

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

AVALIAÇÃO DE CARCAÇA E DOS EFEITOS DO
CONGELAMENTO PRÉVIO À MATURAÇÃO DAS
CARNES DE BOVINOS DE DIFERENTES GRUPOS
GENÉTICOS

Acadêmico: Júlia Dias do Nascimento

Aquidauana-MS
Agosto de 2019

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

AVALIAÇÃO DE CARÇA E DOS EFEITOS DO
CONGELAMENTO PRÉVIO À MATURAÇÃO DAS
CARNES DE BOVINOS DE DIFERENTES GRUPOS
GENÉTICOS

Acadêmico: Júlia Dias do Nascimento
Orientador: Dr. Dalton Mendes de Oliveira
Co-orientadores: Dra. Marina de Nadai Bonin Gomes
Dr. Marcus Vinicius Moraes 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 para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia”.

Aquidauana-MS
Agosto de 2019

N195a Nascimento, Júlia Dias do

Avaliação de carcaça e dos efeitos do congelamento prévio à maturação das carnes de bovinos de diferentes grupos genéticos/ Júlia Dias do Nascimento. – Aquidauana, MS: UEMS, 2019.

74p.

Dissertação (Mestrado) – Zootecnia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2019.

Orientador: Prof. Dr Dalton Mendes de Oliveira

1. Carne congelada 2. Maciez 3. Proteólise I. Oliveira, Dalton Mendes de II. Título

CDD 23. ed. – 636.2

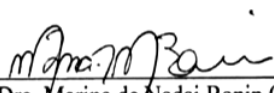


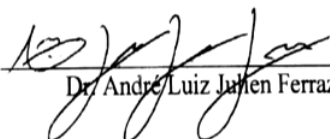
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Área de Concentração: Produção Animal no Cerrado-Pantanal

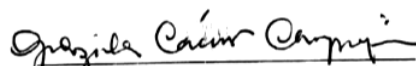
JÚLIA DIAS DO NASCIMENTO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal no Cerrado-Pantanal, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Zootecnia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 15/08/2019.


Dra. Marina de Nadai Bonin Gomes


Dr. André Luiz Julien Ferraz


Dra. Graziela Cáceres Carpejani

*“Eu sou o resultado do ‘não’ que eu dei a todos os ‘nãos’ que me
deram”.*

Rick Chesther

“Quem tem fé alcança o que quer”

Mãe Candinha

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu pai Oxalá, ao Divino Espírito Santo, as sete linhas da umbanda, ao meu glorioso pai Xangô (São Jerônimo, com todo seu povo), minha gloriosa mãe Iemanjá (Nossa Senhora da Guia, com todo seu povo), por me sustentarem dura esta jornada.

A Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, ao meu orientador Dalton Mendes de Oliveira, por toda ajuda, aconselhamentos e compreensão.

Ao programa de Pós-graduação pela concessão da bolsa de estudos.

Aos funcionários do setor de Bovinocultura Leiteira, Gilmar e Marcel, por toda ajuda na execução do experimento.

Aos integrantes do Grupo de Avaliação de Carcaça e Qualidade de Carnes – GEQUAC e a todos que de alguma forma auxiliaram na realização da pesquisa a campo.

Ao meu coorientador Dr. Marcus Vinicius Moraes de Oliveira pela parceria firmada para a realização deste trabalho.

A Fazenda Iguaçu por disponibilizar os animais utilizados no experimento.

A Real H Nutrição e saúde animal, pelo fornecimento da dieta experimental.

A Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, FAMEZ – UFMS, ao laboratório de qualidade de carnes – QualiCarnes, a minha coorientadora Dra. Marina de Nadai Bonin Gomes, por todo auxílio, dedicação e compreensão.

Ao Dr. André Luiz Julien Ferraz, vulgo Profº Splinter, pelo apoio na execução da pesquisa.

A Embrapa Gado de Corte e ao pesquisador Gelson Luís Dias Feijó, por disponibilizarem o laboratório e equipamentos que contribuíram para o estudo.

Ao frigorífico Naturafrig unidade de Rochedo - MS por permitir a realização de parte da pesquisa em suas instalações.

Aos técnicos de laboratório Samara Miyaki, Bianca Acácio, Lucimara Modesto, Rafael, Adriana, por toda ajuda na execução das análises laboratoriais.

Aos colegas que fiz durante a realização das análises, e que de alguma forma me ajudaram Bruno, Bruna, Mery Surita, Luanna, Jaqueline, Thais Rios, Brenda, Caren, Lariza, Rafaella.

Aos meus pais, Paulo Magalhães do Nascimento e Maria Aparecida Dias, a minha irmã Fernanda Ratier do Nascimento, por terem sido meu alicerce, por me apoiarem e incentivar.

Aos meus familiares, avós, tios, tias, primos e primas que se fizeram presente nesta fase, me dando amparo necessário.

Ao meu amado quarteto, Raiza Rocha, Renata Jacques, Mariny Sodré e ao nosso mais novo mascote Luiz Renato.

Aos amigos que fiz durante esta caminhada, Laura Ávila, Maria Ávila (Tia Duda), Daiana Oliveira, Lays Montanheri.

A minha amiga e companheira de casa Patrícia Gomes Santana, o meu muito obrigado pelo incentivo, por toda ajuda, todas as palavras de conforto e todo carinho, estendo os agradecimentos a toda família Santana, Shirley, Simone e Ana.

Aos amigos que fiz em Viçosa-MG, Ágatha Elis e Gutierrez Assis, por, mesmo que distante, estarem sempre torcendo e me apoiando em cada passo.

A minha mãe de Santo Carolina Rosa, ao meu padrinho Eladio Recalde, a minha madrinha Luciani Montanheri e a todos os meus irmãos de corrente do Centro de Umbanda Mãe Candinha.

A todos o meu muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	13
1 - INTRODUÇÃO	13
2 - REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 - ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DO TECIDO MUSCULAR	15
2.1.1 - PROTEÓLISE MUSCULAR.....	18
2.1.2 - MACIEZ DA CARNE	20
2.1.2.1 - MATURAÇÃO	22
2.2 - PARÂMETROS QUALITATIVOS.....	24
2.2.1 - EFEITO DO PH	24
2.2.2 - A COR DAS CARNES.....	25
2.2.3 - TECIDO CONJUNTIVO.....	28
2.2.4 - CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA	29
2.2.5 - COMPRIMENTO DE SARCÔMERO.....	30
2.2.6 - ÍNDICE DE FRAGMENTAÇÃO MIOFIBRILAR (IFM).....	30
2.3 - EFEITO DO CONGELAMENTO	31
3 - REFERÊNCIAS.....	34

CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DE CARÇAÇA E DOS EFEITOS DO CONGELAMENTO PRÉVIO À MATURAÇÃO DAS CARNES DE BOVINOS DE DIFERENTES GRUPOS GENÉTICOS	42
RESUMO.....	43
ABSTRACT.....	44
1 - Introdução.....	45
2 - Material e Métodos	46
2.1 - Animais e sistema de terminação	46
2.2 - Abate e avaliações na carcaça	47
2.3 - Coleta e amostras experimentais	47
2.4 - Cor instrumental	48
2.5 - Perdas por exsudação e cozimento	48
2.6 - Força de cisalhamento	49
2.7 - Comprimento de sarcômero	49
2.8 - Índice de fragmentação miofibrilar	50
2.9 - Quantificação do colágeno e suas frações	51
2.10 - Análise estatística.....	52
3 - Resultados.....	52
3.1 - Avaliações na carcaça.....	52
3.2 - Parâmetros qualitativos da carne.....	53
4 - Discussões	59
4.1 - Avaliações quantitativas	59
4.2 - Parâmetros qualitativos da carne.....	62
5 - Conclusão.....	67
6 - Referências.....	68
CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática de uma fibra muscular e seus componentes.....	16
Figura 2. Desenho representativo da actina e suas estruturas anexas.....	17
Figura 3. Desenho representativo do filamento de miosina (a) e detalhamento da molécula de miosina (b)	17
Figura 4. Representação esquemática das escalas de cor do sistema CIE para fatores L^* a^* b^* C^* h^*	27
Figura 5. Exemplo dos fragmentos de miofibrila não contabilizados nas leituras (A) dobrados em formato "L", (B) entremeadas, (C) extremidade não visível, (D) dobrado em formato de "U" e (E) sobrepostas.....	51
Figura 6. Imagens obtidas através da microscopia invertida para análise de IFM. Amostras congeladas por 0 dias (A - B), amostras do congeladas por 30 dias (C - D) e amostras congeladas por 60 dias (E a H).	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros quantitativos das carcaças de bovinos machos inteiros de diferentes grupos genéticos terminados em confinamento.	53
Tabela 2. Avaliação dos parâmetros qualitativos da carne de bovinos de diferentes grupos genéticos submetidas ao congelamento prévio a maturação	55
Tabela 3. Valores médios do ângulo de tonalidade (H*) e perda por exsudação (PE) (%) do músculo <i>longissimus lumborum</i> de bovinos de diferentes grupos genéticos submetidos a diferentes protocolos de congelamento	59

LISTA DE ABREVIATURAS

PCQ - Peso de carcaça quente
pH0 - pH obtido logo após o abate
pH24 - pH obtido 24 horas após abate
CC - Comprimento de carcaça
EGS - Espessura de gordura subcutânea
AOL - Área de olho de lombo
CONG 0 - Sem congelamento prévio antes da maturação
CONG 30 - Congelado antes da maturação por 30 dias
CONGA 60 - Congelado antes da maturação por 60 dias
L*g - Luminosidade da gordura
a*g - Índice de vermelho da gordura
b*g - Índice de amarelo da gordura
C*g - Índice de croma da gordura
h*g - Ângulo de tonalidade da gordura
L* - Luminosidade do músculo
a* - Índice de vermelho do músculo
b* - Índice de amarelo do músculo
C* - Croma do músculo
h* - Ângulo de tonalidade do músculo
PCRUA – Peso amostra crua
PE – Perdas por exsudação
PCRUAAC – Peso amostra crua cortada
PCOZ – Peso amostra cozida
FC - Força de cisalhamento
PC - Perda por cozimento
CS - Comprimento de sarcômero
IFMm - Índice de fragmentação miofibrilar por microscopia
CTO - Colágeno total
CTS - Colágeno termosolúvel
CI - Colágeno insolúvel
RC - Rendimento de carcaça
PVF - Peso vivo final

RESUMO

Objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar as características de carcaça e os efeitos do congelamento prévio à maturação na carne de animais bovinos de diferentes grupos genéticos terminados em confinamento. Foram utilizados 26 bovinos machos inteiros, de três grupos genéticos (Aberdeen Angus x Nelore, Canchim x Nelore e Nelore) terminados em confinamento por 103 dias. Após o abate procedeu as avaliações de carcaça e amostras do músculo *longissimus lumborum* foram submetidas aos tratamentos sem congelamento, congelamento prévio por 30 e 60 dias e posterior maturação por 1, 7 e 14 dias. Os animais mestiços apresentaram maior peso vivo final, peso de carcaça quente, comprimento de carcaça, área de olho de lombo e percentual de colágeno termossolúvel ($P<0,05$) em relação aos puro Nelore. O congelamento não afetou o índice de luminosidade ($P=0,1540$) entretanto, outros parâmetros de cor como índice de vermelho, amarelo e croma diferiram ($P<0,0001$) conforme o tempo de congelamento. A força de cisalhamento sofreu influencia do tratamento de congelamento e do grupo genético, sendo maior nas amostras sem congelar (90,22 N) em relação as congeladas por 30 (70,31 N) e 60 dias (67,67 N) ($P<0,0001$), e menor nos cruzados ANC e NEL do que nos puros (70,02; 74,82 vs 85,32 N, respectivamente). Animais cruzados apresentam melhores características de carcaça, o congelamento prévio resultou em carnes mais macias.

Palavras-chave: *Bos indicus*, *Bos taurus*, carne congelada, colágeno, maciez, proteólise

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the carcass characteristics and the effects of freezing prior to aging in the meat of cattle of different genetic groups finishing in feedlot. We used 26 whole male cattle from three genetic groups (Aberdeen Angus x Nelore, Canchim x Nelore and Nelore) finished in feedlot for 103 days. After slaughter, carcass evaluations were performed and *longissimus lumborum* muscle samples were submitted to treatments without freezing, prior freezing for 30 and 60 days and later aging for 1, 7 and 14 days. The crossbred animals showed higher final weight, warm carcass weight, carcass length, rib eye area and percentage of thermosoluble collagen ($P < 0.05$) compared to purebred Nelore. The freezing did not affect the lightness index ($P = 0.1540$) however, other color parameters such as red, yellow and chroma index differed ($P < 0.0001$) according to the freezing time. The shear force was influenced by the freezing treatment and the genetic group, being higher in the samples without freezing (90,22 N) compared to those frozen for 30 (70,31 N) and 60 days (67,67 N) ($P < 0.0001$), and lower in AAN and NEL crossbred than in purebred (70,02; 74,82 vs 85,32 N, respectively). Crossbred animals have better carcass characteristics, prior freezing has resulted in softer meat.

Key words: *Bos indicus*, *Bos taurus*, collagen, frozen meat, tenderness, proteolysis

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1- INTRODUÇÃO

A pecuária de corte é uma das atividades com crescimento constante e de elevada importância para a economia do Brasil, sendo que em 2018 o PIB da pecuária de corte representou 8,7% do PIB total brasileiro, sendo um rebanho de 214,69 milhões de cabeças (ABIEC, 2019).

Os consumidores estão cada vez mais preocupados com a qualidade do produto a ser consumido, sendo esta definida como o conjunto de propriedades e percepções que agradam ou desagradam ao consumidor, estando diretamente ligada aos atributos do animal ou aos tratamentos recebidos após a transformação do músculo em carne (HOCQUETTE et al., 2012).

O produto final foco da pecuária de corte, a carne, possui características organolépticas que são constantemente examinadas pelos compradores no ato da compra. Dentre os atributos visuais e sensoriais da carne tem-se aqueles avaliados no momento da compra como a cor, quantidade e cor da gordura, nível de marmoreio, e aqueles avaliados no ato do consumo, como maciez, sabor e suculência (JOO et al., 2013).

Neste sentido a maciez da carne é percebida, pelo consumidor ao longo da mastigação, como um conjunto de impressões organolépticas, entre elas a resistência à pressão do dente e da língua, a aderência, a capacidade de fragmentação da carne e a quantidade de resíduos após a mastigação (MUCHENJE et al., 2009).

Entretanto, existem alguns fatores que podem influenciar na maciez da carne e, podem ser divididos em *ante-mortem*, aqueles associados ao genótipo animal, sistema de criação e alimentação e idade ao abate, e os *post-mortem* estão ligados aos procedimentos realizados nos abatedouros no momento do abate como estimulação elétrica, resfriamento da carcaça e maturação (FELÍCIO, 1997).

A maturação úmida pode ser definida como o processo de amaciamento da carne que ocorre após o *rigor mortis*, durante estocagem refrigerada, sendo a maciez obtida ao final do processo, resultado da efetividade da degradação realizada pelas proteínas endógenas cálcio dependentes em romper as

estruturas das miofibrilas (LAGE et al., 2009). Ainda segundo Koohmaraie et al. (1988), o sistema enzimático das calpaínas é responsável pelas mudanças que resultam no amaciamento da carne e tem participação superior a 90% no processo, ademais, estão associados ao grupamento genético.

Estima-se que 80% do rebanho brasileiro seja composto por animais de sangue Zebuino (*Bos indicus*), principalmente da raça Nelore. Entretanto, estudos demonstram que a utilização de animais deste grupo genético pode influenciar de maneira negativa na maciez da carne, devido principalmente a maior atividade de calpastatina, inibidor natural das calpaínas (ANDRADE et al., 2010; MAGGIONI et al., 2012; MARTINS et al., 2017).

Com isso, outros métodos que possibilitem o aumento da maciez são avaliados, dentre eles o congelamento, definido como método de preservação mais utilizado pelos consumidores para armazenar produtos perecíveis por períodos prolongados, como a carne, (KIM et al., 2018). Entretanto, tem sido pouco explorado como ferramenta para aumentar a maciez de produtos cárneos.

Estudos anteriores realizado por Aroeira et al. (2016), com bovinos Angus e Nelore, e por Grayson et al. (2014) com carnes selecionadas por espectrometria infravermelha para maciez, sugeriram que o processo de congelamento realizado antes da maturação pode ser uma opção para melhorar a maciez, uma vez que a calpastatina tem maior suscetibilidade à inativação quando submetida a temperaturas de congelamento, enquanto a atividade da calpaína permanece relativamente estável.

Apesar das vantagens de preservação e, possivelmente, de melhora na maciez da carne, o congelamento pode provocar a redução da qualidade deste produto durante o descongelamento, atribuído principalmente ao rompimento das fibras musculares devido a formação de cristais de gelo extracelular (HUTTO et al., 2016).

Assim, objetivou-se com a realização deste trabalho, avaliar as características de carcaça e os efeitos do congelamento prévio à maturação da carne de bovinos de diferentes grupos genéticos terminados em confinamento.

2- REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DO TECIDO MUSCULAR

A carne é constituída de quatro tipos básicos de tecido, sendo eles, tecido conectivo, epitelial, nervoso e muscular. Este último o principal componente da carne, uma vez que se apresenta em maior quantidade e possui valor econômico. A unidade estrutural do músculo esquelético são as fibras musculares, constituídas de sarcolema e de um citoplasma diferenciado chamado de sarcoplasma que é composto de miofibrilas (Figura 1) (ORMENESE, 1995).

As proteínas do músculo podem ser divididas em três classes: estromáticas, sarcoplasmáticas e miofibrilares. As proteínas estromáticas, ou proteínas do tecido conjuntivo, são menos solúveis quando comparadas com as proteínas miofibrilares. A maior parte dessas proteínas são representadas por elastina e colágeno, sendo este último caracterizado por conter glicina, prolina e hidroxiprolina (ALVES et al., 2005).

As proteínas sarcoplasmáticas são encontradas no sarcoplasma da miofibrila, representando de 30 a 34% do total de proteínas do músculo, e são responsáveis por funções metabólicas, sendo representadas principalmente por enzimas e mioglobina. Muitas dessas proteínas estão envolvidas na glicólise e na glicogênese e a maior parte das enzimas da síntese de carboidratos e de proteínas (KIM et al., 2014; SGARBIERI, 1996).

