



JOHNATHAN DE LIMA RAMOS

**EFEITOS DO CONGELAMENTO PRÉVIO, TEMPERATURA
DE MATURAÇÃO E TRATAMENTO POR ULTRAVIOLETA
SOBRE A MATURAÇÃO ACELERADA DA CARNE BOVINA**

**LAVRAS-MG
2021**

JOHNATHAN DE LIMA RAMOS

**EFEITOS DO CONGELAMENTO PRÉVIO, TEMPERATURA DE MATURAÇÃO E
TRATAMENTO POR ULTRAVIOLETA SOBRE A MATURAÇÃO ACELERADA
DA CARNE BOVINA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Eduardo Mendes Ramos
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

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

Ramos, Johnathan de Lima.

Efeitos do congelamento prévio, temperatura de maturação e
tratamento por ultravioleta sobre a maturação acelerada da carne
bovina / Johnathan de Lima Ramos. - 2021.

65 p. : il.

Orientador(a): Eduardo Mendes Ramos.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Proteólise. 2. *Brochothrix thermosphacta*. 3. Força de
cisalhamento. I. Ramos, Eduardo Mendes. II. Título.

JOHNATHAN DE LIMA RAMOS

**EFEITOS DO CONGELAMENTO PRÉVIO, TEMPERATURA DE MATURAÇÃO E
TRATAMENTO POR ULTRAVIOLETA SOBRE A MATURAÇÃO ACELERADA
DA CARNE BOVINA**

**EFFECTS OF FREEZING/THAWING, AGING TEMPERATURE AND
ULTRAVIOLET TREATMENT ON ACCELERATED BEEF AGING**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 20 de agosto de 2021.

Dra. Alcinéia de Lemos Souza Ramos

UFLA

Dr. Robledo de Almeida Torres Filho

UFV

Prof. Dr. Eduardo Mendes Ramos
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus, por sempre estar presente em todos os momentos da minha vida, sempre me fortalecendo para vencer obstáculos.

Ao meu orientador, Eduardo Mendes Ramos, pela amizade, pelos ensinamentos e, principalmente, por toda a ajuda. É um profissional exemplar e muito dedicado, que sempre me guiou para que chegasse à conclusão deste trabalho. Parte da minha conquista só foi possível graças a você. Muito obrigado!

Aos professores da banca examinadora, Alcinéia e Robledo, pelas valiosas contribuições.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos (PPGCA), pela oportunidade e acolhimento, pois todos sempre foram muito solícitos em me ajudar e apresentaram sempre um grande carinho com os discentes.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES; Código de Financiamento 001) pela concessão da Bolsa de Estudo e à Fundação para a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG; CVZ APQ-02904-17) pelo financiamento do projeto.

Ao Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), pela estrutura para que pudesse chegar à conclusão do meu trabalho. Aos professores, pelos ensinamentos passados e contribuição no meu desenvolvimento profissional.

Aos meus pais, Marli e José, por sempre me apoiarem e amarem incondicionalmente, sempre estando comigo em todas as decisões importantes da minha vida, ajudando-me a seguir o melhor caminho, acreditando sempre que esse sonho um dia pudesse se tornar realidade.

Aos meus irmãos Alan, Joseane e Alessandra, por serem os melhores irmãos do mundo, pois sempre me apoiaram e ajudaram em todas as minhas dificuldades, além do carinho, respeito, compreensão e amor que sempre tiveram por mim.

À minha namorada, Valquiline, pelo amor, carinho, confiança, paciência, estando sempre ao meu lado, apoiando-me e encorajando-me.

Aos meus amigos Gustavo Emiliano, Gustavo Silva e Diogo pelas conversas, risadas e por sempre acreditarem em mim, motivando-me até a conclusão deste trabalho. Agradeço também a todos os meus amigos do Laboratório de Carnes. Em especial ao Thales, que me ajudou durante o projeto, sempre me auxiliando e ensinando. Aos meus amigos Marcelo, Maira, Luiza, Lorena e Marielle, que estiveram comigo em todos os momentos desde o início do mestrado. Obrigado pela amizade!

