de maturação, comprovando a eficácia desse processo no que se refere à maciez da carne (AROEIRA, 2014).

Atualmente se destacam dois tipos diferentes de maturação da carne, maturação úmida ou *wet aging* e maturação a seco ou *dry aging* (AHNSTRÖM et al., 2006, CAMPBELL et al., 2001).

2.2.1 Maturação úmida

A maturação úmida (*wet aging*) é o processo tradicionalmente utilizado pela indústria e consiste em manter as carnes embaladas a vácuo sob refrigeração (0 a 1°C) por um período de 14 a 21 dias antes da sua comercialização (GOMIDE et al., 2013). Desenvolvido na década de 1960 esse tipo de processo ganhou amplo reconhecimento na indústria de carne por ser mais

prático, devido à sua conveniência durante o armazenamento e transporte, e por ter poucas perdas durante o processo de maturação (WARREN; KASTNER, 1992).

2.2.2 Maturação a seco

Maturação a seco, ou (*Dry aging*), é um procedimento que envolve estocar carcaças inteiras e, ou, cortes cárneos em câmaras refrigeradas com umidade controlada sem uso de nenhuma embalagem (SITZ et al., 2006). Embora a maior parte da carne maturada consista em produtos obtidos pela maturação úmida, os fornecedores de carne maturada a seco relatam que o desenvolvimento de sabor particular é o principal motivo para a produção desse produto.

No entanto, o processo de maturação a seco também possui desvantagens em relação à maturação úmida: a carne sofre maior taxa de perda de peso devido à perda de umidade durante a maturação e a remoção das aparas (consistindo da retirada das superfícies ressecadas da peça) causando o aumento dos custos de produção e, conseqüentemente, do preço final da carne (STENSTRÖM et al., 2014; PARRISH et al., 1991). As perdas de peso decorrentes da perda de umidade durante a maturação a seco variam normalmente entre 9 e 15%, enquanto as perdas devido a maturação úmida variam entre 0,7 e 3%. As perdas decorrentes das superfícies ressecadas (aparas), nas carnes maturadas a seco, podem chegar a 24% (KIM et al., 2016.).

O processo de maturação a seco não necessita de tecnologia avançada e pode ser utilizada em qualquer câmara fria com temperatura e umidade relativa controlada e, em muitos casos, apenas a temperatura controlada. Se tornado uma alternativa para estabelecimentos agregarem valor a seus produtos (SALLES, 2015).

Apesar de a maturação a seco ter potencial no mercado nacional, o processo é pouco conhecido pelos prováveis consumidores e é feito praticamente de forma artesanal, não havendo legislação específica que regulamente o processo, o que faz com que os produtores mantenham o processo na clandestinidade. No mercado europeu e norte americano, o processo é regularizado e comumente conduzido em carnes de animais taurinos, cuja maciez e o teor de gordura de marmoreio são comprovadamente maiores que no gado indiano (AROEIRA et al., 2016).

Recentemente Haddad (2020) avaliou o efeito do congelamento na maturação da carne de animais Nelores pelo processo de maturação a seco, onde a carne perde rapidamente água por evaporação na superfície, criando uma barreira impermeável (crosta) que permite melhorar outros atributos além da maciez, como aqueles associados aos sentidos do paladar e olfato, mas perde em rendimento.

Bernardo (2019) avaliou os efeitos do congelamento, antes e após o maturação a seco, sobre os aspectos microbiológicos e físicos de qualidade química da carne bovina. Lombos de 12 carcaças foram distribuídos em quatro tratamentos e envelhecidos por 28 dias. O congelamento antes da maturação a seco não afetou as contagens microbianas em comparação aos tratamentos não congelados. No entanto, o congelamento aumentou (16%) a perda total do processo, não recomendando o congelamento prévio antes da maturação a seco.

2.3 Carne DFD

Uma queda anormal do pH após a morte pode gerar anomalias na qualidade da carne. Com a interrupção imediata dos sistemas respiratório e circulatório no abate animal, o tecido muscular continua exercendo suas funções e produzindo ATP graças a uma reserva de nutrientes, principalmente de glicogênio, com o intuito de manter a integridade celular. No entanto, depois de exauridas todas as reservas de oxigênio celular, a produção de ATP passa a acontecer somente por vias anaeróbias, o que resulta a produção de ácido láctico. Uma vez que o sistema respiratório não existe mais para excretar este ácido do músculo, este se acumula no meio intracelular gerando a queda do pH muscular (GOMIDE et al., 2013).

Para bovinos a velocidade de queda do pH, assim como o pH final da carne, após 24 ou 48 horas é muito variável. Normalmente a glicose se desenvolve lentamente, o pH inicial (0 horas) em torno de 7,0 cai para 6,4 a 6,8 após 5 horas e para 5,5 a 5,9 após 24 horas em temperaturas de refrigeração convencionais (FERGUSON et al., 2001). Entretanto se, devido a deficiência nas reservas de glicogênio, o pH permanece após 24 horas acima de 6,2, tem-se o indício de carne escura, firme e não-exsudativa. A sigla DFD é derivada de termos em inglês que representam as primeiras letras das características de aparência (cor escura; *Dark*), textura (boa firmeza; *Firm*), e exsudação (baixa perda de líquido, neste caso

referente à aparência superficial – seca; *Dry*) típicas de uma condição atrelada à carne (GOMIDE et al., 2013).

A condição DFD é normalmente causada pelo estresse crônico induzido antes do abate. Esse tipo de anomalia ocorre principalmente em animais de fibras vermelhas, como bovinos, em que o pH final *post mortem* permanece muito próximo ao fisiológico havendo muito pouca desnaturação das proteínas. O pH em torno de 6,0 tem sido considerado como divisória entre cortes normais e cortes do tipo DFD, porém alguns autores também utilizam valores de 6,2 a 6,3. No Brasil os frigoríficos só exportam carne com pH menor que 5,8 avaliado diretamente no músculo 24 horas após a morte (ROÇA, 2001). A incidência de carne DFD é bastante variável para cada país na Finlândia chega a 22%, 3,2% na Irlanda, 3,6% na França, 4,1% na Grã Bretanha. Quando observado em função da idade e sexo do animal a incidência varia de 1% a 5% para novilhos e novilhas, 6% a 10% para vacas e 11% a 15% para machos adultos. (ROÇA, 2001).

Em levantamento mais recente feito pela Auditoria Nacional da Qualidade da Carne Bovina (*National Beef Quality Audit*), programa que fornece informações sistemáticas aos produtores e consumidores de carne bovina dos EUA, 1,9% dos bovinos exibiram características de “corte escuro” (*dark cutting*), ou carne DFD (BOYKIN et al., 2017). Neste levantamento, foram avaliados cerca de 4,5 milhões de carcaças bovinas nos EUA no ano de 2016, o que significa que cerca de 85 mil carcaças eram DFD.

2.4 Efeitos do alto valor de pH final na maturação da carne

O alto pH final da carne, como consequência das reservas de glicogênio muscular esgotadas antes do abate, afeta muito a qualidade da carne. Nesta condição se tem uma cor mais escura e maior susceptibilidade a deterioração bacteriana. No entanto, esta carne está associada a uma taxa mais alta de amaciamento (WATANABE; DALEY & DEVINE, 1996) ou com uma melhor sensibilidade final.

Existem três sistemas enzimáticos responsáveis pela proteólise dos componentes estruturais das miofibrilas: o sistema das catepsinas; o complexo multicatalítico de proteases (MCP); e o sistema enzimático das calpaínas (KOOHMARAIE, 2006; NOWAK, 2011).

No processo de maturação, a ação de enzimas endógenas responsáveis pelo amaciamento da carne é prolongada. O principal mecanismo proteolítico que está relacionado a essa maciez é o complexo das calpaínas, que são enzimas cálcio dependentes ativadas durante a queda do pH final após a morte. Este complexo enzimático apresenta três componentes principais: 1) calpaína tipo I ou μ -calpaína; 2) calpaína tipo II, ou m-calpaína; e 3) calpastatina (KOOHMARAIE, 1994; VOLPELLI et al., 2005).

A Calpaína tipo I é basicamente a chave para a proteólise sendo ativada através do ion cálcio (KOOHMARAIE et al., 2002). Kim, Luc e Ronsevold (2013), analisando carnes de cordeiros, demonstraram cordeiros que tiveram uma maior extensão da atividade da μ -calpaína resultaram em uma maior degradação miofibrilar. Já a m-calpaína, se a carne não for tratada com níveis milimolares de cálcio não consegue afetar a maciez. Em contra partida a calpastatina tem efeito inibidor e também é ativada através do ion cálcio (BOEHM et al., 1998).

As calpaínas não atuam diretamente sobre a miosina e a actina, porém degradam as linhas-Z e digerem as proteínas desmina, titina, nebulina, tropomiosina, troponina e proteína C, desestruturando o sarcômero, que é a unidade funcional do músculo.

Acredita-se que os valores de pH final após a morte estejam diretamente ligados ao amaciamento da carne, pois o processo de degradação das proteínas miofibrilares é completamente dependente do pH presente no músculo. A μ -calpaína é ativada na queda de pH de 6,8 para aproximadamente pH 5,7. Já a m-calpaína é ativada quando o pH está em torno de 5,7 e é responsável pela continuidade do processo de amaciamento, estando ativa em torno das 16 h *post mortem* e assim permanecendo por longos períodos (KOOHMARAIE, 1994; VOLPELLI et al., 2005). Assim, em pH final alto (>6,2) apresenta-se um rápido amaciamento atribuído à degradação das proteínas pela ativação imediata da μ -calpaína. No caso de pH final baixo (<5,8) a degradação ocorre principalmente pela ação das catepsinas, em faixa de pH final intermediário (5,8 a 6,2), tem sido sugerido que a dureza da carne apresenta-se como resultado do pH se distanciar do valor ótimo para a atuação de ambos os sistemas de enzimas proteolíticas (LOMIWES et al. 2014).