O conjunto de proteínas miofibrilares é composto por miosina, actina, proteína C, proteína M, tropomiosina, α -actina e β -actina. As miofibrilas são compostas por um agrupamento de miosina e actina, denominados filamentos grossos e finos, respectivamente, que são distribuídos paralelamente ao longo da miofibrila, se sobrepondo em certas regiões ocasionando a formação de áreas que se alternam em relação a densidade de coloração mais ou menos escura (EMBRAPA, 1999).

Ao observar esta estrutura em microscópio com luz polarizada é possível diferenciar as regiões em faixas claras, aquelas que possuem uma refração simples (*isotrópica*) chamadas de banda I, que apresenta apenas filamentos finos, e as faixas escuras, que apresentam refração dupla (*anisotrópica*) denominada banda A, onde se localizam os filamentos grossos e finos (Figura 1) (RAMOS & GOMIDE, 2017).

O sarcômero, unidade contrátil estrutural repetitiva ao longo da miofibrila, tem o papel importante durante os ciclos de contração e relaxamento muscular (PEDREIRA, 2006). Seu comprimento é tomado como a distância entre duas linhas Z sucessivas, sendo composto de uma banda A e duas metades de banda I. Encontra-se também a zona H, correspondendo à parte central da banda A que não é sobreposta por filamentos finos, e a linha M que une as caudas dos miofilamentos grossos (Figura 1) (FERREIRA, 2005; SARCINELLI et al., 2007).

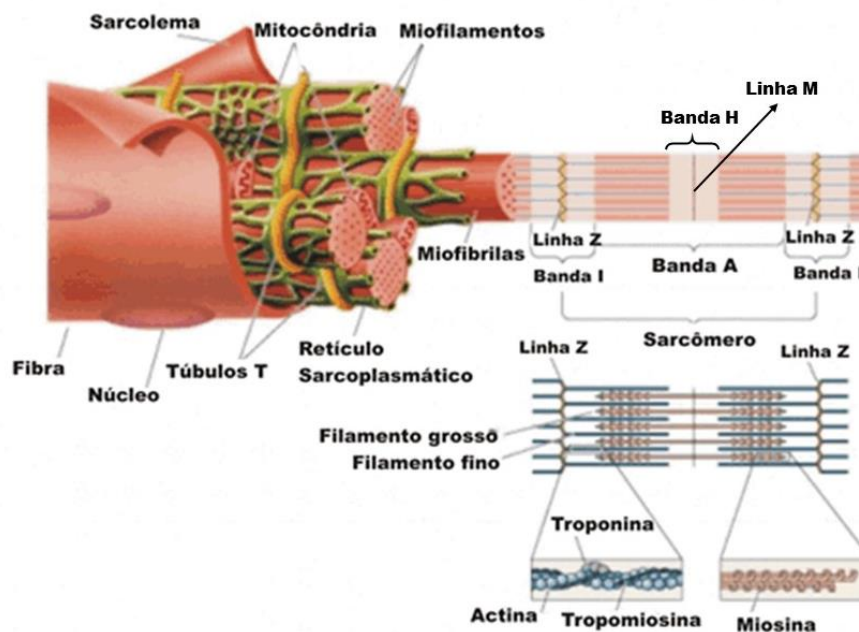


Figura 1. Representação esquemática de uma fibra muscular e seus componentes

Adaptado de: https://www.sobiologia.com.br/figuras/Histologia/Fibras_musculares2.jpg

Os filamentos finos são formados de actina, tropomiosina e troponina, e por sua vez, a actina é formada de subunidades globulares de actina G, na qual se polarizam formando unidades de uma proteína fibrilar (actina F), que se entrelaçam duas a duas em hélice, forma característica deste filamento (FERREIRA, 2005). A tropomiosina tem uma estrutura fibrilar composta por duas cadeias polipeptídicas enroladas e se posiciona sobre a superfícies da actina, estendendo-se por 7 unidades de actina G. Enquanto a troponina é um complexo proteico formado por três subunidades (TnC, TnI e TnT) com funções específicas, sendo a TnC a subunidade em que o cálcio se liga, a TnI inibe a ação da actina e a atividade da ATPase, e a TnT faz ligação com a tropomiosina,

essas por sua vez se distribuem a intervalos regulares em sítios específicos da tropomiosina (Figura 2) (BOFF, 2008).

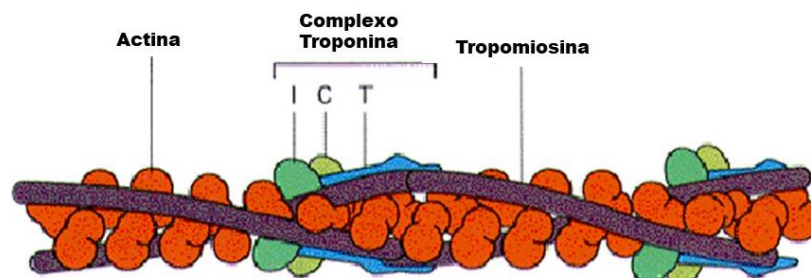


Figura 2. Desenho representativo da actina e suas estruturas anexas
Disponível em: <http://labs.icb.ufmg.br/lbcd/prodabi4/grupos/grupo1/actina-tropomiosina.htm>

O filamento grosso é composto por moléculas de miosina, dispostas ordenadamente, em que cada delas é constituída por dupla hélices enroladas entre si e, em uma das extremidades se encontram duas cabeças globulares que se dispõem de maneira helicoidal. Esses filamentos são formados por um arranjo antiparalelo de moléculas de miosina, de modo que a porção central é lisa e formada apenas pelos bastões das moléculas, localizada no centro da banda A, com as cabeças globulares se projetando para fora, em direção as extremidades das miofibrilas (Figura 3) (FERREIRA, 2005).

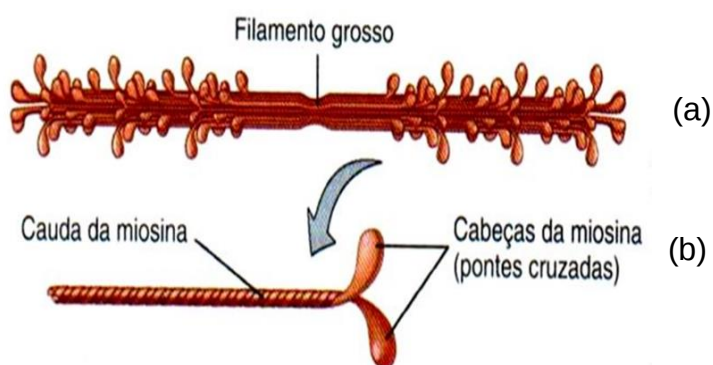


Figura 3. Desenho representativo do filamento de miosina (a) e detalhamento da molécula de miosina (b)
Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/>

Durante o processo de contração muscular ocorre a ligação de miosina e a actina, formando actomiosina que resultará em rigidez e inextensibilidade muscular. A formação de actomiosina pode ocorrer em dois momentos distintos,

no animal vivo e logo após o abate (*rigor mortis*), em que, na primeira situação as ligações formadas são temporárias pelo fato de, nos ciclos de contração, no estado de relaxamento, essas pontes são rompidas. Por outro lado, no segundo caso, as ligações formadas são em maior número e o relaxamento no estado de *rigor mortis* não é possível, devido à falta de energia suficiente para a quebra das ligações (ALVES & MANCIO, 2007; FERREIRA, 2005).

2.1.1 - PROTEÓLISE MUSCULAR

Após o *rigor mortis* ocorrem inúmeros processos bioquímicos nas estruturas do sarcômero pela ação das proteinases endógenas, que possuem alta capacidade de degradar as proteínas miofibrilares. De acordo com Koohmaraie (1992), existem três sistemas proteolíticos envolvidos nesses eventos: o sistema das calpaínas, as catepsinas lisossomais e o complexo proteinases multicatalítico (MCP).

Para Koohmaraie (1992), possivelmente o primeiro relato da existência da calpaína tenha sido por Guroff em 1964, que descreveu sua existência no cérebro de ratos, e um pouco mais tarde Dayton em 1967, conseguiu purificá-la do músculo esquelético de suínos. Desde então, diversos estudos foram realizados a fim de identificar o papel desse sistema e sua relação com o aumento da maciez da carne após a maturação.

O sistema proteolítico das calpaínas, ou enzimas cálcio dependentes, consiste em dois tipos que se diferem pela quantidade de cálcio necessária para sua ativação. A calpaína tipo I ou μ -calpaína, requerer níveis micromoles de cálcio, enquanto a calpaína tipo II ou m-calpaína, é ativada por níveis mais elevados, milimoles de cálcio, sendo ambas ativadas quando o pH reduz de 6,8 para aproximadamente 5,7 (ANDRIGHETTO et al., 2006).

A μ -calpaína é a principal responsável pela degradação das proteínas associadas ao componente miofibrilar durante o processo de maturação, sendo bastante eficiente no amaciamento da carne logo após o abate, entre 6 a 10 horas por requerer menos cálcio (RAMOS & GOMIDE, 2017). Quando o nível de ATP cai abaixo de 0,1 mM juntamente com a queda do pH, ocorre a liberação de cálcio ligado ao retículo sarcoplasmático e a mitocôndria, aumentando os seus níveis séricos de cálcio (PEDREIRA, 2006). Por este fato, a m-calpaína é ativada

em torno de 16 horas *post-mortem* e permanece assim por longos períodos (ANDRIGHETTO et al., 2006).

As calpaínas não atuam diretamente sobre a miosina e a actina, porém tem se mostrado responsável pela proteólise de proteínas do citoesqueleto (titina e nebulina) e filamentos intermediários (desmina) durante a maturação (BHAT et al., 2018). A hidrólise da tropomiosina e troponina facilita a desestruturação e a liberação dos filamentos finos, resultando nos monômeros de actina, enquanto a digestão da proteína C em um mecanismo semelhante desestabiliza e libera os filamentos grossos, resultando nos monômeros de miosina (KUBOTA et al., 1993).

No complexo do sistema de calpaínas, outro importante componente proteolítico é um inibidor altamente específico, referido como calpastatina. Essa enzima inibe a ação das calpaínas, desta forma reduz a degradação das proteínas miofibrilares durante o processo de maturação, tornando a carne mais dura (RUBENSAM et al., 1998).

A calpastatina encontrada no músculo esquelético é uma proteína polimórfica de 70-80 kDa, constituída por quatro domínios de repetição (I, II, III, IV) que possuem atividade inibitórias (RAYNAUD et al., 2005). Na presença de cálcio cada um desses domínios é capaz de inibir uma molécula de calpaína através da interação em três regiões específicas, os subdomínios da calpastatina ligam-se aos dois domínios receptores de cálcio da calpaína (CAMPBELL & DAVIES, 2012).

De maneira geral, todas as células contêm calpaína e calpastatina, podendo ocorrer variações na relação entre elas de acordo com tipo de célula (KOOHMARAIE, 1992). A ligação de calpastatina à calpaína também são dependentes do íon cálcio, na qual a quantidade de cálcio requerido pelas calpastatinas para formar o complexo calpaína-calpastatina é aproximadamente a mesma requerida pela μ -calpaína (50 μ M), ou inferior (0,25 a 0,50 mM) se tratando de m-calpaína (LAGE et al., 2009).

Já as catepsinas lisossomais possuem grande importância no processo de maturação, sendo consideradas proteases ácidas por atuarem em pH mais baixo que as calpaínas. Quando pH atinge em torno de 5,5 as membranas lisossômicas são quebradas, liberando as catepsinas que também atuam no processo de amaciamento (PEDREIRA, 2006). Existem cerca de 15 a 20

catepsinas identificadas, porém apenas 8 estão envolvidas na proteólise do músculo (B, E, F, H, K, L, S) e possuem atividade sobre a degradação do disco Z, além de degradar rapidamente miosina e actina e exercer ação proteolítica sobre o colágeno (ANDRIGHETTO et al., 2006).

Por outro lado, o complexo multicatalítico de proteases (MCP) atua preferencialmente sobre peptídeos. Por possuírem pouca atividade *in vitro* e não estarem envolvidas nos primeiros estágios de modificações das miofibrilas, seus efeitos ainda são desconhecidos (ALVES et al., 2005; ALVES & MANCIO, 2007).

2.1.2 - MACIEZ DA CARNE

Dentre as características organolépticas da carne bovina, a maciez é considerada uma das mais importantes entre os consumidores, sendo precedida apenas pela cor e aparência. Os fatores que irão influenciar na maciez da carne podem ser divididos em *ante-mortem* ou intrínsecos, que são atribuídos ao genótipo e às condições ambientais de criação, e os *post-mortem* ou extrínsecos, associados ao manejo pré-abate, ao abate e tratamentos pós-abate (FELÍCIO, 1998).

O grupamento genético pode influenciar de maneira direta na maciez da carne bovina, na qual carnes oriundas de *Bos indicus* podem ser menos macias que as oriundas de *Bos taurus* (ALVES & MANCIO, 2007). Neste contexto, Martins et al. (2017), inferiram que a maior proteólise *post-mortem* no músculo de animais europeus em comparação aos zebuínos não é causada por diferenças na expressão dos genes que codificam calpaína e calpastatina, ou ainda pela abundância dessas enzimas, e sim devido à maior atividade da calpastatina no músculo de animais *Bos indicus*.

Whipple et al. (1990), observaram que animais zebuínos apresentavam maiores concentrações de calpastatina no músculo quando comparados com animais taurinos. Ainda segundo esses autores, quanto maior a participação de *Bos indicus* no genótipo, menor a velocidade e a extensão dos efeitos benéficos da maturação, ou seja, a carne oriunda de animais europeus teria o processo de maturação (proteólise muscular) mais intenso nos primeiros dias, em comparação a carne de animais zebuínos bem como seus mestiços.

Crouse et al. (1989), ao estudarem a herança genética de Brahman e Shihwal sobre Hereford e Angus em cruzamentos nas proporções de 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, zebuínio:taurino, respectivamente, observaram que conforme aumentou o percentual de *Bos indicus* houve aumento dos valores de força de cisalhamento, em que as raças taurinas estudadas tiveram força de cisalhamento média de 4,4 Kgf, enquanto os mestiços com Brahman ou Sahiwal as médias obtidas foram de 5,2, 5,8, e 6,7 ou 5,6, 6,6 e 8,4 kgf, respectivamente. Esses autores indicam ainda que os problemas existentes na maciez de animais zebuínos parecem ser independentes do ambiente de produção ou composição da carne, e que provavelmente está ligado com a fragmentação miofibrilar.

Em estudo com bovinos $\frac{1}{2}$ Nelore x $\frac{1}{2}$ Aberdeen Angus, $\frac{1}{2}$ Nelore x $\frac{1}{2}$ Simental e Nelore abatidos com 12 a 15 meses de idade Hadlich (2003), não observou diferença na força de cisalhamento entre os grupos genéticos. Entretanto, constatou divergências entre o período de 24 horas de resfriamento e os tempos de 7 e 14 dias de maturação, apresentando força de cisalhamento de 4,66 kgf contra 3,07 kgf e 2,77 kgf, respectivamente e entre os tempos 7 e 14 dias não houve efeito significativo. Esta semelhança na maciez das carnes, nos tempos 7 e 14 dias de maturação, são informações relevantes para a indústria, uma vez que o tempo necessário de permanência para a obtenção de um produto com maciez desejável é reduzido. Além disso mostra também a possibilidade de ter carne macia contendo animais zebuínos em sua composição.

Rubiano et al. (2009), ao avaliar as características de carcaça e qualidade de carne de animais Nelore, $\frac{1}{2}$ Nelore x Canchim e Canchim no modelo superprecoce, observaram diferenças nos resultados de força de cisalhamento (kg) obtidos a 24 horas de maturação com médias de 2,69; 3,81 e 2,48 kg, respectivamente. Entretanto, ao analisarem a maciez aos 7 dias de maturação (2,05; 2,52 e 2,14 kg, respectivamente) não houve diferença significativa entre os grupos genéticos.

A maciez da carne também está associada à estrutura do tecido muscular, às propriedades bioquímicas das fibras musculares esqueléticas, especialmente as miofibrilas e seus filamentos intermediários, e ao tecido conjuntivo intramuscular (endomísio e o perimísio), os quais são compostos de fibrilas e fibras de colágeno (MONTEIRO & SHIMOKOMAKI, 2000). Neste sentido,

Koohmaraie (1992) citou que 15% das variações encontradas na maciez da carne bovina podem ser atribuídas às diferenças em marmoreio e colágeno, e a maior parte, outros 85% restantes, as alterações ocorridas no processo enzimático que promove o amaciamento da carne, conhecido como maturação e que envolve enzimas proteolíticas.

Ademais, para promover maior maciez da carne oriunda de bovinos, de ambas constituições genéticas, e a padronização dos produtos comercializados, utiliza-se da aplicação do processo de maturação.

2.1.2.1 - MATURAÇÃO

Uma alternativa tecnológica usualmente empregada pela indústria da carne é o processo de maturação úmida, o qual possui como objetivo principal melhorar as características de maciez, sabor e suculência da carne. A maturação consiste em manter a carne, após o processo de *rigor mortis*, sob refrigeração e embalada a vácuo, com temperatura em torno de 1 a -2°C, por um período após o abate que pode variar de 7 até 28 dias (ABRAHÃO, 2007; ANDRIGHETTO et al., 2006).

Durante o processo de maturação, ocorrem diversos processos bioquímicos, que refletirão na maciez da carne, fazendo com que este mecanismo seja alvo de diversos estudos. Com o desenvolvimento desses estudos foi possível identificar as proteínas, bem como, o papel que elas exercem no processo de maturação. Historicamente, eram observadas mudanças na maciez da carne, mensurada subjetiva e objetivamente. Entretanto, os fatores que contribuíam para esses achados não eram bem elucidados.

Em suma, a maciez obtida no final do processo de maturação será resultado do quanto efetiva foi a degradação realizada pelas proteases endógenas para romper as estruturas das miofibrilas compactadas no *rigor mortis*, sendo influenciada pela taxa de decréscimo dessa contração máxima (rigor), nível de compactação, eficiência da degradação enzimática e tempo de maturação (ABRAHÃO, 2007; LAGE et al., 2009).