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de congelamento prévio, temperatura de maturação e tratamento por ultravioleta sobre a maturação acelerada da carne bovina. Amostras do músculo *Longissimus lumborum* de bovinos Nelore, obtidas 48 h *post mortem*, foram submetidos a dois experimentos: o primeiro foi o estudo da cinética de amaciamento (índice de fragmentação, perda de massa por cozimento e força de cisalhamento) e de desenvolvimento microbiológico (contagem microbiana total) em carnes bovinas, frescas ou congeladas e descongeladas, embaladas a vácuo e maturadas sob diferentes temperaturas (1, 7, 14 e 20°C) por até 6 dias para as análises tecnológicas e por até 4 dias para as análises microbiológicas; e o segundo experimento foi o estudo da cinética da inativação microbiológica (contagens microbiana total e do micro-organismo *Brochothrix thermosphacta* inoculado), pelo modelo de Weibull, em carnes embaladas a vácuo submetidas a diferentes doses de radiação UV-C (13,3 a 66,6 mJ/cm²). No primeiro experimento apenas a força de cisalhamento foi afetada ($P < 0,05$) pela interação entre o pré-tratamento e o tempo de maturação. O índice de fragmentação (IF) foi menor ($P < 0,05$) nas carnes congeladas e descongeladas do que naquelas sem congelamento prévio. O IF reduziu ($P < 0,05$) com os aumentos da temperatura e do tempo de maturação, indicando uma maior proteólise da estrutura miofibrilar. A perda de massa por cozimento não foi afetada ($P > 0,05$) pelo pré-tratamento, mas aumentou ($P < 0,05$) com os aumentos da temperatura e do tempo de maturação. A contagem microbiana total aumentou ($P < 0,05$) com os aumentos da temperatura e do tempo de maturação. No segundo experimento as contagens microbianas total e do microorganismo *Brochothrix thermosphacta* reduziram ($P < 0,05$) com o aumento da dose de radiação UV-C, podendo essa redução ser descrita pelo modelo de Weibull. A maior dose de 66,66 mJ/cm² de radiação UV-C proporcionou uma redução superior a um ciclo logarítmico para as contagens microbiana total (-1,2 log UFC) e do microrganismo *Brochothrix thermosphacta* (-1,4 log UFC). Os resultados sugerem que o uso de altas temperaturas de maturação aliada a tratamentos com doses de irradiação UV-C e congelamento prévio podem ser uma alternativa para redução do tempo de maturação da carne bovina, com manutenção da qualidade e garantia da segurança microbiológica.

Palavras-chave: Proteólise. *Brochothrix thermosphacta*. Força de cisalhamento.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effects of freezing/thawing, aging temperature and ultraviolet treatment on the accelerated beef aging. Samples of the *Longissimus lumborum* muscle from Nellore cattle, obtained 48 h postmortem, were subjected to two experiments: the first was the study of the tenderness kinetics (fragmentation index, cooking loss and shear force) and microbiological development (total microbial count) in beef, non-frozen or frozen and thawed, vacuum-packed and aged at different temperatures (1, 7, 14 and 20°C) for up to 6 days for technological characteristics and up to 4 days for microbiological analyzes; and the second experiment was the study of the kinetics of microbiological inactivation (total microbial counts and inoculated *Brochothrix thermosphacta* microorganism), by the Weibull model, in vacuum-packed meats subjected to different doses of UV-C radiation (13.3 to 66.6 mJ/m²). In the first experiment, only the shear force was affected ($P < 0.05$) by the interaction between pretreatment and aging time. The fragmentation index (FI) was lower ($P < 0.05$) in frozen and thawed meats than in those without prior freezing. FI reduced ($P < 0.05$) with increases in temperature and aging time, indicating greater proteolysis of the myofibrillar structure. Cooking loss was not affected ($P > 0.05$) by pretreatment, but increased ($P < 0.05$) with increases in temperature and aging time. The total microbial count increased ($P < 0.05$) with increases in temperature and aging time. In the second experiment, the total microbial and *Brochothrix thermosphacta* counts reduced with increasing UV-C radiation dose and this reduction can be described by the Weibull model. The highest dose of 66.66 mJ/cm² of UV-C radiation provided a reduction greater than one logarithmic cycle for the total microbial (-1.2 log CFU) and the *Brochothrix thermosphacta* (-1.4 log CFU) counts. The results suggest that the use of high aging temperatures combined with frozen/thawed UV-C irradiation treatments can be an alternative to reduce the aging time with quality maintenance and guarantee of microbiological safety.

Keywords: Proteolysis. *Brochothrix thermosphacta*. Shear force.