Beltrh et al. (1996), analisando os efeitos de altos valores de pH final na maciez da carne bovina, puderam observar um efeito altamente significativo sobre os paramentos

sensoriais da carne. A força de cisalhamento foi significativamente menor para cortes DFD, enquanto não houve diferença significativa para pH normal intermediário ambos os parâmetros sensoriais, suculência, estavam diretamente relacionados ao pH; ou seja, quanto maior o pH, mais macio e suculento a carne. Os resultados demonstraram claramente que a sensibilidade aumentou com o aumento do pH, pelo menos quando valores de pH acima de 6,0 foram considerados.

Purchase (1990) observou que os valores da força de cisalhamento da carne eram mais altos pH final de 6,0. Bouton et al. (1971) observaram uma diferença três vezes em maciez de carneiro entre carcaças com valores finais de pH entre 5,9 e 7,0. Além disso, Bouton et al. (1973) relataram que o músculos *longissimos* das carcaças de bovinos suspensos no tendão de Aquiles foram os mais duros dentro da faixa de pH de 5,8 a 6,0. Indicando a alta relação entre os altos valores de pH final e macies da carne.

2.5 Efeitos do congelamento na maturação da carne

O congelamento é uma técnica de conservação de alimentos utilizada há milhares de anos devido à alta eficiência deste método, o congelamento e posterior descongelamento são, no entanto, processos complexos que envolvem a transferência de calor, bem como alterações químicas e físicas que podem afetar a qualidade desse produto (GAMBUTEANU; BORDA; ALEXE, 2013). O grau de maturação antes do congelamento, o tipo (rápido ou lento), bem como as condições de armazenamento durante esse processo são fatores que devem ser considerados quando se estuda o congelamento.

O congelamento afeta a qualidade da carne e tem como principal fenômeno o crescimento de cristais de gelo que provocam a remoção osmótica da água, a desnaturação das proteínas e danos mecânicos onde as células, a mitocôndria além de outras organelas são rompidas em vários graus as enzimas liberadas e o exsudado se altera. O processo de congelamento leva à formação de cristais de gelo que podem danificar a estrutura celular (STUBY; LAMKEY; DOLEZAL, 1993) e parte das células que foram rompidas durante esse processo, passam para os espaços intercelulares, formando ao descongelar exsudados denominados “purga”.

Quanto mais rápido ocorrer o congelamento, menor será a quantidade de cristais de gelo formado, resultando em menor dano celular. Añón e Calvelo (1980) demonstraram a influência da taxa de congelamento sobre a formação de cristais de gelo que provocam danos físicos nas microestruturas celulares.

No congelamento lento, como a temperatura da carne permanece próxima do ponto de congelação inicial durante muito tempo, dá-se a formação de grandes cristais, inicialmente na área extracelular. Estes aumentam seu tamanho devido à água das células que atravessam a membrana por um mecanismo de osmose. Ocorre ainda um dano mecânico à célula, em razão da formação de grandes massas de gelo e do encolhimento das fibras musculares, que perdem água para os acúmulos extracelulares. Dessa forma, a perda de água, durante o processo de descongelamento será maior (ABERLE et al., 2001). Na taxa de congelamento rápido, inicialmente, são formados numerosos cristais de gelo menores, enquanto no congelamento lento, ocorre a desidratação parcial da fibra provocada pela migração de fluido sarcoplasmático para a área extracelular, onde se forma o gelo (GAMBUTEANU; BORDA; ALEXE, 2013).

Tanto o congelamento quanto a maturação são processos que contribuem para a maciez da carne e a junção de ambos é de se esperar que tenha um efeito ainda maior sobre esse atributo de qualidade. Assim, o ato de congelar as carnes antes de maturá-las vem sendo estudado por alguns autores (FAROUK; WIELICZKO; MERTS, 2003; LAGERSTEDT et al., 2008; SHANKS; WULF; MADDOCK, 2002; WHEELER et al., 1990).

Grayson et al. (2014) observaram que, ao congelar carnes e posteriormente maturá-las, os valores de força de cisalhamento eram menores, indicando carnes mais macias. Segundo esses autores, o amaciamento foi resultante do favorecimento da proteólise e da formação de cristais de gelo na carne. Resultados semelhantes foram descritos por Carolino et al. (2008) em amostras do músculo *longissimus dorsi* de animais das raças Alentejanas e Mertolenga, submetidas à maturação por 10 dias a 2 °C, logo após a desossa ou congeladas, descongeladas e maturadas nas mesmas condições.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia de Carnes e Derivados (LabCarnes) do Departamento de Ciência de Alimentos (DCA) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil.

3.1 Seleção e obtenção das amostras

Foram utilizados ambos os pares de contrafilés (filés de costela) de seis bovinos da raça Nelore (machos, com peso de carcaça quente entre 200 e 250 kg), obtidos 48 horas *post mortem* diretamente de um frigorífico com Inspeção Federal. Os contrafilés foram selecionados pela mensuração do pH do músculo *Longissimus thoracis* (LT), entre a 11^a e a 12^a costelas, utilizando um pHmetro portátil Testo 206-pH2 (Testo do Brasil, Campinas, SP, Brasil). O pH médio das medidas (em triplicata) foi utilizado para categorizar as carcaças em dois grupos: carnes com pH $\leq 5,80$, considerada de qualidade normal, com cor vermelha, textura firme e exsudação normal (RFN; pH = $5,63 \pm 0,08$; $n = 3$); e carnes com pH $> 5,80$, considerada carne anômala, com cor escura, textura firme e não-exsudativa (DFD; pH = $6,07 \pm 0,23$; $n = 3$).

Os contrafilés selecionados foram embalados, ainda com a base óssea (*bone-in ribeye roll*), e transportados para o LabCarnes, em caixas térmicas refrigeradas. Cada contrafilé foi serrado (serra-fita modelo SFO 1.69; C.A.F Máquinas; Rio Claro, SP, Brasil.), mantendo-se a base óssea, obtendo-se uma seção de aproximadamente 5 cm, destinada às análises do tempo zero de maturação (relativo a três dias *post mortem*), e três seções de aproximadamente 12 cm cada (unidade experimental; UE) que foram pesadas e aleatorizadas nos tempos de maturação (14, 28 e 42 dias). Os contrafilés direitos foram destinados diretamente ao processo de maturação (controle; não-congelados). Os contrafilés esquerdos foram embalados em filme plástico, congelados em congelador comercial (-20 °C) e mantidos congelados por 7 dias antes do descongelamento (4 °C/24 h), nova pesagem e maturação (HADDAD, 2020). O processo de maturação a seco ($4,4 \pm 1,2$ °C e $78,8 \pm 9,1\%$ de umidade relativa) foi conduzido em geladeira comercial (modelo GREP-4P; Gelopar; Chapada Araucária, PR, Brasil), sendo que a disposição de cada peça nas prateleiras da geladeira foi alterada, aleatoriamente, a cada sete dias, de forma a evitar qualquer efeito de posição entre os tratamentos.

3.2 Perdas de massa e rendimento

As perdas de massa durante os processos de congelamento/descongelamento (PMD) foram obtidas (Eq.1) antes da maturação das UEs. Em cada tempo de maturação, as UEs foram pesadas para cálculo (Eq.2) da perda de massa por evaporação (PME) e, então, desossadas e a superfície seca e descolorida (crosta) removida. Os ossos e as crostas foram pesados para cálculo das perdas de massa pela desossa (Desossa; Eq.3) e pela toaleta (Toaleta; Eq.4), respectivamente. Os cortes limpos e desossados foram novamente pesados para cálculo do rendimento (Eq.5).

$$PMD = 100 \times (P_i - P_d) / P_i \quad (\text{Eq.1})$$

$$PME = 100 \times (P_d - P_m) / P_i \quad (\text{Eq.2})$$

$$Desossa = 100 \times P_o / P_i \quad (\text{Eq.3})$$

$$Toaleta = 100 \times P_c / P_i \quad (\text{Eq.4})$$

$$Rendimento = 100 \times P_f / P_i \quad (\text{Eq.5})$$

Em que,

P_i = peso inicial da UE antes do congelamento/descongelamento;

P_d = peso depois do descongelamento e antes da maturação;

P_m = peso depois do período de maturação;

P_o = peso dos ossos;

P_c = Peso das crostas; e

P_f = Peso final da EU (amostras limpas e desossadas).

3.3 Análises físico-químicas e tecnológicas

Após a obtenção dos cortes, desossados e limpos, apenas a região da área do olho-de-lombo (músculo LT) foi utilizada na condução das análises.

O pH de cada peça foi medido utilizando um pHmetro portátil Testo 206-pH2 (Testo do Brasil, Campinas, SP, Brasil) em três diferentes pontos do músculo LT. Amostras de ~300 mg foram obtidas (em triplicata) e utilizadas para determinação da capacidade de retenção de água (CRA), pelo método de pressão em papel filtro (MPPF), conforme descrito por Aroeira et al. (2016).