Segundo Koohmaraie et al. (1988), o sistema enzimático das calpaínas é responsável pelas mudanças que resultam no amaciamento da carne e tem participação superior a 90% no processo. E Koohmaraie (1994) descreve as

principais mudanças estruturais decorrentes da ação das enzimas cálcio-dependentes (calpaínas) que são: fragmentação das miofibrilas, devido ao enfraquecimento da linha Z; desaparecimento da troponina e aparecimento de um polipeptídeo de 28-32 kDa; degradação da desmina que leva à fragmentação das miofibrilas; degradação da titina e enfraquecimento da tensão das miofibrilas e degradação da nebulina.

Em estudo realizado por Wheeler et al. (1990), observaram diferentes níveis de calpaína e calpastatina em músculo de animais de distintas constituições genéticas (*Bos indicus* x *Bos taurus*). Esses autores relataram que os *Bos indicus* apresentam níveis mais baixos de calpaína e níveis mais altos de calpastatina, ocasionando redução da maciez. Deste modo, pelo fato dos animais *Bos indicus* apresentarem melhor adaptabilidade as condições brasileiras, e os *Bos taurus* manifestarem carne com elevada maciez, despertou interesse dos produtores em utilizar do cruzamento entre eles a fim de melhorar a heterose para maciez da carne.

Neste contexto, a elevada concentração de calpastatina no músculo bovino foi avaliada por Rubensam et al. (1998), trabalhando com bovinos Hereford, $\frac{3}{4}$ Hereford x $\frac{1}{4}$ Nelore e $\frac{5}{8}$ Hereford x $\frac{3}{8}$ Nelore, no 1º e 10º dia de maturação. Os autores observaram no dia 1º *post-mortem* uma relação positiva em que, quanto maior a proporção de gene zebuíno maior as concentrações em U/g de carne (Hereford = 1,67; $\frac{3}{4}$ Hereford x $\frac{1}{4}$ Nelore = 1,79; $\frac{5}{8}$ Hereford x $\frac{3}{8}$ Nelore = 2,65). Além disso, não foi detectada diferença estatística entre os grupos estudados no 10º, no entanto os zebuínos ainda apresentavam maiores médias em comparação aos europeus.

Abrahão (2007), ao avaliar a maciez da carne de animais Nelore e meio sangue Nelore x Aberdeen Angus, abatidos com idade de 12 ou 24 meses e 450 kg de peso vivo, não observaram influência da presença genética zebuína na maciez da carne, porém, detectaram diferença na maciez de carnes sem maturação e com maturação, entretanto, não diferindo entre o período de 7 ou 14 dias.

Devido a variabilidade genética encontrada nos níveis de calpastatina nos músculos de diferentes animais, a realização da seleção genética poderia resultar em melhorias na maciez da carne (LOPES, 2010). Shackelford et al. (1994), observaram que a herdabilidade dos níveis de calpastatina é alta

($h=0,65$) e que a correlação genética entre nível de calpastatina e força de cisalhamento é de 0,50.

2.2 - PARÂMETROS QUALITATIVOS

2.2.1 - EFEITO DO PH

A acidificação muscular está entre os primeiros eventos ocorrentes na transformação do músculo em carne e sua expressão é amplamente estudada. A avaliação do pH final do músculo *post-mortem* é importante, pois permite prever certas características qualitativas da carne, como maciez, cor e capacidade de reter água (MALTIN et al., 2003)

Após o abate, em consequência da perda do aporte de oxigênio, o organismo utiliza de reservas energéticas na tentativa de manter a homeostase. A glicólise ocorre no músculo *post-mortem* produzindo ácido láctico que se acumula no músculo, pois o sistema circulatório encontra-se não funcional, provocando o declínio do pH de 7,0, no momento da morte, para 5,5 a 5,9 na carne normal (PEARCE et al., 2011).

Aparentemente, a glicólise *post-mortem* e o declínio do pH muscular são interrompidos, em condições normais de resfriamento da carcaça, quando os estoques de glicogênio muscular estão baixos ou esgotados, ou quando o pH do músculo atingiu aproximadamente 5,45 e esse pH baixo inibe a atividade das enzimas glicolíticas (WULF et al., 2002)

Por outro lado, na falta de glicogênio, não ocorre a acidificação correta do músculo resultando em carne com pH elevado ($pH > 5,9$), o que proporcionará às proteínas musculares, excessiva capacidade de retenção de água e coloração escura, ou seja, carnes do tipo DFD (dura, firma e seca) (FELÍCIO, 1997).

Segundo Seideman et al. (1984), a cor escura apresentada pelas carnes DFD possui alta influência da água, pois nessas condições se localizam entre as células musculares quando deveriam localizar-se dentro delas, e em decorrência desses fatores, a carne fica com uma superfície refletora maior, que espalha a luz antes de ser absorvida, reduzindo assim a intensidade de cor.

Animais do grupamento genético Zebuíno podem apresentar maior estresse no pré-abate por serem mais reativos aos processos de transporte e jejum prolongado, o que poderia contribuir para maior utilização das reservas de

glicogênio muscular, não promovendo a correta acidificação do músculo, proporcionando carne DFD (BARÓN, 2016; LOPES et al., 2012).

2.2.2 - A COR DAS CARNES

Os consumidores classificam a cor como o traço de qualidade mais importante para carne fresca, sendo a primeira característica qualitativa a ser avaliada e associada a qualidade do produto (JOO et al., 2013). Assim, carnes com coloração vermelho brilhante são consideradas pelos consumidores um produto fresco e de boa qualidade, em contrapartida aquelas com vermelho mais opaco, podem ser rejeitadas no ato da compra.

O principal pigmento responsável pela cor da carne é a mioglobina (Mb) além de outras proteínas heme, como a hemoglobina e o citocromo, portanto as cores finais da carne possuem influência tanto da concentração de pigmentos presente no músculo como seu estado químico (MANCINI & HUNT, 2005).

A hemoglobina está presente em grandes quantidades no músculo do animal vivo, por transportar o oxigênio pela corrente sanguínea e, no ato da sangria grande, parte é removida tornando assim a Mb responsável por 90% ou mais da pigmentação da carne (OSÓRIO et al., 2009). De maneira geral, a mioglobina e a hemoglobina (Hb) possuem o mesmo componente cromóforo, que é responsável pela absorção de luz e cor desses pigmentos, chamado de grupo heme. Diante disso ambos pigmentos sofrem as mesmas reações de cor, embora em taxas diferentes.

O grupo heme de Mb e Hb apresenta estrutura denominada de anel de porfirina que é, espacialmente, uma estrutura plana com um metal específico, o ferro, que pode ser encontrado na forma ferrosa (Fe^{+2} , reduzido) ou férrica (Fe^{+3} , oxidado) (BREWER, 2004). Na sua estrutura química, a sexta valência do átomo de ferro no estado reduzido (Fe^{+2}) se encontra livre, ou seja, serve como sítio de ligação para gases como o oxigênio (O_2) e monóxido de carbono (CO) (SEIDEMAN et al., 1984).

Essas ligações entre Fe^{+2} com gases como O_2 , CO_2 , CO, NO, H_2O possibilitam a geração de derivados da hemoglobina ou mioglobina, proporcionando coloração e estabilidade diversas. Porém, quando o ferro se encontra no estado oxidado, ou seja, forma ferrosa (Fe^{+3}), a sexta valência não se encontra disponível e a ligação com gases é impossibilitada, tornando a

molécula fisiologicamente inativa, dando origem a metamioglobina (MMb) (PAULINO et al., 2013).

A capacidade em absorver e, principalmente, refletir a luz através do pigmento de mioglobina dependerá da forma química que se encontra, ou seja, das características estruturais do grupo-heme e do estado da mioglobina. Segundo Neves (2017), dependendo do estado químico do ferro (reduzido ou oxidado), a cor da carne fresca estará associada à proporção e distribuição relativa de três formas básicas: Deoximioglobina (Mb⁺), de coloração vermelho-púrpura; oximioglobina (O₂Mb), de coloração vermelho-brilhante; e metamioglobina (MMb), de coloração marrom.

Pela necessidade de determinar com precisão as cores, sistemas de cores foram criados a fim de representá-las através de números. Em 1976, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE) recomendou um sistema de cores que ficou conhecido como escala CIE L* a* b* (CIELAB), definido pela CIE como escala-padrão a ser usada para comunicar e diferenciar as cores.

No sistema de cores CIELAB o valor de L* determina a posição do ponto sobre o eixo vertical, representando a luminosidade da amostra; o valor de a*, o ponto sobre o eixo verde (-)/vermelho (+); e o valor de b*, o ponto correspondente sobre o eixo azul (-)/amarelo (+) (CARVALHO et al., 2016). Através da escala CIELAB é possível se obter matematicamente a escala CIE L* C* h*, em que C* representa a saturação, estando ligada a concentração do elemento corante, ou seja, o índice de cor, já o h* distingue a cor e a qualidade entre as famílias de cores (amarelo, verde, azul, etc.) (Figura 4) (RAMOS & GOMIDE, 2017).

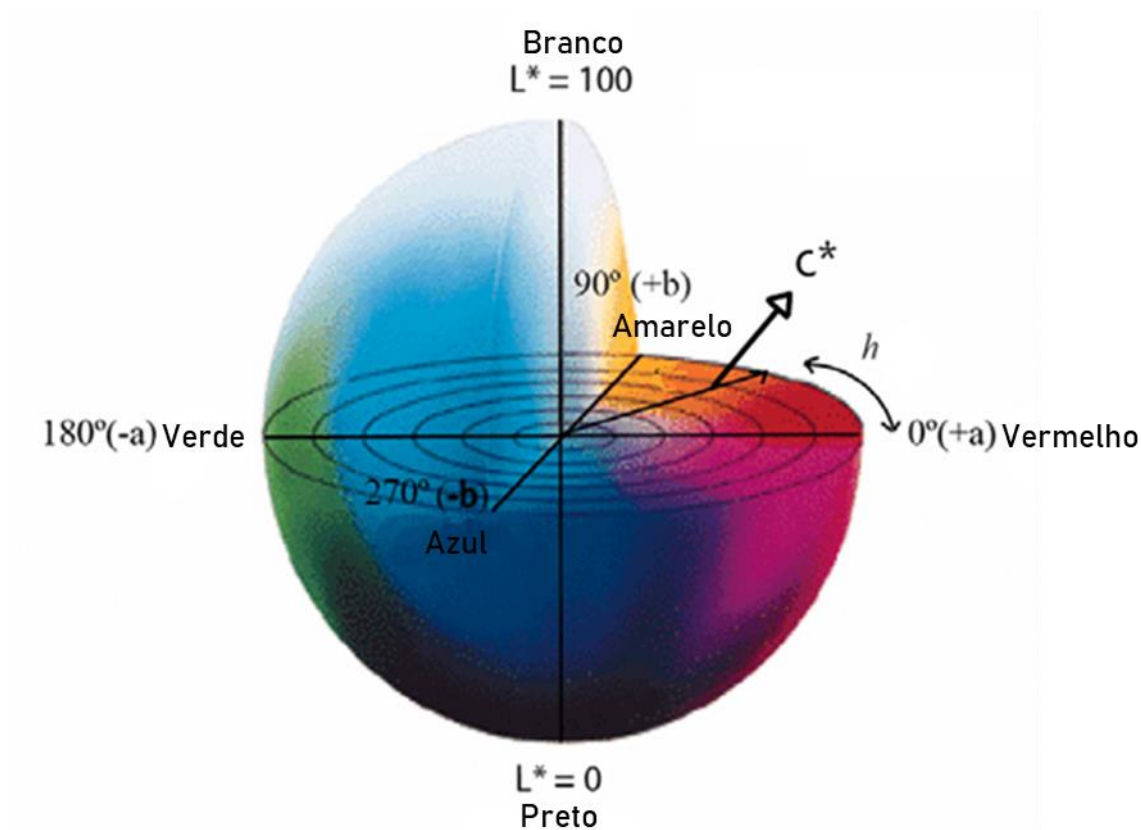


Figura 4. Representação esquemática das escalas de cor do sistema CIE para fatores L^* a^* b^* C^* h^*

Traduzido e adaptado de: Jordheim (2007).

Fatores intrínsecos podem influenciar e provocar variações na coloração das carnes, ou seja, relacionados com o conteúdo de mioglobina contido nos músculos, como raça, espécie, idade ao abate, estado nutricional e período pré-abate. Já os extrínsecos estão o processo de abate, temperatura e processo de estocagem (HONIKEL, 1997).

Com relação a idade de abate Felício (1997), cita que a coloração mais escura da carne de animais abatidos tardiamente é decorrente da maior concentração de mioglobina nos músculos. Se tratando de raça King et al. (2010), ao estudarem diferentes grupos genéticos e as variações no conteúdo de mioglobina, levando em conta a estabilidade da cor, afirmaram que a cor pode ser influenciada pela genética. E de acordo com Felício (1997) estudos demonstram maiores concentrações de mioglobina e, conseqüentemente, menores índices de reflexão de luz nas raças Simental, Chianina, Nelore e Guzerá, do que nas raças Limousine, Charolês e Canchim.

2.2.3 - TECIDO CONJUNTIVO

O colágeno é a proteína mais abundante do tecido conjuntivo sendo composta por monômeros de tropocolágeno, tendo como função principal a sustentação de outras estruturas. Quando presente nas fibras musculares pode estar em três regiões, envolvendo o músculo inteiro (epimísio), os feixes de fibras musculares (perimísio) e as fibras individuais (endomísio). Essas três estruturas são formadas por uma rede de fibras de colágeno e elastina (LEPETIT, 2008).

De acordo com Ramos & Gomide (2017), a quantidade de hidroxiprolina (HyPro) na molécula de colágeno é constante (cerca de 14%), além disso, este aminoácido não aparece em quantidades significativas em outras proteínas. Diante desses fatores, é possível utilizar a HyPro como um marcador na determinação da quantidade de colágeno nos tecidos.

Apesar de apenas 15% da variação na maciez da carne ser atribuída ao colágeno (Koohmaraie, 1992), este é responsável por boa parte das mudanças que ocorrem na textura das carnes após cozimento. Essas mudanças são influenciadas pela maturidade do colágeno, e outros fatores como modo de preparo, que inclui tempo e temperatura de aquecimento e o teor de umidade que são submetidos (HADLICH et al., 2013).

Segundo Bailey (1985), há alta correlação entre a idade do animal e a maciez da carne, ou seja, conforme aumenta a idade cronológica eleva-se a força de cisalhamento. Esta observação pode ser explicada pela natureza e extensão das ligações entre as moléculas dessa proteína que aumentam com a idade. Este autor afirma ainda ser proveitoso a utilização de raças continentais, por possuírem pouca quantidade de colágeno e serem tardios com relação à maturidade, efeito que se estende ao colágeno. Verzár (1960), postulou ainda que, como o colágeno não tem um *turnover* metabólico, os movimentos moleculares acabam por trazer as cadeias polipeptídicas mais próximas umas das outras, auxiliando assim na formação de ligações cruzadas ainda mais resistentes com o avanço da maturidade.

A ação das enzimas responsáveis pelo amaciamento da carne, também é observada sobre as proteínas do tecido conjuntivo. Esta ação das enzimas proteolíticas sobre as fibras de colágeno provoca uma redução da força das fibras de colágeno, através de uma desintegração do tecido, levando a um

aumento da sua solubilidade (ANDRIGHETTO et al., 2006; BAILEY & LIGHT, 1989).

Nas carnes maturadas a quantidade de colágeno solubilizado é maior que em carnes não maturadas, pela ação proteolítica das catepsinas, liberadas ao meio extracelular e capazes de clivar o colágeno insolúvel em fragmentos solúveis (MONSÓN et al., 2004; OLIVEIRA et al., 1998).

2.2.4 - CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA

As modificações bioquímicas e estruturais do sarcômero e dos miofilamentos também respondem pela capacidade de retenção de água (CRA) da fibra muscular, e essa influencia na maciez e suculência da carne (DRANSFIELD, 1994).

A CRA pode ser definida como o maior ou menor nível de fixação de água no músculo nas cadeias de actina-miosina. Por outro lado, no momento da mastigação pode ser traduzida na sensação de maior ou menor suculência, sendo avaliada de maneira positiva ou negativa pelo consumidor (OSÓRIO et al., 2009). A CRA pode ser traduzida ainda como a habilidade da carne em reter água e convertê-la em um parâmetro essencial, a suculência, para a satisfação do consumidor final. Uma baixa CRA irá afetar a aparência da carne *in natura*, o produto obtido durante e após o cozimento e a suculência durante a mastigação (HUFF-LONERGAN & LONERGAN, 2005) .

A água no tecido muscular pode ser encontrada de três formas: fortemente “ligada” à proteína, “imobilizada” no tecido muscular, ou na forma “livre”. A água “ligada” está presente em pequena quantidade no músculo, têm pouca mobilidade e resiste ao congelamento e expulsão pelo aquecimento (PEARCE et al., 2011). Por outro lado, a água “imobilizada” apresenta maior diferença no processo de conversão do músculo em carne, devido as mudanças ocorridas nas estruturas da célula e a queda do pH, sendo perdida pelo gotejamento. A perda da água “livre” tem a maior importância no resfriamento e estocagem das carcaças, e sua perda pode ocorrer por evaporação ou gotejamento. (HUFF-LONERGAN & LONERGAN, 2005).

2.2.5 - COMPRIMENTO DE SARCÔMERO

A determinação do tamanho do sarcômero demonstra uma correlação entre seu comprimento com o desenvolvimento do processo de *rigor mortis*, bem como da maciez da carne. O comprimento do sarcômero (CS) sofre alterações durante o período de rigor, sendo observadas rupturas nas miofibrilas, devido à ação enzimática, ao longo da progressão e resolução do *rigor mortis* (RODRIGUES & SILVA, 2016). Entretanto um menor comprimento, mesmo após procedimentos de maturação, indicam menor maciez da carne (MONTEIRO & SHIMOKOMAKI, 2000).

Wheeler et al. (1994), associaram o tempo *post-mortem* ao comprimento do sarcômero e ao valor da força de cisalhamento no músculo *longissimus* de cordeiros. Os autores observaram que, logo após o abate, o comprimento do sarcômero era de 2,24 μm e força de cisalhamento de 5,07 kgf, após 24 horas, o sarcômero encurtou para 1,69 μm , causando aumento em torno de 60% na força de cisalhamento (8,56 kgf), e a partir do 14º dia *post-mortem*, o comprimento do sarcômero aumentou para 1,9 μm , acompanhado de redução no valor da força de cisalhamento para 4,36 kgf. Sendo essas mudanças associadas ao processo de maturação.