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 10 |
| 2.1 | Situação atual da bovinocultura no Brasil..... | 10 |
| 2.2 | Maturação e maciez da carne..... | 10 |
| 2.2.1 | Ação enzimática na maturação | 12 |
| 2.2.2 | Perda de massa por cozimento..... | 18 |
| 2.2.3 | Força de cisalhamento | 18 |
| 2.2.4 | Índice de fragmentação..... | 19 |
| 2.3 | Efeito do congelamento prévio à maturação..... | 19 |
| 2.4 | Efeito da temperatura sobre a maturação | 20 |
| 2.5 | Radiação ultravioleta | 22 |
| 2.5.1 | Radiações ionizantes | 26 |
| 2.5.2 | Radiação UV-C..... | 27 |
| 2.6 | Cinética da qualidade de alimentos | 28 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 32 |
| 3.1 | Experimento 1 – Cinética da qualidade durante a maturação | 32 |
| 3.1.1 | Avaliação do amaciamento..... | 32 |
| 3.1.2 | Avaliação microbiológica..... | 33 |
| 3.1.3 | Análise estatística e modelagem..... | 34 |
| 3.2 | Experimento 2 – Cinética da inativação bacteriana por UV-C | 35 |
| 3.2.1 | Microrganismo teste..... | 35 |
| 3.2.2 | Tratamento por UV-C | 36 |
| 3.2.3 | Modelagem..... | 37 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 38 |
| 4.1 | Cinética da qualidade durante a maturação..... | 38 |
| 4.1.1 | Avaliação do amaciamento..... | 38 |
| 4.1.2 | Avaliação microbiológica..... | 47 |
| 4.2 | Cinética da inativação bacteriana por UV-C..... | 50 |
| 5 | CONCLUSÃO | 52 |
| | REFERÊNCIAS | 53 |

1 INTRODUÇÃO

A maturação de carnes é o processo de armazenamento da carne *in natura*, embalada a vácuo, sob temperatura de refrigeração (1 a 2°C) por um período de 14 até 28 dias. Isso permite a ação prolongada de proteases endógenas para obter o amaciamento da carne, resultando em uma qualidade superior e maior aceitação pelos consumidores, o que agrega valor para a indústria cárnea. Isso ocorre porque a maciez da carne é o principal fator que influencia a percepção de qualidade do consumidor e, logo, uma carne consistentemente mais macia pode proporcionar a fidelização dos consumidores em relação ao seu corte ou sua marca.

Contudo, a maturação de carnes sob baixas temperaturas de refrigeração demanda um longo tempo para a atuação das enzimas e, portanto, elevados custos para a manutenção de grande espaço refrigerado. Desse modo, a redução do tempo de maturação é um interesse da indústria cárnea para poder reduzir custos e aumentar a produtividade da carne maturada com a mesma estrutura existente. Assim, pesquisas têm sido realizadas para o desenvolvimento de processos de maturação com menor tempo para obter carnes consistentemente mais macias.

O processo de congelamento e descongelamento prévio pode ser utilizado para a redução do tempo de maturação, seja em razão da maior inibição da atividade da calpastatina, que é o inibidor das principais enzimas proteolíticas da carne, seja pelos danos mecânicos na estrutura celular causada pela formação de cristais de gelo. Tanto o congelamento prévio quanto a maturação são processos que contribuem para a maciez da carne e, dessa forma, quando são utilizados em conjunto se espera que se obtenha um efeito ainda maior sobre esse atributo de qualidade. Por esse motivo o congelamento de carnes antes de maturá-las tem sido descrito como um fator de favorecimento para a maciez quando medida através da força de cisalhamento.

O uso de temperaturas maiores que aquelas usuais de refrigeração também é uma alternativa para a redução do tempo de maturação, pois há um aumento da atividade das proteases endógenas da carne com o aumento da temperatura, favorecendo o amaciamento da carne. No entanto, o aumento da temperatura também pode favorecer o desenvolvimento microbiológico em carnes embaladas a vácuo. Desse modo, apesar da maturação sob maiores temperaturas poder proporcionar uma carne mais macia após um menor tempo, esse processo também poderia prejudicar a sua validade e a sua segurança para os consumidores.