Uma porção de ~100 g de cada peça foi removida e triturada para determinação por infravermelho próximo (NIR) da umidade e dos teores de proteína e gordura, utilizando aparelho FoodScan™ (FOSS Analytical A/S, Hillerød, Dinamarca). Destas porções, amostras foram obtidas (em triplicata) para determinação do teor de colágeno e suas frações e do grau de fragmentação. As frações solúveis e insolúveis do colágeno foram determinadas após aquecimento a 77 °C por 70 min e o teor de colágeno (mg/g) quantificado pela determinação do aminoácido hidroxiprolina, conforme descrito por Ramos e Gomide (2017). O teor de colágeno total foi obtido pela soma das frações solúvel e insolúvel e o percentual de colágeno solúvel calculado em relação ao teor de colágeno total. O grau de fragmentação miofibrilar foi determinado pelo índice de fragmentação (IF) descrito por Aroeira et al. (2016), determinado pelo peso (em g × 100) dos fragmentos retidos após trituração (Turrtec TE 102; TECNAL, Piracicaba, SP, Brasil) em solução de extração (sacarose 0,25 M e KCl 2 mM; razão 1:5 p/v) e filtração em malha de 250 µm.

Um bife de 2,5 cm de espessura foi obtido para as análises associadas à cor e maciez instrumental. Primeiramente, os bifes foram expostos ao ar atmosférico por 30 min (à temperatura ambiente) para oxigenação (*blooming*), quando foram realizadas as leituras de cor utilizando um colorímetro espectrofotométrico CM-700d (Kônica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japão), com abertura de porta de 8 mm, padronizado para mensuração com o iluminante A, ângulo de 10° para o observador em ambos os modos de luz especular excluída (SCE) e incluída (SCI). Cinco leituras (replicatas) foram conduzidas em diferentes pontos da superfície de cada bife. Os índices de cor (luminosidade, L^* ; índice de vermelho, a^* ; índice de amarelo, b^* ; saturação, C^* ; e ângulo de tonalidade, h) foram registrados a partir das leituras conduzidas no modo SCE (RAMOS; GOMIDE, 2017). Os valores de reflectância (de 400 a 710 nm) registrados no modo SCI foram utilizados na estimativa das proporções dos pigmentos químicos da mioglobina (metamioglobina, MMb; oximioglobina, OMB; e deoximioglobina, DMb), calculados pelo método matemático de Krzywicki (1979).

Após leitura da cor, os bifes foram utilizados para determinação da perda de massa no cozimento (PMC) e da força de cisalhamento. Amostras retangulares (8,0 x 4,0 cm, com ~2,5 cm de espessura) foram obtidas, pesadas, embaladas a vácuo (BS420; R.Baião, Ubá, MG, Brasil) em filme de nylon-polietileno e cozidas em banho-maria a 80 °C até temperatura interna de 71 °C (RODRIGUES et al., 2020). Após resfriadas por 1 h a 4 °C, as amostras foram removidas das embalagens, secas com papel toalha, novamente pesadas e o PMC calculado. De cada amostra cozida, seis seções cubóides (1,0 x 1,0 cm) foram obtidas no sentido das fibras musculares e cisalhadas transversalmente a 3,33 mm/s por uma lâmina tipo Warner-Bratzler (SILVA et al., 2015) em um texturômetro TA.XTplus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK). A força máxima (N) necessária para cisalhar por completo cada seção foi mensurada e a média das leituras utilizada por amostra.

3.4 Análise estatística

O experimento foi disposto em um delineamento de inteiramente casualizado (DIC), em um esquema fatorial de parcelas subdivididas, com as classes (RFN e DFD) na parcela, os tratamentos (congelado e não-congelado) na subparcela e os tempos de maturação (0, 14, 28 e 42 dias de maturação) na sub-subparcela, em três repetições (animais), totalizando 48 unidades experimentais. Os dados foram submetidos à ANOVA, considerando um nível de significância de 5%, e os efeitos significativos dos fatores foram avaliados pelo teste F ou Tukey ($P < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no *software* SAS, v. 9.2 (*Statistical Analysis System*; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Perdas de processo e características físico-químicas

A perda total por descongelamento (PMD) foi de $1,03 \pm 1,45\%$, mas houve um efeito da classe ($P = 0,030$), com as carnes DFD tendo menores perdas ($0,58 \pm 0,72\%$) do que as carnes RFN ($1,48 \pm 1,84\%$). O que pode ser explicado pelo fato de condição DFD ser causada pelo estresse crônico induzido antes do abate em que o pH final *post mortem* permanece muito próximo ao fisiológico havendo muito pouca desnaturação das proteínas tornando uma carne menos exsudativa e com menor perda de água (GOMIDE; RAMOS; FONTES, 2013).

As perdas de massa do corte durante a maturação e a composição química (umidade, proteína e gordura) e os valores de pH, capacidade de retenção de água e perda de massa de cozimento (PMC) estão representadas na Tabela 1. Em seguida são apresentadas figuras que destacam interações que foram consideradas significativas com relação a esses parâmetros.

A perda de massa por evaporação foi afetada ($P < 0,05$) pela interação da classe da carcaça com o tempo de maturação, sendo que menores perdas foram significativas apenas no 28º dia de maturação nas carnes DFD em comparação com as carnes RFN (Figura 1). Esse fato está diretamente associado ao maior pH carne DFD, o que diminui consideravelmente a quantidade de exsudado e perdas por evaporação. Da mesma forma, perante o congelamento que tende a aumentar a quantidade de líquido exsudado, a carne DFD apresentou menores perdas.

A perdas por evaporação e toaletes foram significativamente afetadas pela interação do tratamento com o tempo de maturação, enquanto a perda na desossa foi afetada por estes fatores isolados. Conseqüentemente, o rendimento foi significativamente afetado pelo tratamento e pelo tempo de maturação. No tratamento congelado/descongelado foi verificado maiores perdas por evaporação (Figura 2A) e toaletes (Figura 2C) a partir do 28º dia, enquanto as perdas por desossa (Tabela 1) foram maiores em todo o experimento. Isso porque a carne que foi congelada tende a ter uma maior perda de água, pois, o congelamento leva ao crescimento de cristais de gelo que provocam a remoção osmótica da água, a desnaturação das proteínas e danos mecânicos onde as células, a mitocôndria além de outras organelas são rompidas em vários graus as enzimas liberadas e o exsudado se altera (STUBY; LAMKEY; DOLEZAL, 1993).

Tabela 1 - Efeitos da classe, do tratamento e do tempo de maturação a seco nas perdas de massa de contrafilés, com osso, e na composição e características físico-químicas da carne (*L. thoracis*) de bovinos da raça Nelore.

Características	Classe		Tratamento		Maturação (dias)				EPM
	RFN	DFD	CONT	CONG	0	14	28	42	
Perdas (%) ¹									
Evaporação	17,75	15,87	15,29	18,03	0,00	14,61	23,34	28,68	1,66
Desossa	26,28	27,30	25,16 ^x	28,42 ^y	33,62 ^a	24,68 ^b	25,41 ^b	23,44 ^b	0,90
Toalete	9,33	7,99	8,39	8,93	0,00	9,66	12,02	12,95	0,89
Rendimento (%)	45,09	47,54	49,56 ^x	43,03 ^y	66,50 ^a	46,62 ^b	38,09 ^c	34,04 ^c	2,03
Composição (%)									
Umidade	71,48 ^x	73,32 ^y	72,84	71,96	73,54	73,32	72,39	70,34	0,33
Proteína	24,29 ^x	23,13 ^y	23,36	24,06	22,46	23,19	23,93	25,26	0,24
Gordura	2,80	1,96	2,42	2,37	2,68	1,80	2,40	2,71	0,18
Valor de pH	5,69 ^x	6,17 ^y	5,90	5,96	5,83	6,06	5,87	5,96	0,05
CRA	0,43	0,40	0,44	0,40	0,40	0,32	0,35	0,62	0,02
PMC	20,76	16,37	20,01	17,13	21,45	20,67	18,49	13,67	0,76

RFN = carne de cor vermelha, textura firme e exsudação normal; DFD = carne de cor escura, textura firme e não-exsudativa; CONT = controle, carne não-congelada; CONG = carne congelada (-20 °C/7dias), descongelada (4 °C/24 h) e maturada; EPM = erro padrão da média ($n = 48$); CRA = capacidade de retenção de água; e PMC = perda de massa no cozimento.

¹Perdas de massa a partir do corte contrafilé bovino com osso.

^{x,y} Médias seguidas de letras diferentes, entre as classes e os tratamentos, difere ($P < 0,05$) pelo teste F.

^{a,b} Médias seguidas de letras diferentes, entre dias de maturação, difere ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Figura 1 - Efeito (média ± erro padrão) da classe (RFN e DFD) nas perdas por evaporação em contrafilés bovinos, com osso, durante o processo de maturação a seco.