Heinemann et al. (2003), avaliando animais Nelore e cruzados Nelore-Limousin, não constataram influência do grupo genético no comprimento de sarcômero avaliado sem maturação. Entretanto a diferença constatada foi na faixa de peso em que os animais foram abatidos, em que os mais leves tiveram menores valores de comprimento de sarcômero, o que pode contribuir de forma negativa na maciez e suculência da carne devido a maior compactação do tecido e consequentemente maior força de cisalhamento.

2.2.6 - ÍNDICE DE FRAGMENTAÇÃO MIOFIBRILAR (IFM)

O índice de fragmentação miofibrilar (IFM) é o fenômeno de quebra das miofibrilas em segmentos menores no disco Z ou próximo a ele, que ocorre durante o armazenamento *post-mortem*, pelas proteases endógenas (OLSON et al., 1976).

As mensurações das degradações das proteínas musculares *post-mortem* podem ser avaliadas através da eletroforese em gel, pela determinação de aminoácidos livres, ou ainda através da fragmentação miofibrilar. Esta última

técnica pode ser realizada por dois métodos, em que ambos necessitam de homogeneização prévia da amostra e, posteriormente, no primeiro método a análise das miofibrilas é realizada em microscópio ótico com luz polariza, e no segundo método, a homogeneização é seguida pela determinação do teor de proteína e medição da turbidez das amostras ajustadas a uma concentração de proteína comum (OLSON et al., 1976).

O método de microscopia é menos utilizado nas pesquisas, e foi proposto inicialmente por Fishell et al. (1985), e consiste na contagem do número de sarcômero por fragmento de miofibrila, porém, foram observados fatores que poderiam interferir na comparação dos dados obtidos por diferentes pesquisadores.

Desta forma, Hopkins et al. (2000), avaliaram microscopicamente a influência da rotação de homogeneização (5.000, 10.000 e 15.000 - rpm), o estado das amostras (frescas x congeladas) e o tempo de maturação. Observaram microscopicamente fragmentos de miofibrila alongado quando a amostra foi homogeneizada a 5.000 rpm quando comparada com as de 10.000 e 15.000 rpm. Já diferenças visuais entre as amostras frescas e congeladas foram menos evidentes. Os autores concluíram que a 5.000 rpm havia interferência do estado da amostra, entretanto essa influência não era observada a 15.000 rpm, recomendando sua utilização nas metodologias de análises que necessitam de homogeneização, pois supera qualquer efeito confuso com o congelamento.

2.3 - EFEITO DO CONGELAMENTO

A conservação pelo frio é uma das técnicas mais utilizadas no dia-a-dia pelos consumidores, em se tratando de alimentos perecíveis. O congelamento permite a conservação da carne por períodos prolongados de tempo, mantendo as características químicas, sensoriais e nutritivas do produto semelhante as iniciais, além de dificultar a ação negativa de micro-organismos (PELEGRINI et al., 2012). Por outro lado, os processos de congelamento e posterior descongelamento podem provocar alterações negativas como queima por congelamento, rancificação, desidratação e perdas por exsudação e alterações na cor da carne (OBUZ & DIKEMAN, 2003).

No passado a maior parte das pesquisas avaliavam apenas o efeito de congelar e descongelar a carne (CHEN et al., 1988; HERGENREDER et al., 2012; MUNRO, 1983; OBUZ & DIKEMAN, 2003), e recentemente iniciou-se estudos que avaliam os efeitos de congelamento/descongelamento/maturação (AROEIRA et al., 2016; AROEIRA et al., 2017; GRAYSON et al., 2014; PAULA, 2013), não só para bovinos, mas também, para outras espécies de fim comercial, como ovinos (LI et al., 2019) e suínos (KIM et al., 2018) .

Ao avaliarem o efeito do congelamento da carne de cordeiros, em diferentes tempos *post-mortem*, e posterior maturação refrigerada Li et al. (2019), concluíram que a perda de exsudato, a força de cisalhamento, a ultraestrutura e degradação da proteína miofibrilar foram significativamente diferentes devido ao congelamento, exceto a cor que em todos os tratamentos apresentou deterioração. Os autores sugerem ainda que a carne de ovinos seja congelada entre 12-24 horas após a sangria, pois a melhora da qualidade da carne devido à menor perda de água e maior maciez.

Com relação a cor, carnes frescas apresentam, em condições normais, cor vermelho cereja brilhante por mais tempo quando comparada com as carnes congeladas e descongeladas, em decorrência da liberação de mioglobina juntamente com o exsudato durante o processo de descongelamento (PINHEIRO et al., 2019).

As modificações observadas na cor das carnes congeladas, podem ocorrer também em consequência da redução da forma química da mioglobina, em que os radicais livres produzidos durante a oxidação lipídica podem alterar quimicamente o grupo heme e iniciar a oxidação da mioglobina. Aroeira et al. (2017), avaliando os efeitos do congelamento/descongelamento/maturação, observaram valores de L^* inferiores em carnes congeladas ($45,15 \pm 2,49$) em comparação às não congeladas ($49,51 \pm 1,23$) no tempo zero de maturação. Entretanto ao longo dos tempos de maturação houve um ligeiro aumento nas amostras congeladas e aos 21 dias apresentaram valores similares. Adicionalmente, concluíram que embora a estabilidade de cor tenha sido afetada pelo tratamento de congelamento e descongelamento, carnes congeladas e maturadas por 21 dias apresentaram valores de cor semelhantes aos de carnes não congeladas.

Estévez (2011), relatou que em período de congelamento mais longo pode ocorrer aumento nos valores de b^* da carne, estando relacionados ao acúmulo de metamioglobina e ao aumento da oxidação lipídica de acordo com o aumento do tempo congelado.

O método e o tempo de congelamento são capazes de influenciar a capacidade de retenção de água. Quando realizado lentamente e por grandes períodos de armazenamento, pode formar cristais de gelo maiores e induzir um aumento nas perdas de exsudato durante o descongelamento (PINHEIRO et al., 2019). A perda de fluído da carne contém água e o elevado conteúdo é indesejável, devido à redução quantitativa e qualitativa para as indústrias e, principalmente, para os consumidores (HOLMAN et al., 2017).

Estudos demonstram que o congelamento rápido forma cristais de gelo menores, e segundo Kim et al. (2015), interfere menos nos atributos de qualidade da carne bovina, por minimizar os danos causados ao tecido celular em comparação a outros métodos.

De acordo com Ferro Palma (2017), carnes que são designadas à congelamento e descongelamento, devem sofrer períodos mais curtos de maturação, pois períodos extensos pode provocar ligeira oxidação das gorduras, o que pode limitar o período de conservação.

Com relação a força de cisalhamento Grayson et al. (2014), relataram que ao congelar as carne e posteriormente maturá-las, os valores de força de cisalhamento eram menores, e de acordo com os autores, o amaciamento foi resultante do favorecimento da proteólise e da formação de cristais de gelo na carne.

3 - REFERÊNCIAS

ABIEC - **Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne**. Perfil da Pecuária no Brasil - Relatório anual 2018. Disponível em: <<http://abiec.siteoficial.ws/images/upload/sumario-pt-010217.pdf>>.

ABRAHÃO, A.R. **Análise de algumas proteínas miofibrilares envolvidas na maciez da carne em bovinos de corte**. 2007. 54 f. Tese de Doutorado. Faculdade de medicina veterinária e zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

ALVES, D.D.; GOES, R.H.T.B; MANCIO, A.B. Maciez da carne bovina. **Ciência Animal Brasileira**, v. 6, n. 3, p. 135–149, 2005.

ALVES, D.D.; MANCIO, A.B. Maciez da carne bovina - Uma revisão. **Revista da FZVA**, v. 14, n. 1, p. 193–216, 2007.

ANDRADE, P.L.; BRESSAN, M.C.; GAMA, L.T.; GONÇALVES, T.M.; LADEIRA, M.M.; RAMOS, E.M. Qualidade da carne maturada de bovinos Red Norte e Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 8, p. 1791–1800, 2010.

ANDRIGHETTO, C.; JORGE, A.M.; NASSER, M.D.; MAESTÁ, S.A.; RODRIGUES, É.; FRANCISCO, C.L. Maturação da carne bovina. **Revista Electrónica de Veterinária**, v. VII, n. 6, p. 1–6, 2006.

AROEIRA, C.N. TORRES FILHO, R.A.; FONTES, P.R.; GOMIDE, L.A.M.; RAMOS, A.L.S.; LADEIRA, M.M.; RAMOS, E.M. Freezing, thawing and aging effects on beef tenderness from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. **Meat Science**, v. 116, p. 118–125, 2016.

AROEIRA, C.N.; TORRES FILHO, R.A.; FONTES, P.R.; RAMOS, A.L.S.; GOMIDE, L.A.M.; LADEIRA, M.M.; RAMOS, E.M. Effect of freezing prior to aging on myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nellore and Aberdeen Angus cattle. **Meat Science**, v. 125, p. 16–21, 2017.

BAILEY. A.J.; LIGHT. N.D. Book review connective tissue in meat and meat products. **Elsevier Science**, v. 26, p. 355, 1989.

BAILEY, A.J. The Role of collagen in the development of muscle and its relationship to eating quality. **Journal of Animal Science**, v. 60, n. 6, p. 1580–1587, 1985.

BARÓN, C.L.C. **Influência do pH final na bioquímica e qualidade do músculo *Longissimus dorsi* de animais *Bos taurus indicus* machos inteiros**. 2016. 82 f. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

BHAT, Z.F.; MORTON, J.D.; MASON, S.L.; BEKHIT, A.E.A. Role of calpain system in meat tenderness: A review. **Food Science and Human Wellness**, v. 7, n. 3, p. 196–204, 2018.

BOFF, S.R. A fibra muscular e fatores que interferem no seu fenótipo. **Revista Acta Fisiátrica**, v. 15, n. 2, p. 111–116, 2008.

BREWER, S. Irradiation effects on meat color – a review. **Meat Science**, v. 68, n. 1, p. 1–17, 2004.

CAMPBELL, R.L.; DAVIES, P.L. Structure–function relationships in calpains. **Biochemical Journal**, v. 447, n. 3, p. 335–351, 2012.

CARVALHO, R.M.S. BOARI, C.A.; VILLELA, S.D.J.; PIRES, A.V.; MOURTHÉ, M.H.F.; OLIVEIRA, F.R.; DUMONT, M.A.; GONTIJO, R.P.; LOBO JÚNIOR, A.R.; MARTINS, P.G.M.A. Differences between sexes, muscles and aging times on the quality of meat from Wagyu × Angus cattle finished in feedlot. **Animal Production Science**, v. 58, n. 2, p. 350–357, 2016.

CHEN, M.T.; YANG, W.D.; GUO, S.L. Differentiation between fresh beef and thawed frozen beef. **Meat Science**, v. 24, n. 3, p. 223–226, 1988.

CROUSE, J.D.; CUNDIFF, L.V.; KOCH, R.M.; KOOHMARAIE, M.; SEIDEMAN, S.C. Comparisons of *Bos indicus* and *Bos taurus* inheritance for carcass beef characteristics and meat palatability. **Journal of Animal Science**, v. 67, p. 2661–2668, 1989.

DRANSFIELD, E. Modeling Post-mortem Tenderization- V: Inactivation of Calpains. **Meat Science**, v. 37, n. 3, p. 391–409, 1994.

EMBRAPA. **Conhecendo a Carne Que Você Consome**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 25f, 1999.

ESTÉVEZ, M. Protein carbonyls in meat systems: A review. **Meat Science**, v. 89, n. 3, p. 259–279, nov. 2011.

FELÍCIO, P.E. Fatores *ante e post mortem* que influenciam na qualidade da carne bovina. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Eds.). **Produção de Novilho de Corte**. 1. ed. Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 79–97.

FELÍCIO, P.E. Desdobramento da qualidade da carne bovina. **Higiene Alimentar**, v. 12, n. 54, p. 16–22, 1998.

FERREIRA, A.T. Fisiologia da Contração Muscular. **Revista Neurociências**, v. 13, p. 60–62, 2005.

FERRO PALMA, S. **Transformação Do Músculo Em Carne - Influência Na Qualidade Da Carne**. Instituto Politécnico de Beja, Escola Superior Agrária. **Anais...Beja:** 2017. Disponível em: https://repositorio.ipbeja.pt/bitstream/20.500.12207/4548/1/Ferro_Palma%2C_S._%282017%29_Lição.pdf.

FISHELL, V.K.; ABERLE, E.D.; JUDGE, M.D.; PERRY, T.W. Palatability and muscle properties of beef as influenced by preslaughter growth rate. **Journal of animal science**, v. 61, 1985.

GRAYSON, A.L.; KING, D.A.; SHACKELFORD, S.D.; KOOHMARAIE, M.; WHEELER, T.L. Freezing and thawing or freezing, thawing, and aging effects on beef tenderness. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 6, p. 2735–2740, 2014.

HADLICH, J.C. **Metodologias de análise de maciez como parâmetro de qualidade de carne de bovinos de diferentes grupos genéticos e idades**. 2003. 98 f. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2003.

HADLICH, J.C.; CURI, R.A.; SILVA, M.G.B.; FACTORI, M.A.; SILVEIRA, A.C.; CHARDULO, L.A.L. Maciez da carne bovina e sua relação com o crescimento e os tipos de fibra musculares. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 11, n. 4, p. 421–430, 2013.

HEINEMANN, R.J.B.; PINTO, M.F.; ROMANELLI, P.F. Fatores que influenciam a textura da carne de novilhos Nelore e cruzados Limousin-Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 8, p. 963–971, 2003.

HERGENREDER, J.E. HOSCH, J.J.; VARNOLD, K.A.; HAACK, A.L.; SENARATNE, L.S.; POKHAREL, S.; BEAUCHAMP, C.; LOBAUGH, B.; CALKINS, C.R. Effects of freezing and thawing rates on tenderness and sensory quality of beef subprimals in the same manner described for. **Jornal of Animal Science**, v. 91, p. 483–490, 2012.

HOCQUETTE, J.F.; BOTREAU, R.; PICARD, B.; JACQUET, A.; PETHICK, D.W.; SCOLLAN, N.D. Opportunities for predicting and manipulating beef quality. **Meat Science**, v. 92, n. 3, p. 197–209, 2012.

HOLMAN, B.W.B.; COOMBS, C.E.O.; MORRIS, S.; KERR, M J.; HOPKINS, D.L. Effect of long term chilled (up to 5 weeks) then frozen (up to 12 months) storage at two different sub-zero holding temperatures on beef: 1. Meat quality and microbial loads. **Meat Science**, v. 133, p. 133–142, 2017.

HONIKEL, K.O. Reference methods supported by OECD and their use in Mediterranean meat products. **Food Chemistry**, v. 59, n. 4, p. 573–582, 1997.

HOPKINS, D.L.; LITTLEFIELD, P.J.; THOMPSON, J.M. A research note on factors affecting the determination of myofibrillar fragmentation. **Meat Science**, v. 56, n. 1, p. 19–22, 2000.

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, set. 2005.

HUTTO, B.; SHACKELFORD, S.D.; KING, D.A.; WHEELER, T.L.; BROOKS, J.C.; GARMYN, A.J.; MILLER, M.F.; VOTE, D. **Optimization and commercial**

implementation of freeze/age process to improve beef tenderness. Reciprocal Meat Conference – Meat and Poultry Quality. **Anais...Meat and Muscle Biology**, 2016.

JOO, S.T.; KIM, G.D.; HWANG, Y.H.; RYU, Y.C. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. **Meat Science**, v. 95, n. 4, p. 828–836, 2013.

JORDHEIM, M. **Isolation, identification and properties of pyranoanthocyanins and anthocyanin forms.** 2007. 108 f. Tese Doutorado. Department of Chemistry, University of Bergen, Norway, 2007.

KIM, H.W.; KIM, J.H.; SEO, J.K.; SETYABRATA, D.; KIM, Y.H.B. 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.; LIESSE, C.; KEMP, R.; BALAN, P. Evaluation of combined effects of ageing period and freezing rate on quality attributes of beef loins. **Meat Science**, v. 110, p. 40–45, 2015.

KIM, Y. H.B.; WARNER, R.D.; ROSENVOLD, K. Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: a review. **Animal Production Science**, v. 54, n. 4, p. 375–395, 2014.

KING, D.A.; SHACKELFORD, S.D.; KUEHN, L.A.; KEMP, C.M.; RODRIGUEZ, A.B.; THALLMAN, R.M.; WHEELER, T.L. Contribution of genetic influences to animal-to-animal variation in myoglobin content and beef lean color stability. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 3, p. 1160–1167, 2010.

KOOHMARAIE, M.; BABIKER, A.S.; MERKEL, R. A.; DUTSON, T.R. Role of Ca^{++} dependent proteases and lysosomal enzymes in *postmortem* changes in bovine skeletal muscle. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 5, p. 1253–1257, 1988.

KOOHMARAIE, M. Role of the neutral proteinases in *postmortem* muscle protein degradation and meat tenderness. **Reciprocal Meat Conference Proceedings**, v. 45, p. 45–63, 1992.

KOOHMARAIE, M. Muscle proteinases and meat aging. **Meat Science**, v. 36, n. 1–2, p. 93–104, 1994.

KUBOTA, E.H.; OLIVO, R.; SHIMOKOMAKI, M. Maturação da carne: um processo enzimático. **Revista Nacional da Carne**, v. 18, n. 200, p. 12–15, 1993.

LAGE, J.F.; OLIVEIRA, I.M.; PAULINO, P.V.R.; RIBEIRO, F. Papel do sistema calpaína-calpastatina sobre a proteólise muscular e sua relação com a maciez da carne em bovinos de corte. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 10, n. 12, p. 1–20, 2009.

LEPETIT, J. Collagen contribution to meat toughness: Theoretical aspects. **Meat Science**, v. 80, n. 4, p. 960–967, 2008.

LI, G.; LI, Z.; LI, X.; WANG, Y.; ZHU, J.; ZHANG, D. Postmortem ageing influences the thawed meat quality of frozen lamb loins. **Food Chemistry**, v. 275, n. 1, p. 105–112, 2019.

LOPES, L.S. Diferença entre animais *Bos indicus* e *Bos taurus* e sua influência sobre a qualidade da carne. **PUBVET**, v. 4, n. 18, p. 24, 2010.

LOPES, L.S.; LADEIRA, M.M.; MACHADO NETO, O.R.; PAULINO, P.V.R.; CHIZZOTTI, M.L.; RAMOS, E.M.; OLIVEIRA, D.M. Características de carcaça e cortes comerciais de tourinhos Red Norte e Nelore terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 4, p. 970–977, 2012.