Assim, a maturação sob temperaturas maiores que as usuais de refrigeração precisam ser associadas a outros processos a fim de garantir um alimento seguro para consumo. A radiação ultravioleta com comprimento de onda de 200 a 280 nm (UV-C) possui ação

bactericida e pode ser uma alternativa para garantir a segurança e aumentar a vida útil de carnes maturadas. A irradiação UV-C é um processo físico, com menor penetrabilidade que as radiações ionizantes (gama e raios-X), em que a própria energia é o meio germicida e cujas vantagens são: ser de simples emprego e de baixo custo; não deixar resíduos ou qualquer tipo de radioatividade ionizante; não necessitar de aquecimento; não apresentar restrições de uso em relação à legislação; e não afetar significativamente lipídios, proteínas e vitaminas. No entanto, por não ter uma penetrabilidade como as radiações ionizantes, o uso da radiação UV-C no controle microbiano em carnes embaladas a vácuo deve ser previamente avaliada.

Portanto, a ação germicida da radiação ultravioleta pode ser utilizada como forma de conter o crescimento microbiano de carnes embaladas a vácuo, permitindo acelerar o processo de maturação de carnes através da associação do uso de carnes descongeladas e temperaturas de maturação mais elevadas do que as convencionais. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de congelamento prévio, de diferentes temperaturas de maturação e do uso do tratamento por ultravioleta sobre características de qualidades tecnológica e microbiológica de carnes bovinas maturadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Situação atual da bovinocultura no Brasil

A bovinocultura tem um grande destaque no agronegócio brasileiro e no cenário mundial, sendo o Brasil o segundo maior rebanho efetivo do mundo, com um número de aproximadamente de 216,1 milhões de cabeças. De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC, 2018), no ano de 2018 obteve-se um crescimento de 6,9% no número de abates, chegando assim a 44,23 milhões de cabeças o que equivale a 12,8% acima de 2017. Dessa quantidade, 20,1% foram exportadas e 79,6% foram destinadas ao mercado interno, sendo o Brasil com um consumo *per capita* de 42,12 kg/ano.

O Brasil, além de ser o segundo em produção no *ranking* mundial, ocupa também o segundo lugar na exportação e no consumo de carne bovina. Dessa forma, tem uma expressiva importância na bovinocultura do agronegócio nacional, visto que a pecuária chegou à marca de 3,9% de participação no produto interno bruto (PIB) do país no segundo trimestre de 2013, chegando a 8,525 milhões de cabeças abatidas, o que mostra o grande potencial de produção do Brasil (ANUALPEC, 2015).

De acordo com os dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação, até o ano de 2050 a produção de carne bovina no mundo tem a projeção de ser dobrada devido à grande demanda e com esse novo cenário mundial o Brasil precisa de uma maior eficiência para conseguir suprir o mercado externo e também o interno, que a cada dia tem se tornado mais exigente e com necessidades cada vez maiores de se produzir carne com melhor qualidade organoléptica, para satisfazer às expectativas dos consumidores (FAO, 2011).

2.2 Maturação e maciez da carne

Melhorar o controle da qualidade é muito importante para os produtores, indústrias e rede varejista, pois estes mercados buscam corresponder às expectativas dos consumidores em relação a carne. Estudos relacionam que o mecanismo biológico responsável pelo processo de amaciamento da carne tem relação com os efeitos e união de fatores de produção (idade, sexo, alimentação, raça, etc.), atributos sensoriais (cor, textura, sabor) e características biológicas (colágeno, fibras, lipídios, enzimas, etc.) do tecido muscular (RENAND *et al.*, 2001).

Atualmente, a inconsistência na maciez da carne bovina é umas das maiores dificuldades enfrentadas pelos participantes da cadeia produtiva da carne. O consumidor se baseia em três

fatores de satisfação: maciez, suculência e sabor, portanto uma menor variação da maciez influenciará menos em outros parâmetros diminuindo assim os problemas ocasionados (KOOHMARAIE *et al.*, 2002).

O músculo passa por certos processos de natureza bioquímica a partir da morte do animal e diferencia-se de suas características originais, passando então a ser considerado carne (PARDI; SANTOS; SOUZA, 2001). Depois de algumas horas pós abate ocorre o início do endurecimento dos músculos conhecido como rigidez cadavérica ou *rigor mortis*.

As alterações *post mortem* nos músculos iniciam-se com a diminuição da fosfocreatina quinase, de forma rápida, imediatamente após a morte (LAWRIE, 2005). As concentrações de adenosina trifosfato (ATP) ficam constantes até que se tenha uma diminuição dos níveis de fosfocreatina quinase. Nesse momento, o ATP, que é fonte de energia para as reações químicas, permanece como o suprimento de energia para todas as funções musculares. Quando se tem a ausência de oxigênio, a glicólise faz o papel de converter o glicogênio em ácido lático sem recuperação do ATP. O ácido lático não tem como ser retirado do músculo e, como o pH fica baixo, a actina e a miosina se unem, formando a actomiosina de forma irreversível. Como se tem a formação de complexo actomiosina, fica caracterizado o encurtamento definitivo dos sarcômeros, devido a essa formação. Assim, os músculos perdem a extensibilidade, tornando a carne bem menos macia (LAWRIE, 2005).