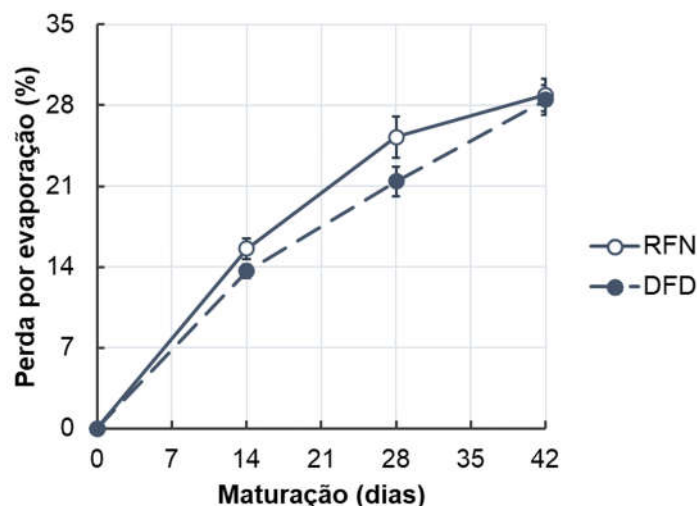
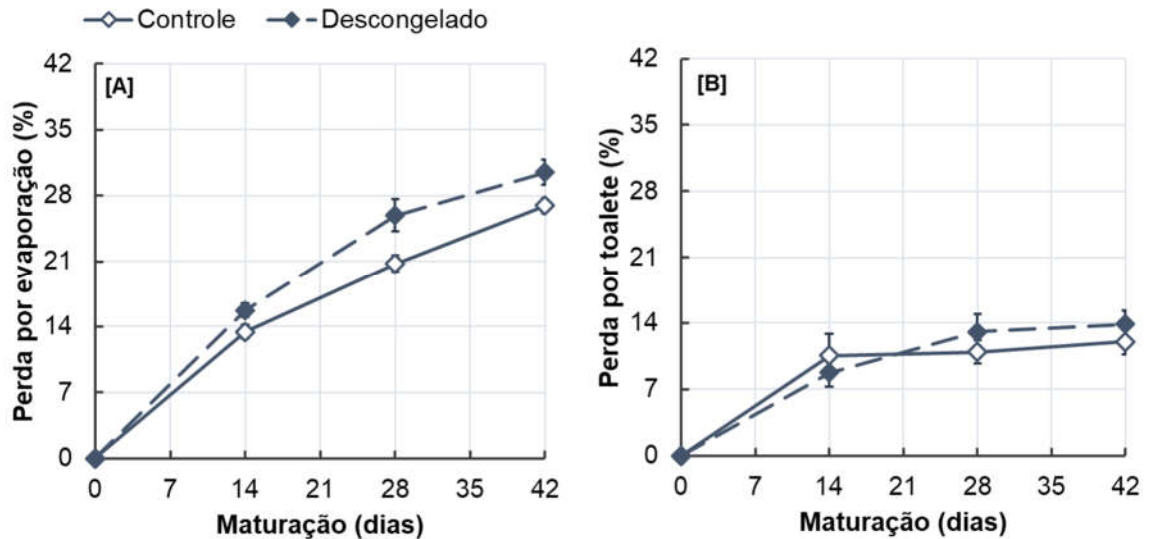


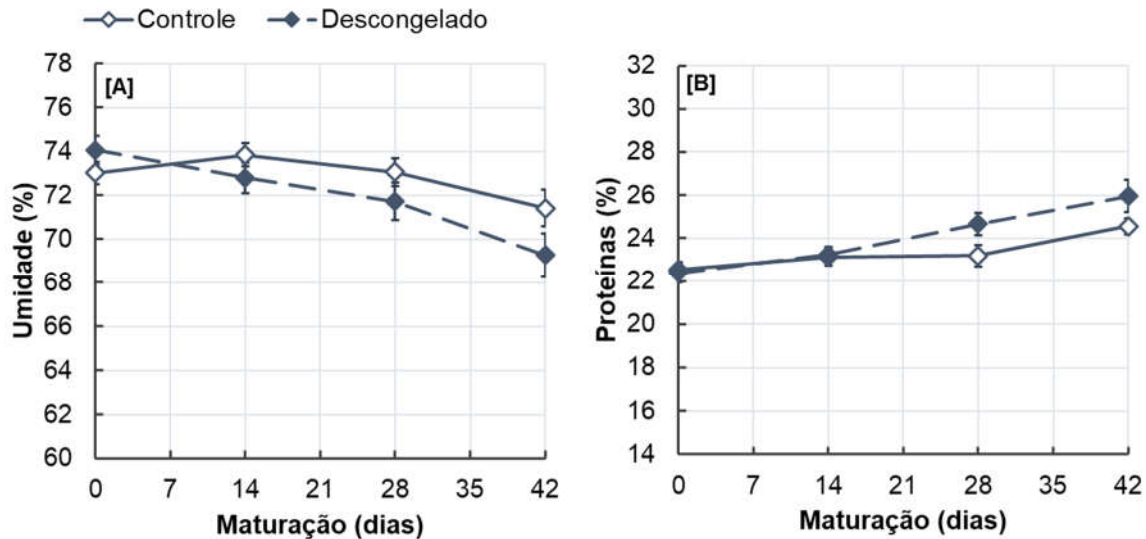
Figura 2 - Efeito (média \pm erro padrão) do tratamento (controle e descongelado) nas perdas de massa por evaporação e toalete de contrafilés bovinos, com osso, durante o processo de maturação a seco.



De forma geral, o tempo de maturação afetou ($P < 0,05$) as perdas por toalete, evaporação e o rendimento final do processo. As perdas por toalete eram sempre maiores com maiores tempos de maturação o que se justifica pela formação de uma crosta cada vez mais espessa com o passar dos dias havendo necessidade de maior limpeza. As perdas por evaporação também eram sempre maiores com o passar dos dias devido ao maior tempo de exposição ao ambiente, automaticamente os produtos maturados por maiores tempos apresentaram um menor rendimento.

Em relação à composição centesimal, a umidade e o teor de proteínas foram significativamente afetados pela classe da carcaça, onde a carne DFD apresentou menores teores de proteína e maior umidade. O teor de gordura não foi afetado ($P > 0,05$) por nenhum dos fatores ou interações. No entanto, a umidade e o teor de proteínas também foram afetados ($P < 0,05$) pela interação tratamento x tempo de maturação (Figura 3). Os valores de umidade foram menores e os de proteínas maiores nas amostras descongeladas a partir do 28º dia do que nas controle, o que pode estar relacionado à maior perda de água das amostras congeladas, reduzindo a umidade, e, conseqüente, maior concentração das proteínas. Bernardo et al. (2020) também observaram menores valores de umidade com maiores tempos de maturação.

Figura 3 - Efeito (média \pm erro padrão) do tratamento (controle e descongelado) no teor de umidade e de proteínas da carne (*L. thoracis*) de bovinos durante o processo de maturação a seco.



Quanto às características físico-químicas (pH, CRA e PMC), foi observado que a classe da carcaça afetou ($P < 0,05$) os valores de pH, enquanto os valores de PMC foram afetados pela interação classe x tempo de maturação. Menores valores de PMC foram observados para a carne DFD quando comparada a carne RFN, o que está ligado ao fato de a carne DFD ser menos exsudativa (Figura 4). O valor médio de pH foi maior nas carnes DFD, o que já era esperado devido a deficiência nas reservas de glicogênio no momento de abate destes animais, que mantém o pH alto (acima de 6,0) após 24 h *post mortem* (GOMIDE; RAMOS; FONTES, 2013).

A interação tratamento x tempo de maturação afetou ($P < 0,05$) somente a PMC e a CRA. Os valores de PMC da amostra controle se mantiveram constantes até o 28º dia, reduzindo após 42 dias de maturação, enquanto os valores das amostras descongeladas se tornaram gradativamente menores com o tempo de maturação (Figura 5A). Menores PMC podem estar relacionadas a maiores perdas de água com a maturação, especialmente nas amostras congeladas, como também observado por Aroeira et al. (2016) em carnes maturadas a vácuo. Bernardo et al. (2020) também relataram menores valores de PMC em amostras congeladas/descongeladas e maturadas a seco por 28 dias.

Figura 4 - Efeito (média \pm erro padrão) da classe (RFN e DFD) na perda de massa por cozimento (PMC) da carne (*L. thoracis*) de bovinos durante o processo de maturação a seco.

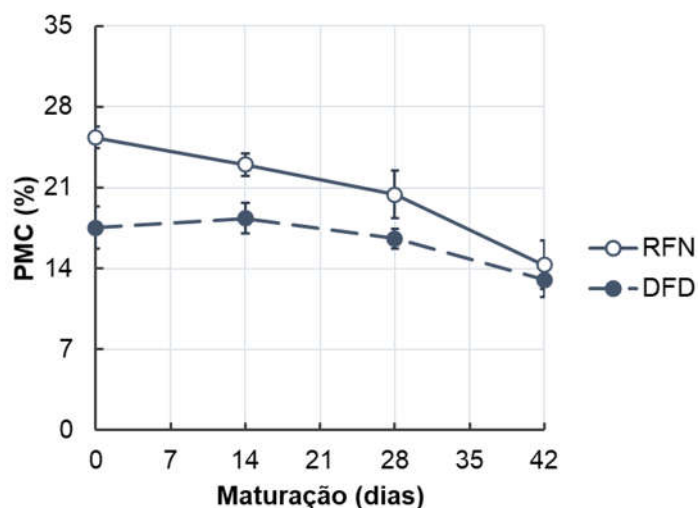
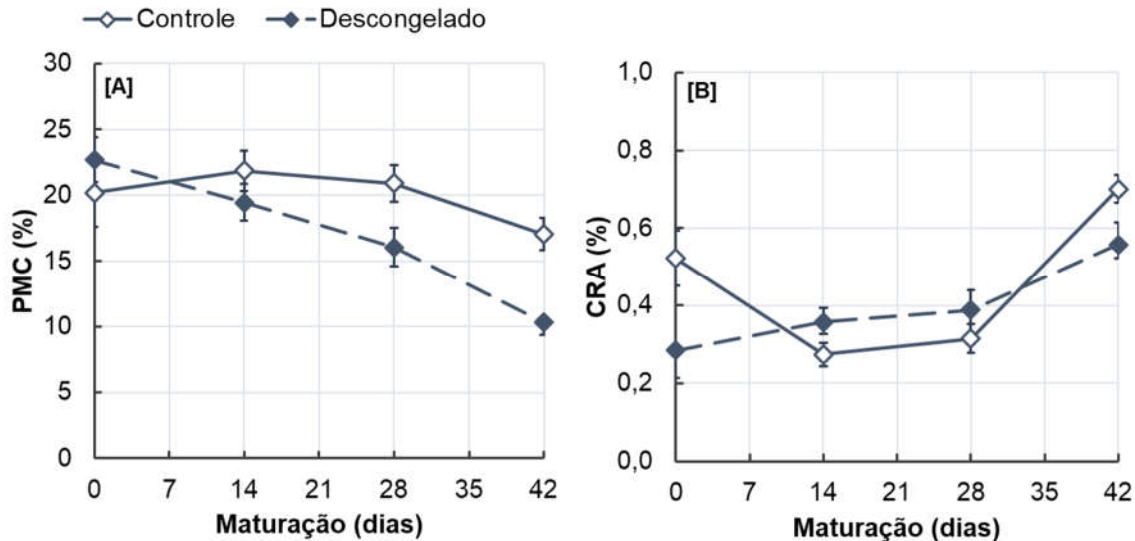


Figura 5 - Efeito (média \pm erro padrão) do tratamento (controle e congelado) na perda de massa por cozimento (PMC) e capacidade de retenção de água (CRA) da carne (*L. thoracis*) de bovinos durante o processo de maturação a seco.