MAGGIONI, D.; PRADO, I.N.; ZAWADZKI, F.; VALERO, M.V.; MARQUES, J.A.; BRIDI, A.M.; MOLETTA, J.L.; ABRAHÃO, J.J.S. Grupos genéticos e graus de acabamento sobre qualidade da carne de bovinos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 391–402, 2012.

MALTIN, C.; BALCERZAK, D.; TILLEY, R.; DELDAY, M. Determinants of meat quality: tenderness. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 62, n. 2, p. 337–347, 2003.

MANCINI, R.A.; HUNT, M.C. Current research in meat color. **Meat Science**, v. 71, n. 1, p. 100–121, 2005.

MARTINS, T.S.; SANGIARD, L.M.P.; SILVA, W.; CHIZZOTTI, M.L.; LADEIRA, M.M.; SERÃO, N.V.L.; PAULINO, P.V.R.; DUARTE, M.S. Differences in skeletal muscle proteolysis in Nellore and Angus cattle might be driven by Calpastatin activity and not the abundance of Calpain/Calpastatin. **The Journal of Agricultural Science**, v. 155, n. 10, p. 1669–1676, 2017.

MONSÓN, F.; SAÑUDO, C.; SIERRA, I. Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. **Meat Science**, v. 68, n. 4, p. 595–602, 2004.

MONTEIRO, E.M.; SHIMOKOMAKI, M. **Inter-relação da estrutura muscular e textura da carne**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2000.

MUCHENJE, V.; DZAMA, K.; CHIMONYO, M.; STRYDOM, P.E.; HUGO, A.; RAATS, J.G. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. **Food Chemistry**, v.112, n. 2, p. 279-289, 2009.

MUNRO, P.A. The tensile properties of frozen and thawed lean beef. **Meat Science**, v. 9, n. 1, p. 43–61, 1983.

NEVES, M.D. **Qualidade da carne de bovinos submetidos a diferentes níveis de suplementação e diferentes tipos de processamento do milho na fase de terminação**. 2017. 65 f. Dissertação de Mestrado. Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

OBUZ, E.; DIKEMAN, M. E. Effects of cooking beef muscles from frozen or thawed states on cooking traits and palatability. **Meat Science**, v. 65, n. 3, p. 993–997, 2003.

OLIVEIRA, L.B.; SOARES, G.J.D.; ANTUNES, P.L. Influência da maturação de carne bovina na solubilidade do colágeno e perdas de peso por cozimento. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 4, p. 166–171, 1998.

OLSON, D.G.; PARRISH JR, F.C.; STROMER, M.H. Myofibril Fragmentation and Shear Resistance of Three Bovine Muscles During Postmortem Storage. **Journal of Food Science**, v. 41, n. 5, p. 1036–1041, 1976.

ORMENESE, F.M. **Efeito do processo tender tainer de maturação sob pressão na maciez da carne bovina**. 1995. 115 f. Tese de Doutorado. Faculdade de engenharia de alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.

OSÓRIO, J.C.D.S.; OSÓRIO, M.T.M.; SAÑUDO, C. Características sensoriais da carne ovina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 292–300, 2009.

PAULA, M.L. **Efeito do congelamento prévio à maturação na qualidade da carne de bovinos nelore e F1 (Nelore x Simental) terminados a pasto e confinado**. 2013. 123 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

PAULINO, P.V.R.; DUARTE, M.S.; OLIVEIRA, I.M. Aspectos zootécnicos determinantes da qualidade de carne. In: **II simpósio brasileiro de produção de ruminantes**. 2 ° ed. Itapetinga: 2013. p. 216.

PEARCE, K.L.; ROSENVOLD, K.; ANDERSEN, H.J.; HOPKINS, D.L. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes - A review. **Meat Science**, v. 89, n. 2, p. 111–124, 2011.

PEDREIRA, A.C.M.S. A maturação como técnica de amaciamento da carne. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 3, n. 1, 2006.

PELEGRINI, L.F.V.; PELLEGRINI, L.G.; PELLEGRINI, L.G.; PELLEGRINI, A.C. R.S. Efeito do tempo de congelamento sobre as características físico-químicas da carne bovina e suína. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 10, n. 238, p. 367, 2012.

PINHEIRO, R.S.B.; FRANCISCO, C.L.; LINO, D.M.; BORBA, H. Meat quality of Santa Inês lamb chilled-then-frozen storage up to 12 months. **Meat Science**, v. 148, p. 72–78, 2019.

RAMOS, E.; GOMIDE, L.A. **Avaliação da qualidade de carnes: Fundamentos e metodologias**. 2ª Edição ed. Viçosa: Editora UFV, 2017.

RAYNAUD, P.; GILLARD, M.; PARR, T.; BARDSLEY, R.; AMARGER, V.; LEVÉZIEL, H. Correlation between bovine calpastatin mRNA transcripts and protein isoforms. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 440, n. 1, p. 46–53, 2005.

RODRIGUES, T.P.; SILVA, T.J.P. Caracterização do processo de *rigor mortis* e qualidade da carne de animais abatidos no Brasil. **Arquivos de Pesquisa Animal**, v. 1, n. 75, p. 1–20, 2016.

RUBENSAM, J.M.; FELÍCIO, P.E.; TERMIGNONI, C. Influência do genótipo *Bos indicus* na atividade de calpastatina e na textura da carne de novilhos abatidos no sul do Brasil. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 18, p. 405–409, 1998.

RUBIANO, G.A.G. ARRIGONI, M.B.; MARTINS, C.L.; RODRIGUES, É.; GONÇALVES, H.C.; ANGERAMI, C. N. Desempenho, características de carcaça e qualidade da carne de bovinos superprecoces das raças Canchim, Nelore e seus mestiços. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 12, p. 2490–2498, 2009.

SARCINELLI, M.F.; VENTURINI, K.S.; SILVA, L.C. **Estrutura da Carne**. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. Boletim técnico, p 1-6, 2007.

SEIDEMAN, S.C.; CROSS, H.R.; SMITH, G.C.; DURLAND, P.R. Factors associated with fresh meat color: a Review. **Journal of Food Quality**, v. 6, n. 3, p. 211–237, 1984.

SGARBIERI, V.C. **Proteínas em alimentos protéicos** – Propriedades, degradações, modificações. São Paulo: Varela, 1996. 517 p.

SHACKELFORD, S.D.; KOOHMARAIE, M.; CUNDIFF, L.V.; GREGORY, K.E.; ROHRER, G.A.; SAVELL, J.W. Heritabilities and phenotypic and genetic correlations for bovine *post rigor* calpastatin activity, intramuscular fat content, Warner-Bratzler shear force, retail product yield, and growth rate. **Journal of animal science**, v. 72, n. 4, p. 857–863, 1994.

VERZÁR, V.F. Nachweis der zunahme der bindung von hydroxyprolin im collagen der haut mit dem alter. **Gerontologia**, v. 111, p. 104–111, 1960.

WHEELER, T.L.; SAVELL, J.W.; CROSS, H.R.; LUNT, D.K.; SMITH, S.B. Mechanisms associated with the variation in tenderness of meat from Brahman and Hereford cattle. **Journal of Animal Science**, v. 68, n. 12, p. 4206–4220, 1990.

WHEELER, T.L.; KOOHMARAIE, M.; CUNDIFF, L.V.; DIKEMAN, M.E. Effects of cooking and shearing methodology on variation in Warner-Bratzler shear force values in beef. **Journal of Animal Science**, v. 72, n. 9, p. 2325–2330, 1994.

WHIPPLE, G.; KOOHMARAIE, M.; DIKEMAN, M.E.; CROUSE, J.D.; HUNT, M.C.; KLEMM, R.D. Evaluation of attributes that affect *Longissimus* muscle

tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. **Journal of animal science**, v. 68, n. 9, p. 2716–28, 1990.

WULF, D.M.; EMNETT, R.S.; LEHESKA, J.M.; MOELLER, S.J. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. **Journal of animal science**, 2002.

CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DE CARÇA E DOS EFEITOS DO
CONGELAMENTO PRÉVIO À MATURAÇÃO DAS CARNES DE
BOVINOS DE DIFERENTES GRUPOS GENÉTICOS
(MEAT SCIENCE)

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho, avaliar as carcaças e os efeitos do congelamento prévio a maturação sobre as características da carne de bovinos de diferentes grupos genéticos. Utilizou-se 26 bovinos machos inteiros, Angus x Nelore (AAN), Canchim x Nelore (CAN) e Nelore (NEL), terminados em confinamento. Os bifes (*longissimus lumborum*) foram designados ao tratamento de congelamento prévio a maturação por 0, 30 e 60 dias e maturados por 1, 7 e 14 dias. Os bovinos cruzados AAN e CAN tiveram maior peso vivo final, peso de carcaça quente, rendimento de carcaça e área de olho de lombo. O congelamento não afetou a luminosidade das carnes, diminuiu a força de cisalhamento e a perda por exsudação aos 14 dias de maturação quando congeladas por 30 e 60 dias. Animais cruzados apresentam melhores características de carcaça e o congelamento prévio proporcionou carnes mais macias.

Palavras-chave: *Bos indicus*, carne congelada, colágeno, maciez, proteólise

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate carcass and the effects of freezing before aging on the meat characteristics of cattle of different genetic groups. Twenty-six male, Aberdeen Angus x Nellore (AAN), Canchim x Nellore (CAN) and Nellore (NEL) cattle, finished in feedlot were used. Steaks (*longissimus limborum*) were assigned to freezing treatment prior to aging 0, 30 and 60 days and later aging for 1, 7 and 14 days. AAN and CAN crossbred cattle had final weight, warm carcass weight, carcass yield and rib eye area. Freezing did not affect meat lightness, decreased shear force and exudate loss at 14 days of aging when frozen for 30 and 60 days. Crossbred cattle have better carcass characteristics and prior freezing provided softer meat.

Key words: *Bos indicus*, collagen, frozen meat, proteolysis, tenderness

1- Introdução

A avaliação da qualidade do produto pelos consumidores no ato da compra resume-se nas observações de cor e aparência, concluindo somente após o consumo, pela maciez e suculência. No entanto, para as carnes frescas é difícil definir um padrão de qualidade, pois este conceito é determinado de acordo com as preferências de cada consumidor (Joo, Kim, Hwang, & Ryu, 2013).

A maior parte do rebanho bovino brasileiro é composto por animais *Bos taurus indicus*, por serem mais adaptados as condições climáticas do país, principalmente os da raça Nelore. No entanto, diversos estudos (Andrade et al., 2010; Bianchini et al., 2007; Maggioni et al., 2012; Whipple et al., 1990) demonstram que estes animais tendem a ter carnes menos macias.

A menor maciez da carne de *Bos indicus* esta associada principalmente a maior atividade da calpastatina, presente no músculo, inibidor natural das calpaínas, principais proteases envolvidas no processo de amaciamento da carne (Martins et al., 2017). Nesse cenário, com o intuito de diminuir este efeito utiliza-se do cruzamento entre animais zebuínos e taurinos, a fim de aumentar a maciez, bem como melhorar as características de carcaça.

Para elevar a maciez da carne é aplicado pela indústria o processo de maturação úmida, que consiste no armazenamento a vácuo em condições de anaerobiose por um período que pode variar de 1 a 28 dias, em que ocorre processos bioquímicos como a degradação das estruturas das miofibrilas, realizada pelas proteases endógenas (Lage, Oliveira, Paulino, & Ribeiro, 2009).

Estudos com animais Angus e Nelore (Aroeira et al., 2016) e com carnes selecionadas por espectrofotometria infravermelho para maciez (Grayson, King, Shackelford, Koohmaraie, & Wheeler, 2014), sugeriram que o processo de congelamento realizado antes da maturação poderia ser uma alternativa para melhorar a maciez da carne de animais *Bos indicus*, pois a calpastatina tem maior suscetibilidade à inativação quando submetida a temperaturas de congelamento, enquanto a atividade da calpaína permanece relativamente estável.

O congelamento é um método de conservação frequentemente utilizado pelos consumidores, que permite a preservação da carne por prolongado período, no entanto, este processo pode provocar a redução da qualidade

durante o descongelamento, em decorrência do rompimento das fibras musculares, devido a formação de cristais de gelo extracelulares (Hutto et al., 2016).

Diante do exposto objetivou-se ao realizar este trabalho, avaliar as características de carcaça e os efeitos do congelamento prévio à maturação na carne de animais de diferentes grupos genéticos terminados em confinamento.

2- Material e Métodos

Os animais foram criados nas dependências da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, unidade Universitária de Aquidauana, e os ensaios laboratoriais conduzidos na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, no laboratório de Qualidade de Carnes. O abate dos animais foi realizado no frigorífico comercial Naturafrig, localizado no município de Rochedo – MS, com certificação sob Inspeção Federal (SIF). A Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA)-UEMS certificou a utilização dos animais de acordo com o protocolo nº 028/2017.

2.1 - Animais e sistema de terminação

Foram utilizados 26 bovinos machos inteiros, pertencentes a três grupos genéticos sendo, Aberdeen Angus x Nelore (AAN, n = 9), Canchim x Nelore (CAN, n = 9) e Nelore (NEL, n = 8), com peso inicial médio de 237,8, 244,8 e 239,0 kg, respectivamente, e idade de 18 meses. Todos os animais são progênieis do mesmo grupo de vacas contemporâneas (Nelore), acasaladas com um único touro Angus, Canchim ou Nelore, de modo que as possíveis variações não fossem oriundas da diferença genética entre diferentes touros da mesma raça, mas sim do cruzamento.

Os animais foram terminados em confinamento por 103 dias, precedidos de 16 dias de adaptação às instalações e a dieta, sendo realizada em sistema *step up*, ou seja, por substituição gradativa do volumoso por concentrado. A dieta foi composta de concentrado comercial peletizado, como fonte de proteína e minerais, e grão de milho inteiro nas proporções de 15 e 85%, respectivamente.

2.2 - Abate e avaliações na carcaça

Após 12 horas de descanso e jejum de sólidos, com acesso apenas a água, foram realizadas as operações de abate através de concussão cerebral e secção da veia jugular, seguindo práticas de bem-estar animal e abate regulamentados pelo RIISPOA (Brasil, 2017).

As carcaças foram cortadas longitudinalmente, lavadas, identificadas e pesadas para a obtenção do peso de carcaça quente (PCQ), utilizado juntamente com o peso vivo final (PVF) para determinar o rendimento de carcaça (RC). Foi mensurado o pH inicial (pH0) das carcaças, utilizando pHmetro digital Mettler M1120x (Mettler – Toledo International Inc., Columbus, OH, EUA) equipado com sonda penetrante específico para carcaças, inserido na altura da 12^a e 13^a costela no músculo *longissimus lumborum* (LL). Posteriormente foram conduzidas para câmara de resfriamento por 24 horas, armazenadas em temperatura de 1 a 2°C, e após este período foi realizado a mensuração do pH final (pH24).

O comprimento de carcaça (CC) foi medido do bordo cranial medial da primeira costela ao bordo anterior do osso púbis, com auxílio de fita métrica. Para a mensuração da espessura de gordura subcutânea (EGS) e área de olho de lombo (AOL) foi realizado um corte transversal entre a 12^a e 13^a costela, sendo a EGS foi medida com paquímetro analógico, no terço final do músculo LL.

Para determinar a AOL foi utilizado papel vegetal sobreposto ao músculo LL e desenhado seu contorno. Foram realizadas seis leituras de cada amostra, intercalando a cada três, com a leitura de um padrão de tamanho conhecido (50 cm²), com o auxílio de um medidor de área foliar (modelo 3100C, marca LI-COR, NE, EUA). A AOL foi determinada através da fórmula (1):

$$\text{AOL final} = \frac{\text{Valor real do padrão} \times \text{Média das leituras}}{\text{Médias de leitura do padrão}} \text{ (cm}^2\text{)} \quad (1)$$

2.3 Coleta e amostras experimentais

Após as mensurações na carcaça as peças de contrafilé foram conduzidas ao Laboratório de Avaliação de carnes. Foram obtidos 9 bifes de 2,5 cm de espessura, devidamente identificados e embalados a vácuo em sacos de polietileno, e destinados aos ensaios experimentais sendo: congelamento zero

(CONG0), ou seja, não congelado apenas maturado; congelado por 30 dias (CONG30) após abate e posterior maturação; congelado por 60 dias (CONG60) após abate e posterior maturação. Após o tempo de congelamento os bifes passaram pelo processo de maturação por períodos de 1, 7 e 14 dias.

2.4 - Cor instrumental

Foi utilizado a escala L^* , a^* e b^* do sistema CIELAB onde, L^* representa a luminosidade, a^* índice de vermelho e b^* índice de amarelo sendo mensurada na gordura após o *rigor mortis* e no bife após os respectivos tratamentos de congelamento e maturação.

As amostras foram retiradas das embalagens, colocadas sobre bandejas de alumínio e expostas ao ar para oxigenação por 20 minutos (Ramos & Gomide, 2017). A cor foi determinada a partir de três leituras em três pontos diferentes do bife, através de um colorímetro portátil Chroma-Meter Cr-400 (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan), com abertura de 8mm, iluminante D65, e observador 2°.

A partir dos valores obtidos dos índices de a^* e b^* foram calculados o índice de saturação (C^*) fórmula (2) e ângulo de tonalidade (h^*) fórmula (3):

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

$$h^* = \tan^{-1} (b^* / a^*) \quad (3)$$

2.5 - Perdas por exsudação e cozimento

Foram pesados os bifes e o exsudato separadamente, para a obtenção do peso de amostra crua (PCRUA) e o peso do exsudato (PE), respectivamente. Posteriormente as amostras foram novamente cortadas, aproximadamente $\frac{1}{4}$ da porção lateral esquerda em direção a direita, gerando subamostras utilizadas em análises posteriores.

Os $\frac{3}{4}$ do bife, foi novamente pesado e obtido o peso de amostra crua cortada (PCRUC), em seguida assada em forno elétrico pré-aquecido a 170°C. Para a verificação da temperatura interna dos bifes utilizou-se termômetro tipo espeto, inserido no centro geométrico do bife, sendo estes assados até atingirem

temperatura interna de 42°C, virados e assados até que chegasse a temperatura de 71°C. Logo após, foram retirados, deixados em temperatura ambiente até alcançarem 28°C para serem pesados, determinando o peso de amostra cozida (PCOZ) e em seguida foram destinadas para análise de FC.