A rigidez cadavérica se desenvolve do dianteiro para o traseiro e acontece com carcaças bovinas de 2 a 3 dias após o abate (HUFF-LONERGAN *et al.*, 1996). Durante esse tempo a carne é dura e seca, falta o sabor típico de carne. As enzimas da carne conhecidas como catepsinas provocam o fim do *rigor mortis* e a maturação própria de carne fazendo com que a carne perca a sua rigidez, tornando-se macia desenvolvendo assim o sabor típico de carne. A capacidade de retenção de água melhora, mas não atinge a capacidade igual imediatamente após o abate (HUFF-LONERGAN *et al.*, 1996).

As variações entre a maciez dos músculos de um mesmo animal e entre animais de diferentes idades devem-se em grande parte às diferenças da quantidade e natureza dos tecidos conjuntivos. Outro fator que determina o grau de maciez do músculo é o estado de contração que segue a rigidez, condição controlada pelo grau de tensão do músculo durante a instauração do *rigor mortis*. As propriedades mecânicas da carne estão relacionadas com o pH final, temperatura *post mortem*, comprimento de sarcômero e proteólise enzimática das proteínas miofibrilares pelas calpaínas e catepsinas, principalmente as troponinas e desminas. Há uma relação inversa entre o comprimento do sarcômero e a maciez da carne (TAYLOR *et al.*, 1995).

A maturação de carnes consiste no processo de armazenagem da carne *in natura* à temperatura de refrigeração entre 0 a 4°C, acima do seu ponto de congelamento (1,5°C), por um período de 10 a 21 dias (AROEIRA, 2014).

Segundo Koohmaraie (1994), as maiores e as mais principais alterações ocorridas no músculo durante o tempo de maturação são o enfraquecimento e/ou degradação da linha Z, degradação da desmina, degradação da tilina, da nebulina, desaparecimento da troponina T e aparecimento simultâneo de polipeptídios com peso molecular entre 28 kDa e 32 kDa e também o aparecimento de um polipeptídio de 95 kDa de peso molecular.

Andrade *et al.* (2010) em sua comparação em relação aos tempos de maturação da carne bovina, verificaram que houve diminuições significativas na força de cisalhamento ao longo do tempo de maturação, sendo as reduções entre 1 e 7 dias e entre 14 e 21 dias para a força de cisalhamento, perda de água na cocção e análise sensorial de maciez. Alves, Goes e Mancio (2006) obtiveram resultados em seu trabalho que a carne de animais com 75% de sangue zebuíno, após 10 dias de maturação, que a força de cisalhamento foi semelhante ao da carne de animais Angus que não foram submetidas à maturação. Whipple *et al.* (1990), em seu experimento com a carne bovina maturada de 27 bovinos mestiços, observaram que houve uma redução na força de cisalhamento e verificaram uma correlação negativa de 0,6 entre a quantidade de calpastatina e índice de fragmentação miofibrilar (IFM).

2.2.1 Ação enzimática na maturação

Segundo Koohmaraie *et al.* (2002), grande parte da variação da maciez entre diferentes cortes que são submetidos ao processo de maturação são pela proteólise das proteínas miofibrilares, o comprimento do sarcômero e a quantidade de tecido conjuntivo. A principal consequência do estado do *rigor mortis* é o encurtamento máximo dos sarcômeros, que segundo Bridi, Constantino e Tarsitano (2011), é a área de uma fibra muscular que tem de limite duas linhas Z, sendo a unidade contrátil da fibra muscular e seu tamanho final alcançado no *rigor mortis*.

Koohmaraie *et al.* (2002) descrevem que no período de 24 horas *post-mortem* ocorre uma redução na maciez da carne por conta do encurtamento do sarcômero que passa de 2,24 µm no momento do rigor para 1,69 µm depois da carne maturada e esse encurtamento do sarcômero é devido à formação do complexo actomiosina no *rigor mortis*.