Já a CRA foi menor inicialmente no tratamento descongelado do que no controle, mas isto foi invertido após 42 dias de maturação (Figura 5B). A CRA das amostras congeladas teve um aumento constante durante a maturação, enquanto nas amostras controle este aumento foi significativo apenas no último dia de maturação (42 dias). Aroeira et al. (2016) também afirmaram que a CRA de carnes embaladas a vácuo aumentou com o tempo de maturação.

4.2 Colágeno, grau de fragmentação e força de cisalhamento

Na Tabela 2 são descritos os resultados obtidos nas características diretamente relacionadas à maciez da carne: teor de colágeno insolúvel, solúvel e total; índice de fragmentação (IF); força de cisalhamento (FC). Sendo representadas também em seguida figuras que demonstram interações significativas relacionadas a esses parâmetros.

Tabela 2 - Efeitos da classe, do tratamento e do tempo de maturação a seco no teor de colágeno, grau de fragmentação miofibrilar (IF) e força de cisalhamento (FC) de músculos *L. thoracis* de bovinos da raça Nelore.

Características	Classe		Tratamento		Maturação (dias)				EPM
	RFN	DFD	CONT	CONG	0	14	28	42	
Colágeno									
Total (mg/g)	2,20	2,21	2,19	2,22	1,92 ^b	1,94 ^b	2,57 ^a	2,41 ^a	0,07
Insolúvel (mg/g)	1,84	1,86	1,81	1,89	1,57 ^b	1,60 ^b	2,16 ^a	2,07 ^a	0,06
Solúvel (mg/g)	0,37	0,36	0,40	0,33	0,37	0,34	0,42	0,34	0,02
Solúvel (%)	16,46	16,25	17,78	14,86	17,85	17,46	15,64	14,28	0,72
Índice de fragmentação	405	353	381 ^x	377 ^y	461	394	307	354	16
Força de cisalhamento (N)	37,83	23,86	33,31	28,38	51,23	29,01	23,81	19,33	2,63

RFN = carne de cor vermelha, textura firme e exsudação normal; DFD = carne de cor escura, textura firme e não-exsudativa; CONT = controle, carne não-congelada; CONG = carne congelada (-20 °C/7dias), descongelada (4 °C/24 h) e maturada; e EPM = erro padrão da média ($n = 48$).

^{x,y} Médias seguidas de letras diferentes, entre os tratamentos, difere ($P < 0,05$) pelo teste F.

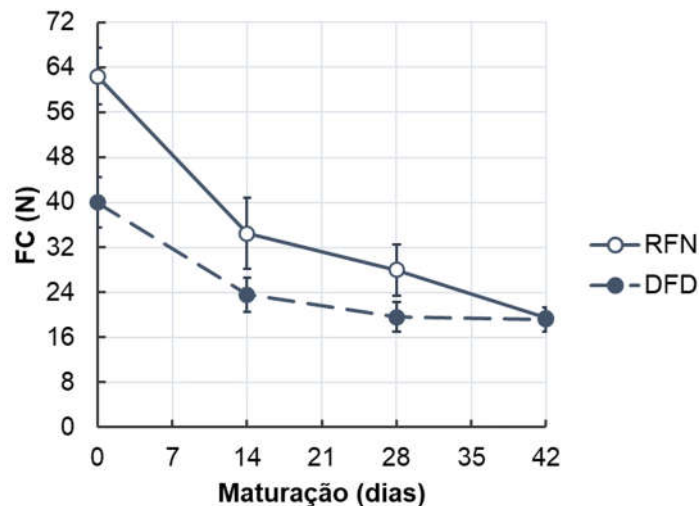
^{a,b} Médias seguidas de letras diferentes, entre dias de maturação, difere ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

A classe das carcaças e os diferentes tratamentos (controle e descongelado) não afetaram ($P > 0,05$) o colágeno total ou suas frações (solúvel e insolúvel). No entanto, o teor de colágeno insolúvel e total foram ($P < 0,05$) maiores com maiores tempos de maturação, o que pode estar ligado a grande perda de água por evaporação durante o processo, concentrando o teor de solutos (SALES *et al.* 2020). Outros autores como Jeremiah e Martin (1981) não observaram efeito significativo do armazenamento *post mortem* (20 dias a 2 °C) no conteúdo e solubilidade do colágeno intramuscular de músculo *L. dorsi* e *Semitendinosus* de bovinos. Assim como Girolami *et al.* (2009) não observaram alterações no colágeno total do músculo *L. dorsi* armazenado a 4 °C por 21 dias. A influência dos teores de colágeno na maciez da carne depende da quantidade e da

qualidade de colágeno, localização no tecido muscular, dimensão (tamanho da fibra de colágeno) entre outros fatores como raça, espécie animal, idade, sexo, raça, etc.

O IF e a FC são características ligadas diretamente à maciez da carne (RAMOS; GOMIDE, 2017). A classe da carcaça afetou significativamente a IF, enquanto a FC foi afetada pela interação classe x tempo de maturação. Para o efeito da classe, os valores de ambas as características foram menores nas carnes DFD (Tabela 2 e Figura 6), implicando em uma maior maciez, fato que está diretamente ligado aos altos valores de pH final característicos dessa carne. Os valores de pH final após a morte estão diretamente ligados ao amaciamento da carne, pois o processo de degradação das proteínas miofibrilares é completamente dependente do pH presente no músculo. A μ -calpaína é ativada na queda de pH de 6,8 para aproximadamente pH 5,7. Assim, em pH final alto ($>6,2$) apresenta-se um rápido amaciamento atribuído à degradação das proteínas pela ativação imediata da μ -calpaína, o que não ocorre em carnes com menores valores de pH final, neste caso a degradação ocorre principalmente pela ação das catepsinas (LOMIWES et al., 2014).

Figura 6 - Efeito (média \pm erro padrão) da classe (RFN e DFD) na força de cisalhamento (FC) da carne (*L. thoracis*) de bovinos durante o processo de maturação a seco.

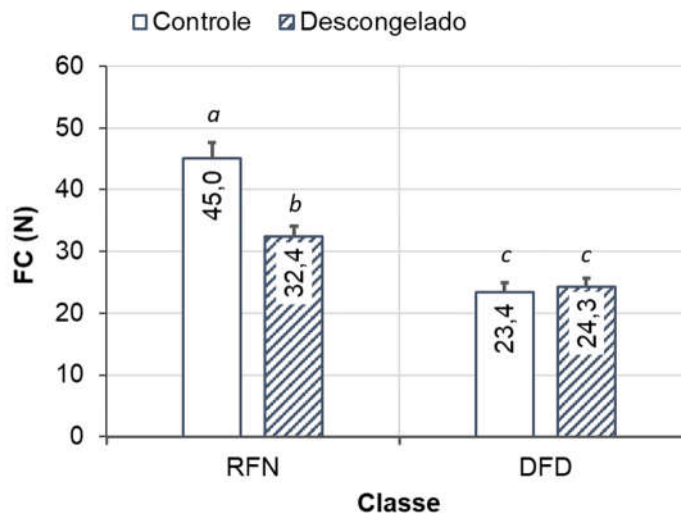


Beltrh et al. (1996), analisando os efeitos de altos valores de pH final na maciez da carne bovina, puderam observar um efeito altamente significativo sobre os parâmetros sensoriais da carne a FC foi significativamente menor para cortes DFD. Bouton et al. (1971) observaram uma diferença três vezes em maciez entre carcaças de carneiros com valores finais de pH entre 5,9 e

7,0. Além disso, estes autores relataram que os músculos longísimos das carcaças de bovinos foram os mais duros dentro da faixa de pH de 5,8 a 6,0.

A FC também diminuiu com maiores tempos de maturação (Figura 6), o que é um resultado esperado devido ao efeito da proteólise muscular, mas a taxa de redução foi maior na carne DFD do que na carne RFN, se igualando na maciez a partir do 28º dia. Além disso, foi verificado efeito significativo para a interação entre as classes da carcaça e os tratamentos na FC. A carne DFD possuía ($P < 0,05$) menores valores FC em ambos os tratamentos, enquanto a maciez da carne RFN foi favorecida (menores valores de FC) pelo congelamento/descongelamento (Figura 7).

Figura 7 - Efeito (média \pm erro padrão) da classe (RFN e DFD) e do tratamento (controle e descongelado) na força de cisalhamento (FC) da carne (*L. thoracis*) de bovinos maturadas a seco.