A PE e a perda por cozimento (PC) foram determinados pelas equações 4 e 5, respectivamente:

$$PE = \frac{PE}{PCRUA} \times 100 (\%) \quad (4)$$

$$PC = \frac{PCRUA - PCOZ}{PCRUA} \times 100 (\%) \quad (5)$$

2.6 - Força de cisalhamento

Após o cozimento, as amostras foram embaladas em papel filme e mantidas em refrigeração por aproximadamente 16 horas afim de que a temperatura interna e externa atingisse 2° a 5°C.

Para a determinação da FC foi utilizado texturômetro (model CT3 – 25kg; Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, MA, USA), equipado com lâmina tipo Warner Bratzler Shear Force, velocidade de 3,3 mm/s.. De cada amostra foram retiradas seis sub-amostras cilíndricas com 1,27 cm de diâmetro.

Esta análise foi realizada em todos os tratamentos (com e sem congelamento prévio) e em todos os períodos de maturação (1, 7 e 14 dias). Os valores de maciez das amostras foram determinados pela média aritmética dos valores de FC obtido das seis sub-amostras, expressa em N.

2.7 - Comprimento de sarcômero

O método realizado foi baseado no procedimento proposto por Heinemann, Pinto, Ponsano, & Perri (2002), através de imagens digitalizadas onde, foram pesadas 4g de amostra, adicionado 40 mL de solução de KCl a 0,6M e homogeneizados em aparelho Turratec (Modelo TE-102, Tecnal, Piracicaba, Brasil) por três minutos a 14.000 rpm. Este homogenato foi passado em peneira metálica com malha de 18 mesh (1,00 mm), e uma alíquota foi transferida para lâmina, sobreposta por lamínula, e através do conjunto foram feitas as imagens

com o auxílio de microscópio ótico com luz polarizada (Leica DMi8, Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Germany) utilizando aumento de 400x.

O software Leica LAS X Analisador de Imagens foi utilizado para determinar o comprimento dos sarcômeros (CS) tendo como base as bandas A e I. Foi feita a leitura de 30 fragmentos de miofibrila ao acaso, medindo a distância de seis sarcômeros em cada fragmento. A distância total dos seis sarcômeros foi dividida pelo número de sarcômeros e feita média aritmética do total de leituras por amostra.

2.8 - Índice de fragmentação miofibrilar

O índice de fragmentação miofibrilar por microscopia com luz polarizada (IFMm) foi determinado a partir do método microscópico proposto por Fishell, Aberle, Judge, & Perry (1985), com modificações de Ramos & Gomide (2007) e adaptações realizadas neste estudo. O princípio da análise baseia-se na contagem do total de sarcômeros contidos no fragmento de miofibrila, em que, carnes mais macias tendem a ter menores números de sarcômeros por fragmento de miofibrila, indicando maior degradação física ou enzimática e consequentemente maior maciez.

O método de obtenção do substrato utilizado para esta análise consistiu no mesmo homogenato obtido na análise de comprimento de sarcômero, sendo as leituras realizadas simultaneamente, onde, foram pesadas 4g de amostra, adicionado 40 mL de solução de KCl a 0,6M e homogeneizados em aparelho Turratec (Modelo TE-102, Tecnal, Piracicaba, Brasil) por três minutos a 14.000 rpm. Este homogenato foi passado em peneira metálica com malha de 18 mesh (1,00 mm), e uma alíquota foi transferida para lâmina, sobreposta por lamínula, e através do conjunto foram feitas as imagens com o auxílio de microscópio ótico com luz polarizada (Leica DMi8, Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Germany) utilizando aumento de 400x.

A fim de se evitar o erro, alguns parâmetros foram estabelecidos para que fosse possível contar todos os sarcômeros de uma miofibrila como: o início e o fim da miofibrila estarem visível; descartava-se a miofibrila quando uma de suas partes estavam entremeadas com outra miofibrila; quando duas ou mais miofibrila estavam sobrepostas, e/ou quando a mesma estava dobrada em forma de 'U', 'V' ou 'L' (Figura 5).

Foram quantificados os fragmentos de miofibrila percorrendo-se cada lâmina em zigue-zague, até que se perfizessem 100 fragmentos. Sendo o resultado final foi obtido através da média aritmética das leituras realizadas por amostra.

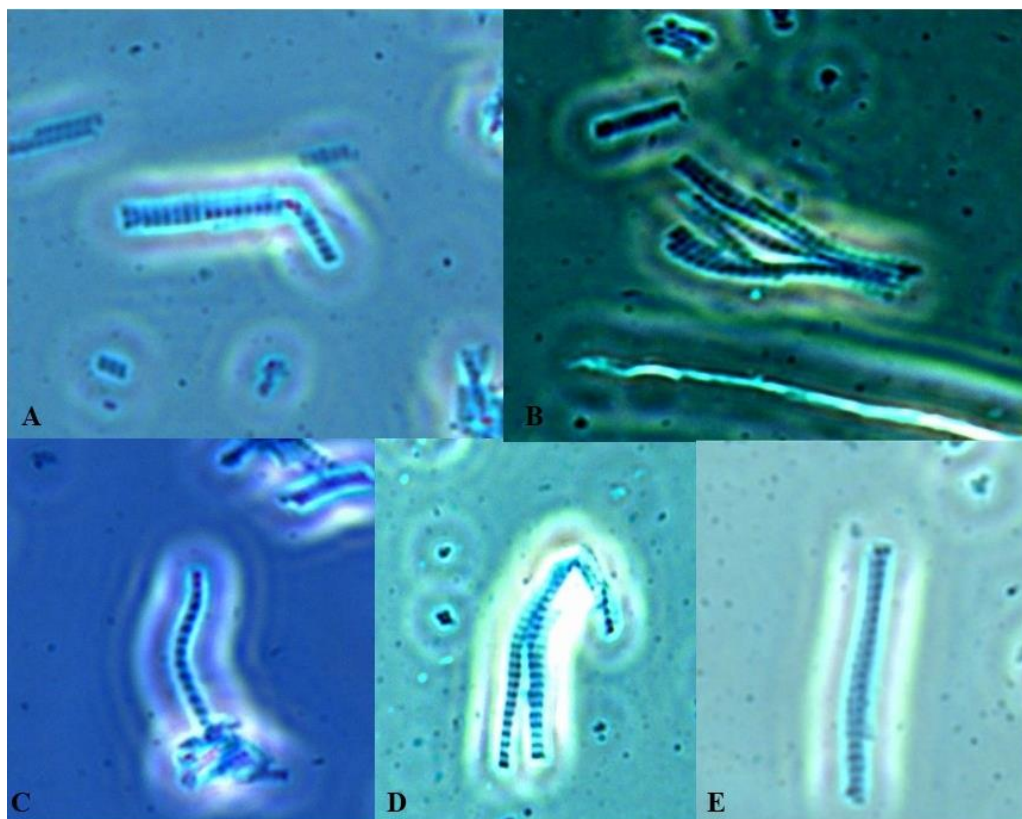


Figura 5. Exemplo dos fragmentos de miofibrila descartados durante as leituras (A) dobrados em formato "L", (B) entremeadas, (C) extremidade não visível, (D) dobrado em formato de "U" e (E) sobrepostas.

Fonte: Arquivo pessoal

2.9 - Quantificação do colágeno e suas frações

Os protocolos de análise para a determinação do colágeno nas amostras foram realizados de acordo com o proposto por Hill (1966), e a quantificação de hidroxiprolina realizada segundo procedimentos de Neuman & Logan (1950), modificado por Bergman & Loxley (1963), sendo adaptado neste estudo.

Foram pesadas em duplicata cerca de 4g de amostra e homogeneizadas com 12 mL de solução de Ringer. Em seguida, a amostra foi aquecida em banho-maria a 77°C por 70 minutos e, imediatamente resfriada e centrifugadas a 4100 rpm por 10 minutos em temperatura ambiente. Posteriormente, o sobrenadante

e o sedimento foram hidrolisados separadamente por 16 horas juntamente com HCl 6N.

As soluções resultantes foram ajustadas para pH entre 6,0 – 7,0 utilizando NaOH 2M, em seguida os hidrolisados foram filtrados e o teor de hidroxiprolina foi medido em reação com p-dimetilbenzaldeído. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro (Bel Photonics modelo V-M5, Piracicaba, Brasil) a 558 nm, utilizando um branco como controle.

Os resultados foram convertidos em colágeno solúvel (sobrenadante), colágeno insolúvel (sedimento) e colágeno total, que foi a soma das duas frações. A solubilidade do colágeno foi calculada como a razão entre colágeno solúvel e total, sendo as frações expressas em porcentagem e o colágeno total em (g/100g).

2.10 - Análise estatística

Os dados de característica de carcaça, colágeno e cor da gordura foram analisados em delineamento inteiramente casualizado (DIC) tendo a composição genética como fator de variação. Os resultados obtidos após os tratamentos empregados foram analisados em esquema fatorial (3x3x3) em um delineamento inteiramente casualizado sendo, três constituições genéticas (AAN x CAN x NEL), três tempos de congelamento (CONG0, CONG30, CONG60) e três tempos de maturação (1 x 7 x 14 dias). Todas as análises foram conduzidas no programa R, versão 3.4.4, considerando um nível de significância de 5% e quando o teste de análise de variância foi significativo, o teste de média foi realizado ao mesmo nível de significância por Scott-Knott.

3- Resultados

3.1. Avaliações na carcaça

Das características de carcaça avaliadas o rendimento (RC), a EGS e o pH0 e pH24, não diferiram entre os grupos genéticos estudados ($P > 0,05$) (Tabela 1). No entanto, o RC apresentou 2,6 e 2,1%, e a EGS de 0,98 e 0,47 mm a mais nos animais cruzados AAN e CAN, respectivamente em comparação aos da raça Nelore.

Por outro lado, o peso vivo final (PVF), o PCQ, o CC, a AOL, o índice de vermelho da gordura (a^*g), o croma da gordura (c^*g), o ângulo de tonalidade da

gordura (h^*g), o CTS e o colágeno insolúvel (CI), apresentaram diferença de acordo com a genética animal ($P < 0,05$). Os mestiços AAN e CAN expressaram, respectivamente, superioridade de 43,75 e 33,0 kg no PVF, de 23,53 e 17,23 kg para o PCQ, 5,08 e 3,41 cm de CC, e 26,88 e 24,10% de AOL comparativamente aos animais puro *Bos indicus*.

Tabela 1. Parâmetros quantitativos das carcaças de bovinos machos inteiros de diferentes grupos genéticos terminados em confinamento.

Variáveis	Grupos genéticos			Pr>Fc ¹
	AAN	CAN	NEL	
PVF, kg	389,00 ^a	378,33 ^a	345,25 ^b	0,0069
PCQ, kg	198,76 ^a	192,60 ^a	175,23 ^b	0,0031
RC, %	51,12	50,89	49,82	NS
CC, cm	119,39 ^a	117,72 ^a	114,31 ^b	0,0049
EGS, mm	2,82	2,31	1,84	NS
AOL, cm ²	63,86 ^a	62,46 ^a	50,33 ^b	0,0012
L* ^g	71,66	69,68	72,82	NS
a* ^g	7,92 ^a	8,30 ^a	5,26 ^b	0,0107
b* ^g	10,70	10,37	9,26	NS
C* ^g	13,35 ^a	13,39 ^a	10,70 ^b	0,0215
h* ^g	50,12 ^b	48,41 ^b	53,60 ^a	0,0397
CTO, (g/100g)	0,057	0,052	0,055	NS
CTS, %	71,79 ^a	68,71 ^b	66,42 ^b	0,0121
CI, %	28,21 ^b	31,29 ^a	33,58 ^a	0,0121
pH0	7,00	6,95	6,88	NS
pH24	6,01	6,06	6,00	NS

ANC = Aberdeen Angus x Nelore; CAC = Canchim x Nelore; NEL = Nelore; PVF = Peso vivo final; PCQ = Peso de carcaça quente; RC = Rendimento de carcaça; pH0 = pH inicial logo após abate; pH24 = pH final 24 horas resfriamento; CC = Comprimento de carcaça; EGS = Espessura de gordura subcutânea; AOL = Área de olho de lombo, L*^g = luminosidade da gordura, a*^g = índice de vermelho da gordura, b*^g = índice de amarelo da gordura, C*^g = índice de croma da gordura, h*^g = ângulo de tonalidade da gordura, CTO = colágeno total, CTS = colágeno termo solúvel, CI = colágeno insolúvel.

Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

¹Em negrito valores significativos. NS = não significativo.

3.2. Parâmetros qualitativos da carne

Os índices de L*, a*, b* e C* do músculo *longissimus lumborum* apresentaram-se superiores ($P < 0,05$) nos animais com menor proporção de sangue zebuíno em sua constituição genética, já h* foi maior nos AAN e NEL (Tabela 2). Em resposta aos tratamentos de congelamento o L* não diferiu ($P = 0,1540$), já o a* e C* foram maiores ($P < 0,05$) nas amostras CONG0 e CONG60, enquanto o índice de b* foi elevado nas carnes congeladas (CONG30 e 60) em

comparação às sem congelamento prévio a maturação. Adicionalmente, foi possível observar que L^* aumentou de forma progressiva ao longo dos dias de maturação, em contrapartida a^* e C^* reduziram ao aumentar os tempos de maturação. Por outro lado, o b^* e h^* não apresentou diferença significativa.

Tabela 2. Avaliação dos parâmetros qualitativos da carne de bovinos de diferentes grupos genéticos submetidas ao congelamento prévio a maturação.

	L*	a*	b*	C*	h*	PE (%)	PC (%)	FC (N)	IFMm	CS (µm)
(G)										
AAN	39,62 ^a	17,61 ^a	8,69 ^a	19,67 ^a	26,33 ^a	13,86 ^a	0,0024	70,14 ^b	6,77 ^b	1,92 ^a
CAN	36,58 ^b	16,51 ^b	7,40 ^c	18,44 ^b	23,96 ^b	12,03 ^b	0,0023	74,82 ^b	6,82 ^b	1,85 ^b
NEL	36,65 ^b	16,50 ^b	8,03 ^b	18,16 ^b	25,89 ^a	14,05 ^a	0,0023	85,32 ^a	7,47 ^a	1,82 ^b
(C)										
CONG 0	37,28	17,25 ^a	7,68 ^b	18,91 ^a	23,82	13,74	0,0025	90,22 ^a	7,61 ^a	1,85
CONG 30	37,68	16,25 ^b	8,17 ^a	18,22 ^b	26,67	13,98	0,0023	70,31 ^b	6,00 ^b	1,89
CONG 60	38,11	17,29 ^a	8,32 ^a	19,26 ^a	25,73	12,09	0,0023	67,67 ^b	NO	NO
(M)										
MAT 1	36,40 ^c	18,16 ^a	7,73	19,77 ^a	22,90	12,14	0,0025 ^a	98,75 ^a	7,57 ^a	1,86
MAT 7	37,91 ^b	16,71 ^b	8,21	18,68 ^b	25,81	14,14	0,0022 ^b	69,66 ^b	6,66 ^b	1,87
MAT 14	38,76 ^a	15,79 ^c	8,21	17,87 ^c	27,52	13,53	0,0023 ^b	60,31 ^c	6,49 ^b	1,87
Pr>Fc ¹										
G	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0196	NS	<0,0001	0,0014	<0,0001
C	NS	<0,0001	0,0459	0,0103	<0,0001	0,0343	NS	<0,0001	<0,0001	NS
M	<0,0001	<0,0001	NS	<0,0001	<0,0001	0,0352	0,0027	<0,0001	<0,0001	NS
G x C	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
G x M	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C x M	NS	NS	NS	NS	0,0027	<0,0001	NS	NS	NS	NS
G x C x M	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

G = grupo genético; C = congelamento; M = tempo de maturação; L* = índice de luminosidade do músculo; a* = índice de vermelho do músculo; b* = índice de amarelo do músculo; C* = índice de croma do músculo; h* = ângulo de tonalidade do músculo; PE = perdas por exsudato; PC = perdas por cozimento; FC = força de cisalhamento; IFMm = índice de fragmentação miofibrilar microscópico; CS = comprimento de sarcômero; NO = não observado.

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, para cada característica dentro de G, C e M, diferem entre si pelo teste Scott-Knott (P < 0,005).

¹Em negrito valores significativos. NS = não significativo.

A constituição genética afetou de forma significativa ($P = 0,0196$) a PE onde, animais mestiços AAN e puros NEL tiveram maiores perdas. Em contrapartida, não foi observado efeito isolado dos tratamentos de congelamento e maturação sobre a PE. Para PC não foram observados efeitos isolados para grupo genético e para efeito do congelamento, no entanto, houve perda superior no dia 1 de maturação, com redução aos 7 e 14 dias.

Os cruzamentos entre Aberdeen Angus x Nelore e Canchim x Nelore foram benéficos para menor FC, expressando uma diferença ($P < 0,0001$) de 15,18 e 10,5 N, respectivamente, quando confrontados com o NEL. O congelamento dos bifes por 30 e 60 dias provocaram a redução na FC de 19,91 e 22,55 N, respectivamente, em comparação aos não congelados. Para os efeitos da maturação sobre a maciez, foi observado que amostras maturadas por 7 e 14 dias, apresentaram diferença na FC de 29,09 e 38,44 N, respectivamente, em relação as do tempo 1.

O aumento da maciez nas amostras congeladas foi comprovado pela redução do IFMm, obtendo diferença de 1,61 entre os tratamentos CONG0 e CONG30. Apresentando-se significativamente menor, na ordem de 9,4 e 8,7% para os animais AAN e CAN, respectivamente, quando comparado com os NEL. Este parâmetro foi menor ($P < 0,0001$) quando as amostras foram maturadas por 7 e 14 dias.

Um efeito expressivo para os grupos genéticos estudados ($P < 0,0001$) foi observado, onde bovinos com maior proporção de sangue *Bos indicus*, CAN e NEL, tiveram comprimento de sarcômero 3,78 e 5,49%, respectivamente, menor que os AAN. Por outro lado, o congelamento ($P = 0,0519$) e a maturação ($P = 0,4142$) não interferiram no CS.

Não foi possível a realização das observações do IFMm e CS no CONG60, em nenhum dos tempos de maturação, uma vez que os sarcômeros já se encontravam em um estado elevado de desintegração, impossibilitando a visualização e conseqüentemente a mensuração e contagem (Figura 6).