O comprimento dos sarcômeros, observado por Aroeira (2016) em seu trabalho para a carne maturada por 21 dias de animais Nelore (1,97 µm) fazendo comparações com a de Angus

(2,27 μm), demonstraram a variação da raça na inconsistência da degradação estrutural do sarcômero, o que corrobora também com os dados de Koohmaraie (1992), o qual constatou que os zebuínos apresentam níveis mais baixos de calpaína e níveis mais elevados de calpastatina, resultando na diminuição da maciez da carne.

A degradação das proteínas miofibrilares é o mecanismo mais importante no processo de maturação de carnes e tem uma variedade de enzimas presentes no músculo esquelético que estão sendo relacionadas com a degradação dessas proteínas no período *post mortem* (TAYLOR *et al.*, 1995).

O sistema calpaína é composto por várias formas diferentes da proteína que são produzidas por genes diferentes ou por processo alternativo da enzima (isoformas) proteolítica calpaína e um inibidor endógeno das calpaínas, a calpastatina. As duas isoformas mais bem caracterizadas são μ -calpaína e m-calpaína, elas precisam que o cálcio esteja presente para serem ativadas (GOLL *et al.*, 1992).

As μ - e m-calpaína são compostas por subunidades de 80 kDa e 28 kDa. Essas subunidades kDa das duas proteínas apresentam quatro domínios, dentre eles o domínio I e o domínio N- terminal que não possuem homologia de sequência com nenhum polipeptídeo conhecido. O domínio II é o domínio catalítico. Este domínio contém um resíduo de cisteína, bem como um resíduo de histidina que estão em posições relativas e que são conservadas em todas as proteinases de cisteína (SUZUKI, 1990). O domínio III não é homólogo a nenhuma outra proteína conhecida, mas possui sequências que predizem os locais de ligação a Ca^{+2} “EF-hand” (GOLL *et al.*, 2003). O domínio IV é um domínio semelhante à calmodulina que possui sequências que predizem Ca^{+2} “EF-hand” dos sítios de ligação.

As μ e m-calpaína têm uma limitação em sua especificidade, elas não degradam proteínas dos aminoácidos constituintes e também não degradam proteínas miofibrilares principais, como miosina ou actina. O papel da calpaína no músculo é a proteólise específica de proteínas citoesqueléticas (titina e nebulina) e filamentos intermediários (desmina) para começar a degradação da proteína miofibrilar (GOLL *et al.*, 2003; NETI *et al.*, 2009).

As catepsinas apresentam uma característica importante, pois elas degradam não só proteínas miofibrilares, como também exercem ação sobre as proteínas do tecido conjuntivo (colágeno), o que pode indicar um sinergismo entre os dois sistemas (MORAIS; AZEVEDO, 2003).

Durante o processo de maturação da carne há evidências de que se tenha a transformação do tecido conectivo, o que o torna mais solúvel pela ação das enzimas catepsinas, atuando de forma mais efetiva na região não helicoidal terminal da molécula de colágeno nativo,

juntamente às ligações cruzadas intermoleculares. As catepsinas são proteases de cisteína, da família das papaínas, e se encontram retidas nos lisossomos, sendo as catepsinas B, L, N e S capazes de clivar o colágeno nativo insolúvel em fragmentos solúveis (OLIVEIRA; SOARES; ANTUNES, 1998).

Existe uma grande quantidade de actina na miofibrila e, sendo a segunda proteína mais abundante e a principal proteína do filamento fino, ela não sofre grandes alterações durante o período de maturação, entretanto pode haver pequenas alterações e degradação potencialmente menor da actina sobre os músculos no *post mortem* (LAMETSCH; ROEPSTORFF; BENDIXEN, 2002, LAMETSCH *et al.*, 2004).

A miosina é a principal proteína da miofibrila e a função dessa proteína para a estrutura e a resistência à tração da carne não deve ser ignorada (WEAVER *et al.*, 2008). Seus componentes não mudam muito durante o armazenamento, sendo a cadeia pesada de miosina pouco degradada durante o armazenamento *post mortem*, por outro lado, alguns métodos de avaliação demonstram que a cadeia pesada de miosina é degradada no músculo *post mortem* (LAMETSCH; ROEPSTORFF; BENDIXEN, 2002) e a μ -calpaína é quem é responsável por essa degradação da cadeia pesada de miosina (LAMETSCH *et al.*, 2004). A cadeia leve da miosina também está sujeita à proteólise pela μ -calpaína e essa reação pode ter um pequeno efeito na formação ou na integridade da ligação rigorosa da actomiosina.