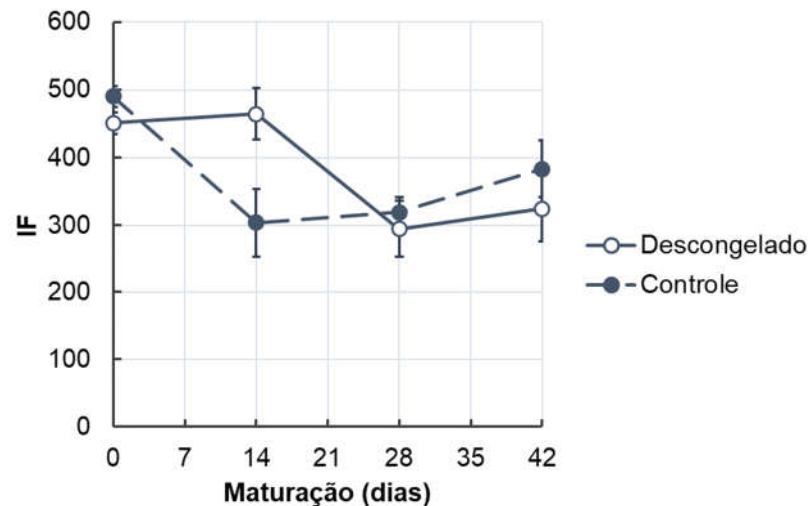


^{a,b} Médias seguidas de letras diferentes, diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Entretanto, durante a maturação a IF foi afetada pelo tratamento independentemente da classe da carcaça (interação tratamento x tempo de maturação). Os valores de IF das amostras controle reduziram no 28º dias, enquanto nas descongeladas esta redução aconteceu no já no 14º dia, indicando uma maior degradação miofibrilar nestas amostras (Figura 8). Aroeira et al. (2016) e Sales et al. (2020) observaram que a carne congelada\descongelada tem uma maior proteólise quando comparada a carne não congelada. Segundo estes autores, esse fato ocorre porque os cristais de gelo formados no congelamento, além de ocasionar a desestruturação das miofibrilas,

podem ocasionar o rompimento das membranas celulares, facilitando a liberação das proteases responsáveis pela maturação. Assim, além dos danos criogênicos, a degradação de filamentos intermediários (como a desmina) durante o armazenamento poderia ser acelerada pelo aumento da atividade da calpaína ocasionada pelo aumento do cálcio livre no sarcoplasma e, ou, pela inativação do inibidor calpastatina ambos induzidos pelo processo de congelamento (HADDAD, 2020).

Figura 8 - Efeito (média \pm erro padrão) do tratamento (controle e congelado) no índice de fragmentação (IF) miofibrilar da carne (*L. thoracis*) de bovinos durante o processo de maturação a seco.



4.3 Pigmentos heme e cor instrumental

Os efeitos dos fatores estudados nas características associadas a cor da carne são descritos na Tabela 3. A estabilidade da cor da carne está diretamente relacionada à capacidade redutora e à taxa de consumo de oxigênio (TCO) do músculo (RODRIGUES et al., 2020). Ambos os métodos (atividade redutora da metamioglobina, MRA; e concentração inicial de metamioglobina, MMbi) utilizados para medir a capacidade redutora da carne e a TCO foram afetados pelas diferentes classes de carne utilizadas no estudo: a MMbi e a TCO apenas pela classe; e a MRA pela interação classe x tratamento.

Tabela 3 - Efeitos da classe, do tratamento e do tempo de maturação na atividade redutora, taxa de consumo de oxigênio (TCO), pigmentos heme relativos da mioglobina e índices de cor de carnes (*L. thoracis*) de bovinos da raça Nelore.

Características	Classe		Tratamento		Maturação (dias)				EPM
	RFN	DFD	CONT	CONG	0	14	28	42	
Capacidade redutora									
MMbi (%)	36,58 ^x	31,24 ^y	34,66	33,01	33,77	35,63	34,02	31,82	0,61
MRA (%)	28,15	20,30	26,21	21,99	27,15	24,02	22,31	23,00	1,54
TCO (%)	81,45 ^x	96,03 ^y	89,84	87,91	92,08	90,80	85,86	86,64	2,34
Pigmentos relativos (%)									
Oximoglobina	66,73 ^x	51,13 ^y	59,00	58,86	61,96 ^a	60,12 ^a	56,37 ^b	57,27 ^b	1,69
Deoximoglobina	17,81	34,47	27,82	24,45	23,62	26,13	27,80	27,01	1,79
Metamioglobina	15,46	14,40	13,18 ^x	16,69 ^y	14,42	13,75	15,83	15,72	0,55
Cor instrumental									
Luminosidade, <i>L</i> [*]	42,97 ^x	39,99 ^y	42,77	40,19	44,01	42,63	40,33	38,94	0,57
Índ. vermelho, <i>a</i> [*]	21,45	19,18	21,29	19,34	18,42	22,07	21,01	19,75	0,41
Índ. amarelo, <i>b</i> [*]	13,92	11,09	13,27	11,74	12,57	13,75	12,34	11,36	0,38
Saturação, <i>C</i> [*]	25,60	22,17	25,11	22,66	22,32	26,02	24,38	22,81	0,53
Tonalidade, <i>h</i> (°)	32,79	29,94	31,76	30,98	34,14	31,67	30,19	29,48	0,43

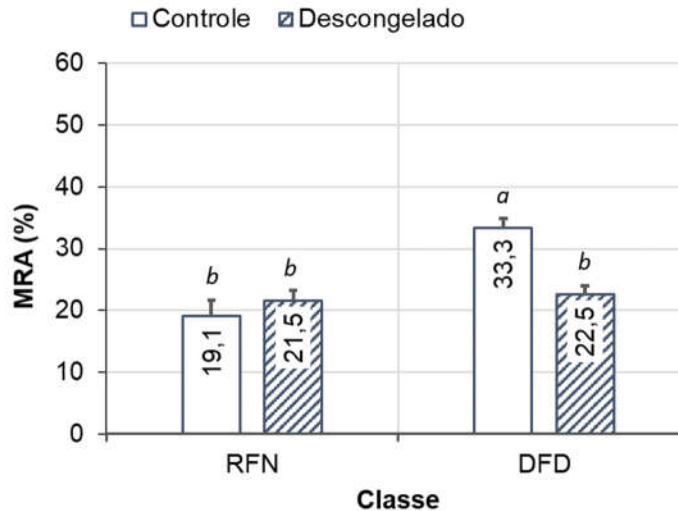
RFN = carne de cor vermelha, textura firme e exsudação normal; DFD = carne de cor escura, textura firme e não-exsudativa; CONT = controle, carne não-congelada; CONG = carne congelada (-20 °C/7dias), descongelada (4 °C/24 h) e maturada; EPM = erro padrão da média ($n = 48$); MMbi = metamioglobina inicial; e MRA = atividade redutora de MMb.

^{x,y} Médias seguidas de letras diferentes, entre os tratamentos, difere ($P < 0,05$) pelo teste F.

^{a,b} Médias seguidas de letras diferentes, entre dias de maturação, difere ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

A capacidade redutora das carnes DFD medida pela MRA foi maior do que nas carnes RFN nas amostras controle (Figura 9), assim como os valores de TCO, provavelmente devido ao elevado pH desse tipo de carne 24 h após a morte do animal. A MRA é oriunda da ação de um sistema de enzimas redutoras, NADH dependentes, capazes de reduzir a forma oxidada de MMb (cor amarronzada) à forma ferrosa (cor vermelha) (MANCINI; HUNT, 2005). Isso também é reforçado pelos menores valores de MMbi observados nas amostras DFD (Tabela 3), uma vez que maiores concentrações iniciais de MMb também indicam uma menor capacidade redutora do músculo (KING et al., 2010). Ambas as características, MRA e TCO, são influenciados pela perda da integridade e funcionalidade mitocondrial e esgotamento e, ou, degradação de substratos, cofatores e coenzimas, que podem ocorrer em carnes congeladas/descongeladas (HADDAD, 2020).

Figura 9 - Efeito (média \pm erro padrão) da classe (RFN e DFD) e do tratamento (controle e descongelado) na atividade redutora de metamioglobina (MRA) da carne (*L. thoracis*) de bovinos maturadas a seco.



^{a,b} Médias seguidas de letras diferentes, diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os efeitos dos tratamentos na capacidade redutora da carne também foram dependentes da classe das carnes, reduzindo de forma significativa a MRA das carnes DFD quando congeladas/descongeladas. Apesar deste efeito não ter sido observado nas carnes RFN, esta redução condiz com a observação de Haddad (2020) de que a MRA foi maior nas amostras não-congeladas do que naquelas congeladas/descongeladas.