De acordo com as imagens obtidas é possível observar que as amostras CONG0 apresentavam menor número de fragmentos de miofibrila por campo de visão, e estes possuíam maior quantidade de sarcômero (Figura 6 A-B). Ao analisar as amostras CONG30 notou-se uma maior quantidade de fragmentos por campo de visão, e diferentemente das imagens anteriores, esses possuíam

menor quantidade de sarcômero por fragmento de miofibrila (Figura 6 C-D). Já em resposta ao CONG 60, algumas amostras apresentaram fragmentos onde não era possível a identificação das linhas Z (Figura 6 E-F-G), campos com ausência de fragmentos (Figura 6 F), ou ainda, detritos não identificados (Figura 6 H). Esses casos foram vistos em todos os tempos de maturação (1, 7 e 14 dias) quando as amostras foram congeladas por 60 dias.

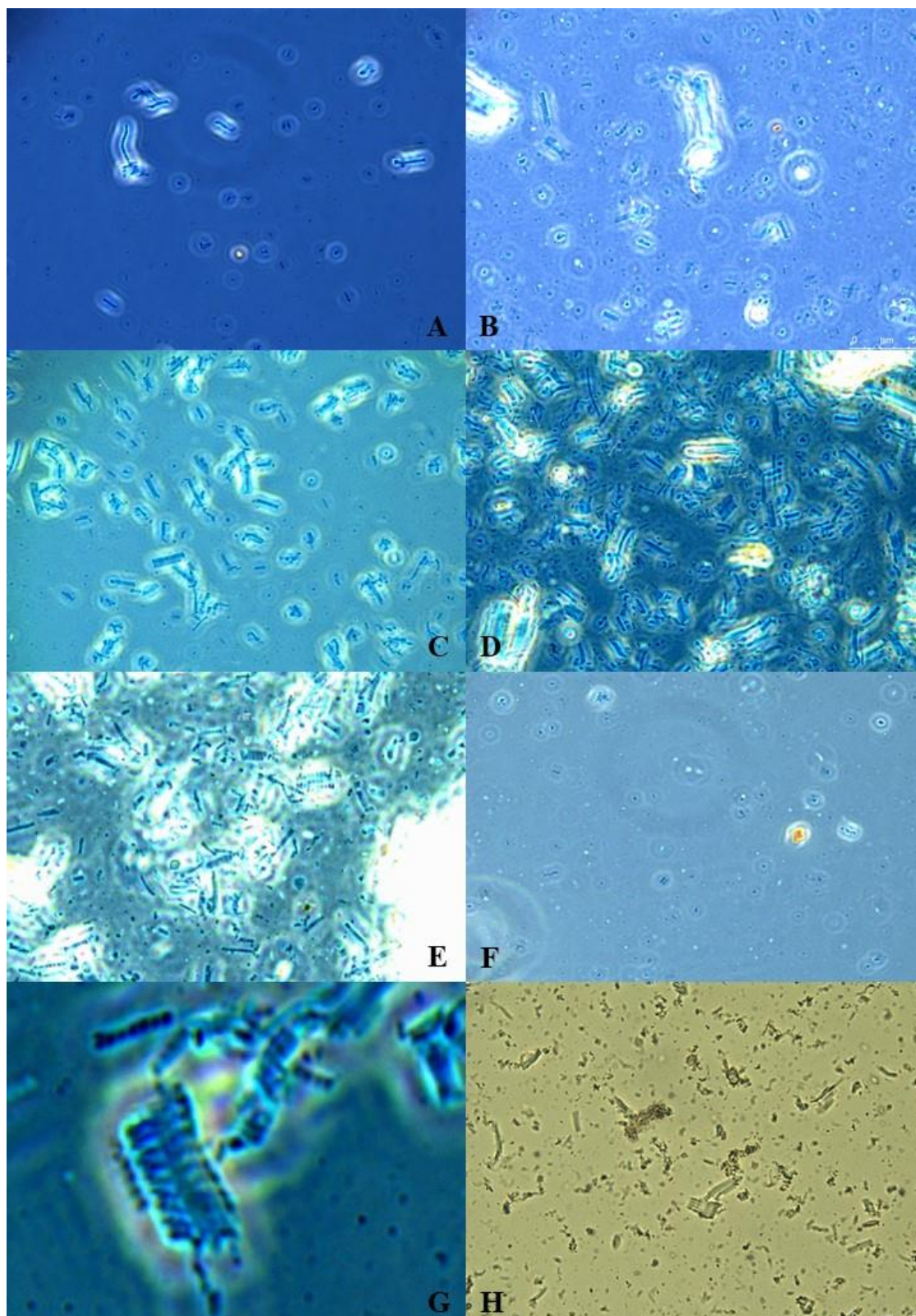


Figura 6. Imagens obtidas através da microscopia invertida para análise de IFM. Amostras congeladas por 0 dias (A - B), amostras congeladas por 30 dias (C - D) e amostras congeladas por 60 dias (E a H).

Fonte: Arquivo pessoal

O h^* e a PE^* apresentaram efeito significativo para as interações entre congelamento x tempo de maturação (Tabela 3). Nas amostras congeladas houve aumento crescente do h^* conforme o aumento dos dias de maturação.

Foi observado que, ao congelar as amostras por 30 dias e maturá-las por 1 dia, induziu a um aumento de 50% na PE, quando comparado com aquelas não congeladas e congeladas por 60 dias no mesmo tempo de maturação. Os bifes não congelados e maturados por 7 e 14 dias também apresentaram 50% a mais de PE em relação as do tempo 1. Por outro lado, as amostras congeladas por 30 e 60 dias no tempo 14 de maturação apresentaram perda de 21% comparado as amostras não congeladas e maturadas pelo mesmo período.

Tabela 3. Valores médios do ângulo de tonalidade (h^*) e perda por exsudação (PE) (%) do músculo *longissimus lumborum* de bovinos de diferentes grupos genéticos submetidos a diferentes protocolos de congelamento.

	Maturação (dias)		
	1	7	14
h^*			
CONG0	22,84	24,24 ^b	24,39 ^c
CONG30	22,29 ^C	27,43 ^{aB}	30,28 ^{aA}
CONG 60	23,54 ^B	25,77 ^{bA}	27,90 ^{b A}
PE (%)			
CONG0	10,25 ^{bB}	15,51 ^A	15,47 ^{aA}
CONG30	15,62 ^a	13,90	12,38 ^b
CONG60	10,55 ^b	13,01	12,73 ^b

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas (abc) na coluna e maiúsculas (ABC) nas linhas, para as variáveis estudadas (h^* e PE), diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($P < 0,05$).

4- Discussões

4.1. Avaliações quantitativas

Divergindo dos resultados obtidos neste estudo Augusto et al. (2019), ao avaliarem carcaças de animais F1 Angus-Nelore terminados em confinamento, observaram médias superiores para o PVF (485,57 kg), o PCQ (276,39 kg) e o RC (56,83%). Essa divergência é devido aos animais deste estudo terem iniciado e finalizado o período experimental mais leves.

Em contraste Rosa et al. (2014), avaliando animais Nelore terminados em confinamento com idade de 18 meses, observaram CC 9,61 cm superior ao dos animais deste estudo. Diferenças no CC, em resposta ao cruzamento utilizado, foi observado por Prado et al. (2008), onde bovinos Canchim x Angus (137, cm),

Nelore x Angus (142, cm) apresentaram maior CC que Nelore x Continental (131, cm).

Nesse sentido, as diferenças nos resultados encontrados neste trabalho para CC, EGS e AOL, quando comparados com a literatura bem como, as diferenças encontradas nos grupos genéticos estudados, podem ser associadas ao *frame size* ou tamanho a maturidade, que relaciona o peso, grau de maturidade e tamanho esquelético dos animais. De acordo com a classificação de Bianchini et al. (2007), para raças bovinas, animais Canchim e Nelore possuem *frame size* médio, enquanto os Angus são classificados como pequenos.

Geralmente, bovinos de menor estrutura corporal apresentam a maturidade fisiológica com menor peso e com maior nível de gordura na carcaça em comparação aos de frame maior (Mota, Mariz, Ribeiro, Silva, & Lima Júnior, 2015). Assim, justifica-se os menores valores de CC e AOL dos NEL em relação aos AAN e CAN, por não terem atingido sua maturidade, entretanto, fica claro que o cruzamento entre Nelore e Canchim pode potencializar estas características de carcaça no cruzamento.

De acordo com Rubiano et al. (2009), avaliando bovinos machos não castrados, Nelore, Canchim, $\frac{1}{2}$ Canchim x Nelore e $\frac{3}{4}$ Canchim x Nelore, observaram médias de área de olho de lombo maiores conforme aumentava-se o grau de Canchim nos cruzamentos, sendo maior nos animais puro Canchim e menor nos Nelore. Concordando com o comportamento encontrado nesse trabalho, quando AAN e CAN obtiveram maior AOL.

O abate dos animais sem alcançar as características de frame das raças provocou valores mais baixos ($< 3,00$ mm) de EGS em todos os grupos genéticos estudados. Em discordância Arrigoni et al. (2004), observaram que bovinos mestiços Angus x Nelore obtiveram o dobro da EGS que bovinos Canchim x Nelore (6,43 vs. 3,81 mm), tal fato é associado à maturidade fisiológica a qual os animais foram abatidos.

Neste sentido, em trabalho desenvolvido por Williams, Bennett & Keele (1995), monitorando o crescimento por ultrassom das características de carcaça de bovinos de diferentes raças, concluíram que o acabamento e a porcentagem de gordura subcutânea na carcaça diferem em virtude do tamanho à maturidade.

A cor da gordura é visualmente importante para os consumidores e está associada ao sistema de produção dos animais. Segundo Fernandes et al. (2008) bovinos produzidos a pasto tendem a ter gordura mais amarelada, enquanto a gordura menos pigmentada (branca) é atribuída a animais acabados em confinamento, em que normalmente, a fração concentrada e volumosa da dieta é pobre em carotenoides.

Neste estudo, foi observado que mestiços AAN e CAN apresentaram gordura com maior concentração de carotenoides, devido ao maior b^* , comparativamente a NEL. Provavelmente, a dieta de alto grão e baixo teor de carotenoide não foi fornecida em tempo suficiente para expressar mudanças na coloração da gordura subcutânea dos cruzados.

Com relação ao colágeno, foi sugerido que o tipo de dieta pode afetar a quantidade total, bem como sua porção solúvel (Della Rosa, Papaleo Mazzucco, & Aello, 2017), em que dietas ricas em energia podem aumentar a fração solúvel (Cranwell, Unruh, Brethour, & Simms, 1996; Miller, Cross, Crouse, & Jenkins, 1987; Silva, Rego, Simões, & Rosa, 2010). Tal fato pode ser explicado pela maior taxa de crescimento e, conseqüentemente maior síntese de novas fibras de colágeno menos polarizadas.

Adicionalmente Miller, Tatum, Cross, Bowling, & Clayton (1983), sugeriram que ao se trabalhar com animais jovens, o mecanismo pelo qual as concentrações de colágeno são modificadas se deve ao fato de que na fase de rápido crescimento muscular, a dieta energética retarda a maturação do colágeno, resultando na maior fração solúvel. Fato que pode ser observado neste estudo com maior intensidade nos animais cruzados Angus x Nelore, devido a maior quantidade de colágeno solúvel, comparativamente aos demais grupamentos, assim, quanto maior a constituição genética zebuína da raça, menor tende a ser essa fração.

A mensuração e controle do pH após 24 horas de abate é importante, pois influencia outros parâmetros de qualidade como cor, maciez e capacidade de retenção de água. O pH final dos grupos genéticos estudados, permaneceram na faixa que Silva, Patarata, & Martins (1999), classificam em DFD moderado ($5.8 < \text{pH} < 6.2$) e DFD (6.2 a 6.7), que se enquadram os ANC e NEL, e os CAC, respectivamente.

Uma relação entre o potencial glicolítico (PG) e a incidência de carnes DFD foram estudadas por Wulf, Emmett, Leheska, & Moeller (2002). Esses autores observaram que bovinos com menor PG ao abate apresentavam carnes com pH mais alto e conseqüentemente mais duras e de coloração mais escura. Este fato está associado a baixas reservas de glicogênio muscular no pré-abate, causando pouca produção de ácido láctico no *rigor mortis* tendo pH final acima do normal.

Heinemann, Pinto, & Romanelli (2003), cita que esta anomalia das carnes pode ser causada por fatores estressantes no pré-abate. A pesagem realizada antes do embarque pode ter sido o fator desencadeador de estresse que contribuiu para o alto pH₂₄. Adicionalmente, apesar de não ter sido avaliado o PG dos animais deste estudo, possivelmente encontrava-se baixo, em virtude de terem sido abatidos jovens e leves, contribuindo também para elevado pH₂₄ ($\geq 6,00$). Divergindo dos resultados encontrados neste estudo Andrade et al. (2010), avaliando animais Nelore não castrados e terminados em sistema de confinamento, observaram médias de pH final entre 5,4 e 5,8.

4.2. Parâmetros qualitativos da carne

Menores médias de L* em carnes com pH elevado, observado para animais CAN e NEL e carnes maturadas por 1 dia, é resultado da menor quantidade de luz refletida e maior absorção em todos os comprimentos de onda, já a redução do a* com o tempo de maturação se deve a maior capacidade de retenção de água o que aumenta a capacidade de absorção de luz (Abril et al., 2001).

Ao estudarem bovinos machos, abatidos aos 24 meses de idade, das raças Nelore e Red Norte Andrade et al. (2010), observaram comportamento semelhante ao deste estudo, onde os índices de L*, b* e h* aumentaram com o passar dos dias de maturação. Ainda de acordo com esses autores, a menor luminosidade ao dia 1 de MAT pode ser justificada pela maior capacidade de retenção de água, ou seja, pela menor perda de líquidos ao meio, associada a integridade das membranas.

Alvarenga, Hopkins, Ramos, Almeida, & Geesink (2019), avaliando os efeitos da maturação por seis dias e posterior congelamento/descongelamento sobre a carne de cordeiros, observaram luminosidade semelhantes ao deste

estudo, expressando a ideia de que o congelamento prévio não afeta os valores de L^* .

Os menores valores de a^* encontrados neste estudo nas amostras de *longissimus lumborum* aos 14 dias de maturação em relação aos dias 1 e 7 possivelmente ocorreram devido a lixiviação de mioglobina ocorrida durante o processo de descongelamento.

Diferentemente dos resultados deste estudo, Paula (2013) ao avaliarem o efeito de raça, tipo de terminação e os efeitos do congelamento prévio a maturação de bovinos com idade de 24 a 28 meses, encontraram valores de b^* para Nelore de 4,92 e F1 (Nelore x Simental) de 4,86, para animais confinados. Por outro lado, o efeito do congelamento apresentou valores de b^* em intervalo de $> 4,00$ a $< 5,19$. As discrepâncias dos valores encontrados podem ser atribuídas a diferença de idade, bem como o menor tempo de congelamento (sete dias) empregada por este autor. Entretanto, apesar dessas divergências com a literatura, neste trabalho com animais puro *Bos indicus* ou cruzados AAN e CAN, tais valores são considerados aceitáveis (6,1 a 11,3) para Priolo, Micol, & Agabriel (2001).

Com o decorrer do período de maturação a carne tende a ficar mais escura, ou seja, tende a aumentar o índice de b^* (Osório, Osório, & Sañudo, 2009), no entanto esta diferença não foi observada para valores de b^* nos diferentes períodos de maturação desse estudo. Um aumento da intensidade do amarelo pode ser atribuído ao fato dos pigmentos heme serem sensíveis à oxidação (Mancini & Hunt, 2005), este fato pode explicar as mudanças ocorridas no índice de b^* entre os tratamentos de congelamento aplicados.

Diferindo dos achados deste estudo Aroeira et al. (2017), avaliando o processo de congelamento por 40 dias e posterior maturação, encontraram menores valores de L^* para as amostras congeladas em comparação as frescas. Já o índice de C^* foi elevado nos bifes sem congelamento, por outro lado, o h^* de amostras congeladas foi maior em comparação às não congeladas. Ainda de acordo com esses autores, valores altos no h^* das amostras congeladas indicam menor estabilidade de cor.

A presença de purga é inevitável principalmente nas carnes mantidas em embalagens a vácuo, além de não ser atrativo para o consumidor pode afetar

características importantes como a redução da palatabilidade (Troy & Kerry, 2010).

A maior quantidade de perda por exsudação nos tempos de maturação de carne bovina congelada é altamente esperada, pois o congelamento causa danos na estrutura muscular devido à formação de grandes cristais extracelulares de gelo na carne, resultando em elevada liberação de umidade após o descongelamento (Setyabrata & Kim, 2019). Tal hipótese vai ao encontro do observado por Kim, Kim, Seo, Setyabrata, & Kim (2018), descobriram que ao realizar primeiro o congelamento e depois a maturação em lombo suíno tinham uma maior perda de purga em comparação com as amostras maturadas/congeladas/descongeladas.

Corroborando com os resultados obtidos neste estudo, Bianchini et al. (2007) ao estudarem o efeito do grupo genético (*Bos taurus*, *Bos indicus* e seus mestiços) sobre a maciez da carne, observaram maior perda por cocção no dia 1 de maturação, sendo reduzida aos 7 dias de maturada. Demonstrando que a maturação a partir de 7 dias reduz a perda por cozimento, provavelmente devido ao enfraquecimento das estruturas de actomiosina permitindo maior armazenamento de água intracelular.

No entanto, este argumento é reiterado por Huff-Lonergan & Lonergan (2005), e Pearce, Rosenvold, Andersen, & Hopkins (2011), onde afirmam que o aumento da capacidade de retenção de água da carne com a maturação, tem sido atribuída à degradação de proteínas citoesqueléticas, levando a uma menor redução do diâmetro da fibra *post-mortem*, permitindo uma maior disponibilidade de espaço para acomodação das moléculas de água intracelular.

Crouse, Cundiff, Koch, Koohmaraie, & Seideman (1989) observaram comportamentos semelhantes aos deste estudo, ao avaliarem a herança genética de animais *Bos indicus* sobre animais *Bos taurus* em cruzamentos com diferentes proporções de zebuíno:taurino, concluindo que conforme aumentava-se o percentual de *Bos indicus* havia um aumento da força de cisalhamento.