As modificações da miosina têm o potencial de influenciar a solubilidade das proteínas e a resistência ao cisalhamento das fibras. Por fim, essas alterações, mesmo quando ocorrem em pouca quantidade, podem contribuir para importantes características da tecnologia da carne, como sensibilidade e suculência sensoriais, capacidade de retenção de água em um produto de carne processada (LAMETSCH *et al.*, 2004).

A titina tem aproximadamente 3 Da de tamanho e é uma megaproteína. Sendo a maior proteína que pode ser encontrada nos tecidos de mamíferos e a terceira mais abundante. Como parâmetro se tem que uma única molécula de titina esteja entre 2 e 2,5 μ M de comprimento. No músculo estriado, a titina pode abranger metade de um sarcômero, com sua extremidade C-terminal localizada na linha M e o terminal N formando parte integrante da linha Z. A titina conta com a função de ajudar a manter o alinhamento do sarcômero na miofibrila durante a contração. Tem também a função de integrar a linha Z e os filamentos grossos mantendo assim a localização dos filamentos grossos (banda A) no centro do sarcômero. Durante o desenvolvimento da miofibrila, a titina é uma das primeiras proteínas expressas e acredita-se que ela atue como uma “régua molecular”, fornecendo uma base ou modelo para o desenvolvimento da miofibrila (CLARK *et al.*, 2002).

Sua degradação no músculo *post mortem* leva ao enfraquecimento da estrutura longitudinal do sarcômero miofibrilar e à integridade do músculo. A degradação da titina foi observada em vários estudos (FRITZ; SCHLEICHER; KINAL, 1993). É importante notar que é a degradação da titina, e não a quantidade absoluta de titina no músculo *post mortem*, que contribui para o amaciamento *post mortem* (FRITZ; SCHLEICHER; KINAL, 1993).

Alguns estudos examinaram alterações no sarcômero relacionadas à titina e observaram que a coloração de titina nos sarcômeros mostrou que as duas bandas normais do sarcômero foram transformadas em quatro bandas, devido à clivagem proteolítica e retração de proteínas durante a maturação (RINGKOB *et al.*, 1988).

A nebulina é outra megaproteína (600 a 900 kDa) que faz parte do quarto sistema de filamentos musculares. A nebulina vai da linha Z até as extremidades pontiagudas do filamento fino. A extremidade C-terminal da nebulina é incorporada na linha Z. A nebulina não é extensível e tem sido referida como uma régua molecular que, durante o desenvolvimento, pode servir para definir o comprimento dos filamentos finos (KRUGER; WRIGHT; WANG, 1991). A degradação da nebulina *post mortem* pode enfraquecer as ligações dos filamentos finos na linha Z e (ou) dos filamentos finos nas regiões próximas da banda I e, assim, enfraquecer a estrutura da célula muscular (TAYLOR *et al.*, 1995).

E possível que a degradação *post mortem* da nebulina possa alterar as interações actina-miosina a ponto de que o alinhamento e as interações dos filamentos grossos e finos no músculo *post mortem* sejam interrompidos. A degradação da nebulina parece estar correlacionada ao amaciamento *post mortem*, embora a relação exata de causa e efeito ainda não tenha sido comprovada (FRITZ; GREASER, 1991).

A troponina-T bovina purificada pode ser degradada pela u-calpaína *in vitro* para produzir polipeptídeos na região de 30 kDa (OLSON *et al.*, 1977). Além desse efeito, os polipeptídeos da região de 30 kDa encontrados no músculo bovino maturado demonstraram especificamente que são produtos da troponina-T quando foram usadas técnicas de Western blotting (HO *et al.*, 1994) algumas vezes, mais de um fragmento de troponina-T pode ser identificado no músculo *post mortem*. Demonstrou-se que o aumento do tempo *post-mortem* está associado ao aparecimento de duas bandas principais de aproximadamente 30 e 28 kDa, que marcam com anticorpos monoclonais à troponina-T (HUFF-LONERGAN *et al.*, 1996). Além disso, o aumento do tempo de maturação pós abate também foi associado à perda de troponina-T (HO *et al.*, 1994, KOOHMARAIE *et al.*, 1984).

A troponina-T é clivada em sua região amino-terminal que é rica em ácido glutâmico. Alguns estudos demonstraram a marcação de duas bandas muito próximas, correspondendo à

troponina-T intacta. Provavelmente isso se deve às isoformas da troponina-T conhecidas no músculo esquelético, incluindo o músculo esquelético bovino (MUROYA *et al.*, 2007).