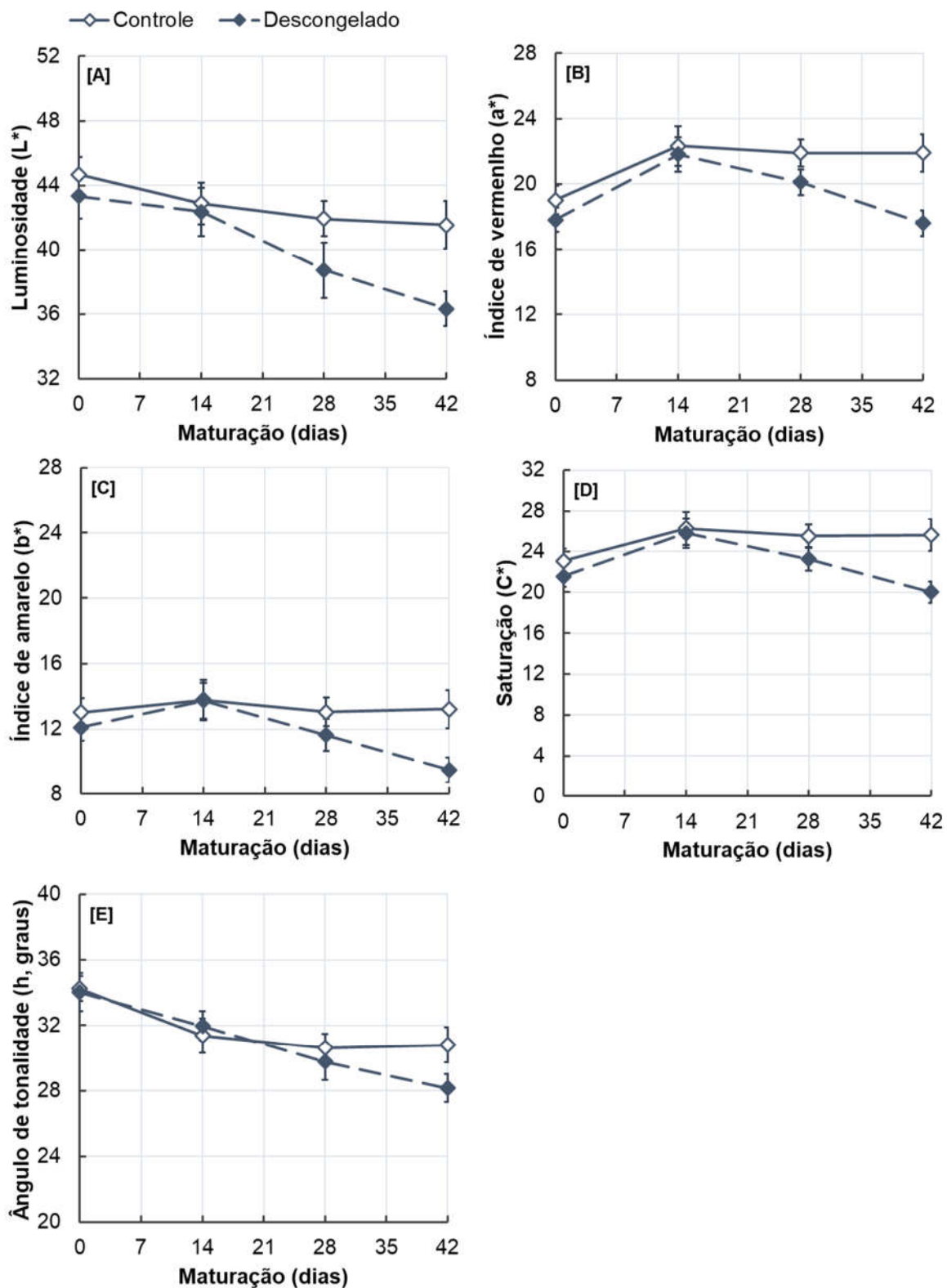
Embora seja esperado uma redução nestas características (MRA e TCO) com o tempo de maturação, estas não foram ($P > 0,05$) observadas neste experimento. Haddad (2020) também não observaram mudanças nestas características durante a maturação a seco de carnes congeladas/descongeladas e não-congeladas.

Dos índices de cor instrumental, apenas a luminosidade (L^*) foi afetada significativamente pela classe da carne, sendo menor nas amostras DFD. Assim, as carnes DFD eram mais escuras do que as carnes RFN, resultado que já era esperado para esse tipo de anomalia (GOMIDE; RAMOS; FONTES, 2013), devido ao elevado pH desse tipo de carne 24 h após a morte do animal. Da mesma forma, o teor de oximioglobina (O_2Mb) foi menor na superfície da carne DFD do que da carne RFN (Tabela 3).

Com relação ao tratamento, todos os índices de cor foram afetados ($P < 0,05$) pela interação tratamento x tempo de maturação. De forma geral, o congelamento/descongelamento induziu a

uma menor estabilidade de cor durante a maturação, verificado pela queda nos valores de todos os índices, especialmente a partir do 14º dia quando estes valores foram sempre menores do que os das carnes controle (Figura 10). Menor estabilidade da cor pode estar relacionada ao maior acúmulo de MMb observada nas amostras descongeladas (Tabela 3). Bressan et al. (2011) também observaram uma redução nos índices de a^* e b^* em amostras congeladas por 30 dias e posteriormente maturadas embaladas por 10 dias. Esses índices também foram significativamente afetados ($P < 0,05$) pelo tempo de maturação onde, de maneira geral, a carne ficou mais escura (menor valor de L^*) com maiores tempos de maturação e se tornaram menos avermelhada.

Figura 10 - Efeito (média \pm erro padrão) do tratamento (controle e congelado) nos índices de cor da carne (*L. thoracis*) de bovinos durante o processo de maturação a seco.



5 CONCLUSÃO

As perdas no processo foram afetadas pela classe da carcaça e tratamento, com menores perdas nos cortes DFD e maiores perdas nas amostras maturadas após o congelamento/descongelamento. A maturação de carnes descongeladas induziu uma maior fragmentação miofibrilar e menor força de cisalhamento, afetando positivamente a maciez da carne. Exceto pela menor luminosidade (L^*), a condição DFD não afetou a cor das carnes, mas todos os índices de cor reduziram durante a maturação nas carnes descongeladas, indicando uma menor estabilidade.

Desta forma pode-se concluir que a maturação a seco atrelada ao congelamento apesar de gerar grandes perdas durante o processo e conseqüentemente ao produto final e também uma carne de menor brilho e cor, foram eficientes e melhoraram consideravelmente a maciez da carne de nelores considerados DFD.

REFERÊNCIAS

- ABERLE, E. D. et al. **Principles of meat science**. 4th ed. Iowa: Kendall/ Hunt, 2001. 354 p.
- ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadorea de Carne. **Perfil da pecuária do Brasil**. Relatório Anual 2016. Disponível em: <<http://abiec.siteoficial.ws/images/upload/sumario-pt-010217.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2017.
- AHNSTRÖM, M. L. et al. Dry aging of beef in a bag highly permeable to water vapour. **Meat Science**, v.73, n.4, p.674-679, 2006. doi: 10.1016/j.meatsci.2006.03.006.
- AÑÓN, M. C.; CALVELO, A. Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef. **Meat Science**, v. 4, p. 1-14, 1980.
- AROEIRA, C. N. **Efeito do congelamento prévio à maturação na maciez e cor da carne de tourinhos Nelore e Aberdeen Angus**. 2014. 104p.p. (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- AROEIRA, C. N. et al. Freezing, thawing and aging effects on beef tenderness from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. **Meat Science**, v.116, p.118-125, 2016. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.02.006.
- BELTRÁN, J. A. et al. Effect of stress-induced high post-mortem pH on protease activity and tenderness of beef. **Meat Science**, v.45, n.2, p.201-207, 1997. doi: 10.1016/S0309-1740(96)00103-9.
- BERNARDO, A. P. D. S. et al. Effects of freezing and thawing on microbiological and physical-chemical properties of dry-aged beef. **Meat Science**, v.161, p.108003, 2020. doi: 10.1016/j.meatsci.2019.108003.
- CAROLINO, M. I. et al. Efeito da congelação nos valores de pH, cor e força de cisalhamento na carne de bovinos das raças Alentejanas e Mertolenga. In: CONGRESSO IBÉRICO SOBRE RECURSOS GENÉTICOS ANIMAIS, 6, 2008, Lisboa. **Resumos...** Lisboa: [s. n.], 2008. p. 118.
- CROUSE, J. D.; KOOHMARAIE, M. Effect of freezing of beef on subsequent postmortem aging and shear force. **Journal of food science**, v. 55, n. 2, p. 573– 574, 1990.

CSIRO. **Dry ageing of beef**. Meat Technology Update. Brisbane: CSIRO Food & Nutritional Sciences, Australian Meat Processor Corporation (AMPC) and Meat & Livestock Australia (MLA). 2/10 April: 4 p. 2010.

DEGEER, S. L. et al. Effects of dry aging of bone-in and boneless strip loins using two aging processes for two aging times. **Meat Science**, v.83, n.4, p.768-774, 2009. doi: 10.1016/j.meatsci.2009.08.017.

FAROUK, M. M.; WIELICZKO, K. J.; MERTS, I. Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. **Meat Science**, v. 66, p. 171–179, 2003.

FELÍCIO, E.P. Fatores ante e post-mortem que influenciam na qualidade da carne bovina. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. **Produção do novilho de corte**. Piracicaba: FEALQ, 1997, p. 79-97.

FERGUSON, D. M., et al. Effect of electrical stimulation on protease activity and tenderness of *M. longissimus* from cattle with different proportions of *Bos indicus* content. **Meat Science**, v.55, n.3, 265-272, 2000. doi: 10.1016/S0309-1740(99)00131-X.

GAMBUTEANU, C.; BORDA, D.; ALEXE, P. The effect of freezing and thawing on technological properties of meat: review. **Journal of Agroalimentary Processes and Technologies**, v. 19, n. 1, p. 88-93, 2013

GOMIDE, L. A. M.; RAMOS, E.M.; FONTES, P.R. **Ciência e Qualidade da Carne: Fundamentos**. 1 ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. 197p.

GRAYSON, A. L. et al. The effects of freezing and thawing or freezing, thawing, and aging effects on beef tenderness. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 6, p. 2735-2740, 2014. doi: 10.2527/jas.2014-7613.

HADDAD, G. B. S. **Avaliação do processo de maturação a seco na qualidade da carne bovina brasileira**. 2020. p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

JEREMIAH, L. E. et al. The usefulness of muscle color and pH for segregating beef carcasses into tenderness groups. **Meat Science**, v.30, n.2, p.97-114, 1991. doi: 10.1016/0309-1740(91)90001-7.

KIM, 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. doi: 10.1016/j.meatsci.2015.06.015.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da Qualidade de Carnes: Fundamentos e Metodologias**. 2a ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. 473p ISBN 9788572695497.