Nesse sentido, as variações de maciez da carne oriunda de animais Zebuínos e Taurinos foram atribuídas a relação de calpaína/calpastatina contidas nos músculos desses animais. Adicionalmente Martins et al. (2017), ao avaliarem as diferenças na proteólise do músculo de bovinos Angus e Nelore, inferiram que a maior proteólise *post-mortem* no músculo de Angus em

comparação ao Nelore não é causada por diferenças na expressão dos genes que codificam calpaína e calpastatina, ou ainda pela abundância dessas enzimas, e sim devido à maior atividade da calpastatina no músculo de animais Nelore. Neste estudo a utilização do cruzamento CAN é favorável à obtenção de carnes mais macias haja visto que a FC e o IFMm não diferiram entre AAN e CAN.

Concordando com os resultados de FC dos bifes que passaram pelo congelamento neste estudo, Grayson et al. (2014) estudando os efeitos de diferentes protocolos de congelamento, descongelamento e maturação, observaram uma redução nos valores de FC de amostras de carne bovina realizando primeiro o congelamento e posterior maturação.

Em contra partida, outros estudos aplicando metodologias semelhantes (Aroeira et al., 2016; Hergenreder et al., 2012; Kim, Kim, Seo, Setyabrata, & Kim, 2018; Kim & Kim, 2017; Setyabrata & Kim, 2019), não observaram redução na maciez pela ação do congelamento. Essas discrepâncias de resultados entre os estudos podem ser atribuídas a vários fatores, como diferenças de grupo genético, idade animal, ou ainda aos tempos de congelamento utilizado neste estudo.

A redução da FC ocasionada pelo congelamento é associada a perda da integridade estrutural causada pela formação de cristais de gelo intracelular, que rompem as estruturas físicas como parte das miofibrilas favorecendo a maciez (Petrović, Grujić, & Petrović, 1993; Setyabrata & Kim, 2019). No entanto, Grayson et al. (2014) associam, as menores forças de cisalhamento de amostras congeladas e posteriormente maturadas a uma maior proteólise *post-mortem* resultante da inativação da calpastatina, induzida pelo congelamento. Este fato supracitado foi confirmado pela redução da FC observada nas amostras congeladas por 30 e 60 dias em comparação às não congeladas.

A FC está diretamente associada a análise de IFM realizado pelo método de microscopia com luz polarizada e concordando com resultados obtidos neste estudo, com animais meio sangue Angus x Nelore, Martins et al. (2017), encontraram maior IFM pelo método de Biureto para carne de bovinos Angus em comparação com animais Nelore.

Wheeler, Shackelford, & Koohmaraie (2000) divide a variável comprimento de sarcômero em dois grupos distintos (sarcômeros > 2,0 μm e

sarcômeros $< 2,0 \mu\text{m}$), que interagem de forma diferente com o grau de proteólise da amostra. Segundo estes autores, amostras com sarcômero $> 2,0 \mu\text{m}$ a maciez é independente das variáveis proteólise e colágeno, por outro lado nas amostras com sarcômero $< 2,0 \mu\text{m}$ ambas as variáveis, proteólise e colágeno, estão relacionados à maciez, situação está observada neste estudo.

Heinemann, Pinto, & Romanelli (2003), avaliando animais Nelore e cruzados Nelore-Limousin, não constataram influência do grupo genético no comprimento de sarcômero avaliado sem maturação. No entanto, a diferença constatada foi na faixa de peso em que os animais foram abatidos, em que os mais leves tiveram menores valores de comprimento de sarcômero.

Ambas situações, sarcômeros $< 2,0 \mu\text{m}$ e menor peso no abate, nos grupos genéticos estudados e nos tratamentos de congelamento e maturação empregados, foram observadas neste estudo, o que pode ter contribuído de forma negativa para menor maciez da carne devido a maior compactação do tecido e consequentemente maior força de cisalhamento.

A utilização da técnica de IFM por microscopia, apesar de não ser comumente utilizada, mostra com clareza os fragmentos de miofibrila. No entanto, o desaparecimento dos fragmentos ao avaliar amostras com 60 dias de congelamento prévio, pode ser devido à alta proteólise após o descongelamento e maturação, enfraquecendo demasiadamente as estruturas dos sarcômeros perdendo o formato comum de uma miofibrila impedindo assim sua identificação. Adicionalmente, outro fato passível de ter ocorrido, é a destruição dos fragmentos ao descongelamento, devido a formação dos cristais de gelo. No entanto esta segunda hipótese pode ser descartada devido a menor perda de líquidos ocorrida nas amostras congeladas em comparação às não congeladas.

5- Conclusão

A utilização de animais mestiços Angus x Nelore e Canchim x Nelore proporcionaram melhora nas características de carcaça, bem como, carnes mais macias em relação ao Nelore, sendo assim, o Canchim uma alternativa para cruzamento com animais puros *Bos indicus*. A raça, o efeito do congelamento e a maturação influenciaram basicamente todos os parâmetros de coloração. Carnes congeladas e maturadas apresentaram-se mais macias, o que possibilita a utilização dessa técnica como alternativa para melhorar a qualidade da carne de animais *Bos indicus* e seus cruzados.

6- Referências

- Abril, M., Campo, M. M., Önenç, A., Sañudo, C., Albertí, P., & Negueruela, A. I. (2001). Beef colour evolution as a function of ultimate pH. *Meat Science*, 58(1), 69–78. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00133-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00133-9)
- Alvarenga, T. I. R. C., Hopkins, D. L., Ramos, E. M., Almeida, A. K., & Geesink, G. (2019). Ageing-freezing/thaw process affects blooming time and myoglobin forms of lamb meat during retail display. *Meat Science*, 153, 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.016>
- Andrade, P. L., Bressan, M. C., Gama, L. T., Gonçalves, T. M., Ladeira, M. M., & Ramos, E. M. (2010). Qualidade da carne maturada de bovinos Red Norte e Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(8), 1791–1800. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000800023>
- Aroeira, C. N., Torres Filho, R. A., Fontes, P. R., Gomide, L. A. M., Ramos, A. L. S., Ladeira, M. M., & Ramos, E. M. (2016). Freezing, thawing and aging effects on beef tenderness from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *Meat Science*, 116, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.006>
- Aroeira, C. N., Torres Filho, R. A., Fontes, P. R., Ramos, A. L. S., Gomide, L. A. M., Ladeira, M. M., & Ramos, E. M. (2017). Effect of freezing prior to aging on myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nelore and Aberdeen Angus cattle. *Meat Science*, 125, 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.010>
- Arrigoni, M. D. B., Júnior, A. A., Dias, P. M. A., Martins, C. L., Cervieri, R. C., Silveira, A. C., ... Chardulo, L. A. L. (2004). Desempenho, fibras musculares e carne de bovinos jovens de três grupos genéticos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(10), 1033–1039.
- Augusto, W. F., Bilego, U. O., Missio, R. L., Guimarães, T. P., Miotto, F. R. C., Rezende, P. L. P., ... Restle, J. (2019). Desempenho animal, características de carcaça e qualidade da carne de novilhos e novilhas F1 Angus-Nelore. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(4), 1681–1694. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n4p1681>
- Bergman, I., & Loxley, R. (1963). Two improved and simplified methods for the spectrophotometric determination of hydroxyproline. *Analytical Chemistry*, 35(12), 1961–1965. <https://doi.org/10.1021/ac60205a053>
- Bianchini, W., Silveira, A. C., Jorge, A. M., Arrigoni, M. D. B., Martins, C. L.,

- Rodrigues, É., ... Andrighetto, C. (2007). Efeito do grupo genético sobre as características de carcaça e maciez da carne fresca e maturada de bovinos superprecoces. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(6), 2109–2117.
- Brasil. (2017). Decreto 9.013/2017. Regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal (RIISPOA).
- Cranwell, C. D., Unruh, J. A., Brethour, J. R., & Simms, D. D. (1996). Influence of steroid implants and concentrate feeding on carcass and *Longissimus* muscle sensory and collagen characteristics of cull beef cows. *Journal of Animal Science*, 74(8), 1777–1783. <https://doi.org/10.2527/1996.7481777x>
- Crouse, J. D., Cundiff, L. V., Koch, R. M., Koohmaraie, M., & Seideman, S. C. (1989). Comparisons of bos indicus and bos taurus inheritance for carcass beef characteristics and meat palatability. *Journal of Animal Science*, 67, 2661–2668. <https://doi.org/10.2527/jas1989.67102661x>
- Della Rosa, M., Papaleo Mazzucco, J., & Aello, M. S. (2017). Relación de la dieta con el color y la terneza de la carne vacuna. *Archivos de Zootecnia*, 66(253), 459–467.
- Fernandes, A. R. M., Sampaio, A. A. M., Henrique, W., Oliveira, E. A., Tullio, R. R., & Perecin, D. (2008). Características da carcaça e da carne de bovinos sob diferentes dietas, em confinamento. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 60(1), 139–147. <https://doi.org/10.1590/s0102-09352008000100020>
- Fishell, V. K., Aberle, E. D., Judge, M. D., & Perry, T. W. (1985). Palatability and muscle properties of beef as influenced by preslaughter growth rate. *Journal of Animal Science*, 61(1), 151–157. <https://doi.org/10.2527/jas1985.611151x>
- Grayson, A. L., King, D. A., Shackelford, S. D., Koohmaraie, M., & Wheeler, T. L. (2014). Freezing and thawing or freezing, thawing, and aging effects on beef tenderness. *Journal of Animal Science*, 92(6), 2735–2740. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7613>
- Heinemann, R. J. B., Pinto, M. F., Ponsano, E. H. G., & Perri, S. H. V. (2002). Método simples para estimar encurtamento pelo frio em carne bovina. *Ciência Rural*, 32(2), 335–339. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782002000200025>
- Heinemann, R. J. B., Pinto, M. F., & Romanelli, P. F. (2003). Fatores que influenciam a textura da carne de novilhos Nelore e cruzados Limousin-

- Nelore. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 38(8), 963–971.
- Hergenreder, J. E., Hosch, J. J., Varnold, K. A., Haack, A. L., Senaratne, L. S., Pokharel, S., ... Calkins, C. R. (2012). The effects of freezing and thawing rates on tenderness, sensory quality, and retail display of beef subprimals. *Journal of Animal Science*, 91, 483–490. <https://doi.org/10.2527/jas2012-5223>
- Hill, F. (1966). The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. *Journal of Food Science*, 31(2), 161–166. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1966.tb00472.x>
- Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.022>
- Hutto, B., Shackelford, S. D., King, D. A., Wheeler, T. L., Brooks, J. C., Garmyn, A. J., ... Vote, D. (2016). Optimization and commercial implementation of freeze/age process to improve beef tenderness. *Reciprocal Meat Conference – Meat and Poultry Quality*, 66, 1. <https://doi.org/10.221751/rmc2016.062>
- Joo, S. T., Kim, G. D., Hwang, Y. H., & Ryu, Y. C. (2013). Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. *Meat Science*, 95(4), 828–836. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.044>
- Kim, H. W., Kim, J. H., Seo, J. K., Setyabrata, D., & Kim, Y. H. B. (2018). Effects of aging/freezing sequence and freezing rate on meat quality and oxidative stability of pork loins. *Meat Science*, 139, 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.024>
- Kim, H. W., & Kim, Y. H. B. (2017). Effects of aging and freezing/thawing sequence on quality attributes of bovine *Mm. gluteus medius* and *biceps femoris*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(2), 254–261. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0279>
- Lage, J. F., Oliveira, I. M., Paulino, P. V. R., & Ribeiro, F. (2009). Papel do sistema calpaína-calpastatina sobre a proteólise muscular e sua relação com a maciez da carne em bovinos de corte. *Revista Eletrônica de Veterinária*, 10(12), 1–20.
- Maggioni, D., Prado, I. N., Zawadzki, F., Valero, M. V., Marques, J. A., Bridi, A.

- M., ... Abrahao, J. J. dos S. (2012). Grupos genéticos e graus de acabamento sobre qualidade da carne de bovinos. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(1), 391–402. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n1p391>
- Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100–121. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>
- Martins, T. S., Sanglard, L. M. P., Silva, W., Chizzotti, M. L., Ladeira, M. M., Serão, N. V. L., ... Duarte, M. S. (2017). Differences in skeletal muscle proteolysis in Nellore and Angus cattle might be driven by Calpastatin activity and not the abundance of Calpain/Calpastatin. *The Journal of Agricultural Science*, 155(10), 1669–1676. <https://doi.org/10.1017/S0021859617000715>
- Miller, M. F., Cross, H. R., Crouse, J. D., & Jenkins, T. G. (1987). Effect of feed energy intake on collagen characteristics and muscle quality of mature cows. *Meat Science*, 21(4), 287–294. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(87\)90065-9](https://doi.org/10.1016/0309-1740(87)90065-9)
- Miller, R. K., Tatum, J. D., Cross, H. R., Bowling, R. A., & Clayton, R. P. (1983). Effects of carcass maturity on collagen solubility and palatability of beef from grain-finished steers. *Journal of Food Science*, 48(2), 484–486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb10772.x>
- Mota, L. F. M., Mariz, T. M. A., Ribeiro, J. S., Silva, M. E. F., & Lima Júnior, D. M. (2015). Divergência morfométrica em bovinos nelore em crescimento classificados para diferentes classes de frame size. *Revista Caatinga*, 28(2), 117–125.
- Neuman, R. E., & Logan, M. A. (1950). The determination of collagen and elastin in tissues. *Journal of Biological Chemistry*, (5), 549–556.
- Osório, J. C. D. S., Osório, M. T. M., & Sañudo, C. (2009). Características sensoriais da carne ovina. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(1), 292–300. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300029>
- Paula, M. L. (2013). *Efeito do congelamento prévio à maturação na qualidade da carne de bovinos Nelore e F1 (Nelore X Simental) terminados a pasto e confinado* (Doctoral dissertation, Universidade Federal de Lavras).
- Pearce, K. L., Rosenvold, K., Andersen, H. J., & Hopkins, D. L. (2011). Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes - A review. *Meat*

- Science, 89(2), 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.007>
- Petrović, L., Grujić, R., & Petrović, M. (1993). Definition of the optimal freezing rate—2. Investigation of the physico-chemical properties of beef *M. longissimus dorsi* frozen at different freezing rates. *Meat Science*, 33(3), 319–331. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(93\)90004-2](https://doi.org/10.1016/0309-1740(93)90004-2)
- Prado, I., Prado, R., Rotta, P., Visantainer, J., Moletta, J., & Perotto, D. (2008). Carcass characteristics and chemical composition of the *Longissimus* muscle of crossbred bulls (*Bos taurus indicus* vs *Bos taurus taurus*) finished in feedlot. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 17(3), 295–306. <https://doi.org/10.22358/jafs/66609/2008>
- Priolo, A., Micol, D., & Agabriel, J. (2001). Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Animal Research*, 50(3), 185–200. <https://doi.org/10.1051/animres:2001125>
- Ramos, E., & Gomide, L. A. M. (2017). *Avaliação da qualidade de carnes: Fundamentos e metodologias*. (2ª Edição). Viçosa: Editora UFV.
- Ramos, E. M., & Gomide, L. A. M. (2007). *Avaliação da Qualidade de Carnes: Fundamentos e Metodologias* (1º Edição). Viçosa: Editora UFV.
- Rosa, B. L., Sampaio, A. A. M., Oliveira, E. A., Henrique, W., Pivaro, T. M., Andrade, A. T., ... Mota, D. A. (2014). Correlações entre medidas corporais e características das carcaças de tourinhos Nelore terminados em confinamento. *Boletim de Indústria Animal*, 71(4), 371–380. <https://doi.org/10.17523/bia.v71n4p371>
- Rubiano, G. A. G., Arrigoni, M. B., Martins, C. L., Rodrigues, É., Gonçalves, H. C., & Angerami, C. N. (2009). Desempenho, características de carcaça e qualidade da carne de bovinos superprecoces das raças Canchim, Nelore e seus mestiços. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(12), 2490–2498. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001200027>
- Setyabrata, D., & Kim, Y.H. B. (2019). Impacts of aging/freezing sequence on microstructure, protein degradation and physico-chemical properties of beef muscles. *Meat Science*, 151, 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.01.007>
- Silva, C. C. G., Rego, O.A., Simões, E.R.E., & Rosa, H.J.D. (2010). Consumption of high energy maize diets is associated with increased soluble collagen in muscle of holstein bulls. *Meat Science*, 86(3), 753–757.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.06.017>

- Silva, J. A., Patarata, L., & Martins, C. (1999). Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. *Meat Science*, 52(4), 453–459. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00029-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00029-7)
- Troy, D. J., & Kerry, J. P. (2010). Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat Science*, 86(1), 214–226. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.009>
- Wheeler, T. L., Shackelford, S. D., & Koohmaraie, M. (2000). Variation in proteolysis, sarcomere length, collagen content, and tenderness among major pork muscles. *Journal of Animal Science*, 78(4), 958. <https://doi.org/10.2527/2000.784958x>
- Whipple, G., Koohmaraie, M., Dikeman, M. E., Crouse, J. D., Hunt, M. C., & Klemm, R. D. (1990). Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Journal of Animal Science*, 68(9), 2716–2728. <https://doi.org/10.2527/1990.6892716x>
- Williams, C. B., Bennett, G. L., & Keele, J. W. (1995). Simulated influence of postweaning production system on performance of different biological types of cattle: I. Estimation of model parameters. *Journal of Animal Science*, 73(3), 665–673. <https://doi.org/10.2527/1995.733665x>
- Wulf, D. M., Emnett, R. S., Leheska, J. M., & Moeller, S. J. (2002). Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *Journal of Animal Science*. 80(7), 1895–1903. <https://doi.org/10.2527/2002.8071895x>

CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A variação da maciez das carnes comercializadas no Brasil é um dos entraves enfrentados pela pecuária de corte. Com isso, diversos procedimentos e tecnologias que proporcionem melhora na maciez da carne, devem ser amplamente estudados. Diversas pesquisas avaliaram o complexo calpaínas e calpastatina a fim de elucidar suas funções e modo de ação. Atualmente sabe-se que o músculo de animais com genética *Bos indicus* possui elevados níveis de calpastatina, que por sua vez inibi a ação das calpaínas reduzindo a maciez da carne. Assim, com o intuito de diminuir ou cessar a atividade da calpastatina foi sugerido que a realização do congelamento e posteriormente o processo de maturação poderia promover tal fato. Os resultados obtidos neste estudo demonstram que carnes congeladas foram mais macias e, essa informação se torna útil para o mercado consumidor, permitindo a utilização de outra técnica para promover a maciez.