ROÇA, R.O. **Modificações pós-morte da carne**. 2001. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br>> Acesso em: 12 dez. 2020.

RODRIGUES, L. M. **Efeitos da radiação gama e do congelamento prévio a maturação sobre a maciez da carne bovina**. 2017. 75p.p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SALES, L. A. **Efeitos da radiação gama e do congelamento prévio à maturação na cor e perfil de ácidos graxos da carne bovina**. 2018. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SAVELL, J. W. **Dry-aging of Beef**. Cattlemens Beef Board and National Cattlemens Beef Association. 12 p. 2008.

SILVA, J. A. et al. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. **Meat Science**, v.52, n.4, p.453-459, 1999. doi: 10.1016/S0309-1740(99)00029-7.

SILVA, J. A. O. **Processos proteolíticos e características sensoriais em carne de bovino da raça Maronesa: Influência do pH final e tempo de maturação**. 2006. 303p. (Doutorado em Ciência Alimentar). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

SMITH, R. D. et al. Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer palatability evaluations of steaks from US Choice and US Select short loins. **Meat Science**, v.79, n.4, p.631-639, 2008. doi: 10.1016/j.meatsci.2007.10.028.

SITZ, B. M. et al. Consumer sensory acceptance and value of wet-aged and dry-aged beef steaks. **Journal of Animal Science**, v.84, n.5, p.1221-6, 2006. doi: 10.2527/2006.8451221x.

STUBY, M. A.; LAMKEY, J. W.; DOLEZAL, H. G. The effect of freezing on aging of beef. **Animal Science Research Report**, Stillwater, p.55-58, 1993. Disponível em: <http://beefextension.com/research_reports/1993rr/93_10.pdf>.

WATANABE, A. et al. The effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. **Meat Science**, v.42, n.1, p.67-78, 1996. doi: 10.1016/0309-1740(95)00012-7.

WARREN, K. E.; KASTNER, C. L. A comparison of dry-aged and vacuum-aged beef strip loins. **Journal of Muscle Foods**, v.3, n.2, p.151-157, 1992. doi: 10.1111/j.1745-4573.1992.tb00471.x.

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

|

APÊNCIDE A

Tabela A1 Resumo da análise de variância (quadrado médio) para a perda por descongelamento (DESC) em músculos *L. thoracis* de bovinos da raça Nelore classificadas em RFN ou DFD.

Fonte de Variação	GL	DESC
CLASS	1	77,88*
Erro	23	15,52

GL = graus de liberdade; e CLASS = Classificação da carcaça.

* Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Tabela A2 Resumo da análise de variância (quadrados médios) para as perdas de massa por evaporação (EVAP), desossa (DESOS) e toailete (TOAL) para o rendimento total (REND) em músculos *L. thoracis* de bovinos da raça Nelore maturados a seco por 42 dias.

Fonte de Variação	GL	EVAP	DESOS	TOAL	REND
CLASS	1	29,49	12,27	17,06	71,87
Erro(a)	4	14,26	52,46	12,26	18,73
TRAT	1	90,14*	127,34*	13,51	507,68*
TRAT*CLASS	1	0,99	21,10	6,38	73,02
Erro(b)	4	3,30	7,13	49,92	57,03
DIA	3	1883,71*	257,02*	478,91*	2503,68*
TRAT*DIA	3	14,14*	51,69	70,37*	21,40
CLASS*DIA	3	10,23*	18,65	20,94	18,90
TRAT*CLASS*DIA	3	2,80	20,81	7,72	9,49
Erro(c)	24	3,18	16,67	17,83	26,81

GL = graus de liberdade; CLASS = Classificação da carcaça; TRAT = tratamento; e DIA = tempo de maturação.

* Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Tabela A3 Resumo da análise de variância (quadrados médios) para os valores de pH, índice de fragmentação (IF), perda de massa por cozimento (PMC) e força de cisalhamento (FC) em músculos *L. thoracis* de bovinos da raça Nelore maturados a seco por 42 dias.

Fonte de Variação	GL	pH	IF	PMC	FC
CLASS	1	2,69*	31408,15	231,25*	2344,36
Erro(a)	4	0,25	5785,95	15,38	421,46
TRAT	1	0,04	261,15	99,18	291,28
TRAT*CLASS	1	0,00	2,15	40,15	414,34*
Erro(b)	4	0,03	5459,83	13,36	57,32
DIA	3	0,13	50810,12*	146,62*	2404,49*
TRAT*DIA	3	0,05	42799,78*	47,88*	52,48
CLASS*DIA	3	0,01	1850,30	21,79*	734,92*
TRAT*CLASS*DIA	3	0,00	5072,52	0,53	52,22
Erro(c)	24	0,04	9511,77	6,53	37,97

GL = graus de liberdade; CLASS = Classificação da carcaça; TRAT = tratamento; e DIA = tempo de maturação.

* Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Tabela A4 Resumo da análise de variância (quadrados médios) para os teores de proteína, gordura e umidade de músculos *L. thoracis* de bovinos da raça Nelore maturados a seco por 42 dias.

Fonte de Variação	GL	Proteína	Gordura	Umidade
CLASS	1	16,13*	8,61	40,74*
Erro(a)	4	2,35	1,88	4,67
TRAT	1	5,91	0,02	9,35
TRAT*CLASS	1	0,65	1,19	5,84
Erro(b)	4	1,18	0,44	2,11
DIA	3	17,10*	2,46	25,58*
TRAT*DIA	3	2,18*	1,65	5,59*
CLASS*DIA	3	0,88	0,26	2,22
TRAT*CLASS*DIA	3	0,45	0,31	1,46
Erro(c)	24	0,84	1,45	1,73

GL = graus de liberdade; CLASS = Classificação da carcaça; TRAT = tratamento; e DIA = tempo de maturação.

* Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Tabela A5 Resumo da análise de variância (quadrados médios) para teores de colágeno solúvel (COLs), insolúvel (COLi) e total (COLt) e do percentual de colágeno solúvel (COL%) em músculos *L. thoracis* de bovinos da raça Nelore maturados a seco por 42 dias.

Fonte de Variação	GL	COLs	COLi	COLt	COL%
CLASS	1	0,003	0,003	0,001	0,052
Erro(a)	4	0,008	0,197	0,204	25,505
TRAT	1	0,056	0,081	0,006	106,992
TRAT*CLASS	1	>0,001	0,178	0,153	10,940
Erro(b)	4	0,039	0,030	0,021	59,096
DIA	3	0,016	1,106*	1,262*	34,706
TRAT*DIA	3	0,014	0,062	0,090	11,685
CLASS*DIA	3	0,019	0,200	0,258	12,834
TRAT*CLASS*DIA	3	0,021	0,254	0,298	15,438
Erro(c)	24	0,023	0,124	0,210	18,371

GL = graus de liberdade; CLASS = Classificação da carcaça; TRAT = tratamento; e DIA = tempo de maturação.

* Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Tabela A6 Resumo da análise de variância (quadrados médios) para a atividade redutora (metamioglonina formada, MMbi; e atividade redutora de metamioglobina, MRA), taxa de consumo de oxigênio (TCO) e pigmentos relativos da mioglobina (metamioglobina, MMb; deoximioglobina, DMb; e oximioglobina, OMb) de músculos *L. thoracis* de bovinos da raça Nelore maturados a seco por 42 dias.

Fonte de Variação	GL	MMbi	MRA	TCO	MMb	DMb	OMb
CLASS	1	327,35*	675,11*	2577,75*	13,48	3332,02	2921,66*
Erro(a)	4	6,64	83,89	384,66	34,38	540,32	438,33
TRAT	1	31,07*	222,44	62,04	147,90*	136,20	0,24
TRAT*CLASS	1	16,00	542,02*	356,44	19,04	0,93	28,39
Erro(b)	4	2,46	94,67	197,41	3,44	33,28	38,01

DIA	3	26,79	57,45	123,76	12,27*	39,46	79,44*
TRAT*DIA	3	1,17	41,87	297,93	22,98	10,84	47,42
CLASS*DIA	3	10,75	76,56	261,70	13,89	24,68	42,07
TRAT*CLASS*DIA	3	8,02	184,81	401,61	1,56	97,38	96,78
Erro(c)	24	10,45	79,35	141,26	7,83	38,83	33,51

GL = graus de liberdade; CLASS = Classificação da carcaça; TRAT = tratamento; e DIA = tempo de maturação.

* Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Tabela A7 Resumo da análise de variância (quadrados médios) para a luminosidade (L^*), índice de vermelho (a^*), índice de amarelo (b^*), saturação (C^*) e ângulo de tonalidade (h) de músculos *L. thoracis* de bovinos da raça Nelore maturados a seco por 42 dias.

Fonte de Variação	GL	L^*	a^*	b^*	C^*	h
CLASS	1	146,27*	62,31	96,16	141,32	97,53
Erro(a)	4	40,36	9,81	10,60	14,93	20,05
TRAT	1	79,57*	45,96*	28,06*	72,37*	7,32
TRAT*CLASS	1	5,08	4,19	3,67	7,41	1,59
Erro(b)	4	2,78	1,13	1,25	2,13	1,80
DIA	3	62,00*	29,85*	11,61*	33,73*	50,85*
TRAT*DIA	3	13,12*	8,19*	7,37*	12,79*	5,69*
CLASS*DIA	3	4,64	0,31	0,40	0,62	0,24
TRAT*CLASS*DIA	3	5,93	7,89	6,24	13,67	3,15
Erro(c)	24	4,31	3,23	2,40	5,37	1,57

GL = graus de liberdade; CLASS = Classificação da carcaça; TRAT = tratamento; e DIA = tempo de maturação.

* Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.