Tanto a aparência das bandas de 30 e 28 kDa quanto o desaparecimento da troponina-T intacta na miofibrila têm grande relação com a força de cisalhamento. A troponina-T é um substrato para a μ -calpaína e a hipótese é de que a μ -calpaína é pelo menos parcialmente responsável pela degradação *post mortem* da troponina-T e pela produção concomitante dos polipeptídeos de 28 e 30 kDa. A degradação da troponina-T pode ser simplesmente um indicador geral da proteólise *post mortem* (HUFF-LONERGAN; LONERGAN, 1999).

É aceito que a degradação *post-mortem* da troponina-T e o impedimento de suas interações com outras proteínas de filamentos finos ajudem na ruptura dos filamentos finos na banda I, possivelmente levando à fragmentação da miofibrila e à integridade muscular geral. Durante a maturação, as miofibrilas no músculo bovino *post-mortem* são quebradas na região da banda I (TAYLOR *et al.*, 1995).

Desmina é um membro do grupo tipo III de proteínas de filamentos intermediários, localizado na periferia do disco Z miofibrilar no músculo esquelético e desempenha um papel no desenvolvimento da maciez. Os filamentos intermediários da desmina ficam ao redor das linhas Z das miofibrilas. Esses filamentos conectam miofibrilas adjacentes no nível de suas linhas-Z e as miofibrilas a outras estruturas celulares, incluindo o sarcolema e, portanto, podem ser importantes na manutenção da integridade estrutural das células musculares (YOUNG; GRAAFHUIS; DAVEY, 1980).

É possível que a degradação dos elementos estruturais que conectam os principais componentes como as miofibrilas de uma célula muscular, bem como a camada periférica das miofibrilas à membrana celular, possa afetar o desenvolvimento da sensibilidade. Sabe-se que a desmina é degradada durante o armazenamento *post mortem* (MELODY *et al.*, 2004). Além disso, foi documentado que a desmina é degradada mais rapidamente em miofibrilas a partir de amostras com baixa força de cisalhamento e maior capacidade de retenção de água (ZHANG *et al.*, 2006).

Um dos principais produtos de degradação que é frequentemente visto na carne bovina é um polipeptídeo de aproximadamente 38 kDa. Também foi demonstrado que esse produto de degradação está presente nas miofibrilas digeridas com μ -calpaína (HUFF-LONERGAN *et al.*, 1996). Assim, a μ -calpaína pode ser, pelo menos em parte, responsável pela degradação da desmina sob condições normais de maturação. Ainda deve ser determinado se essa degradação está realmente ligada ao amaciamento ou é simplesmente um indicador da proteólise *post mortem* geral.

Filamina é uma grande protease de ligação da actina que existe em vários tipos de células e apresenta várias isoformas diferentes (HOCK; DAVIS; SPEICHER, 1990). A quantidade de filamina no músculo esquelético e cardíaco é muito pequena (aproximadamente <0,1% da proteína muscular total). No músculo esquelético e cardíaco a filamina está localizada nas partes mais afastadas do disco Z miofibrilar e pode estar associada a filamentos intermediários nessas regiões (LOO *et al.*, 1998). Assim, é possível que a degradação *post mortem* da filamina possa interromper as principais ligações que servem para ajudar a manter as miofibrilas na parte lateral. A degradação da filamina também pode alterar as ligações que conectam a camada periférica das miofibrilas nas células musculares ao sarcolema, deixando mais fracas as interações entre os discos Z miofibrilares periféricos e o sarcolema através de associações e filamentos denominados costâmeros (YOUNG; GRAAFHUIS; DAVEY, 1980).

Dransfield (1994) em seu trabalho demonstrou que 65% da variação na maciez da carne pode ser explicada pela variação na atividade da calpaína-I e propôs um modelo de amaciamento da carne baseado na ativação das calpaínas, pelo aumento na concentração de cálcio livre, a partir do início do *rigor mortis* acontece o declínio do pH de 6,5 a 5,7, aumenta a atividade da calpaína I de 15% a 97% da atividade máxima. O modelo compreende ainda a inibição das calpaínas pela calpastatina e a inativação de calpaínas e calpastatinas por autólise, na medida em que ocorre o amaciamento da carne.

De forma semelhante, Goll *et al.* (1992), com base em algumas evidências, ressaltaram que as calpaínas são responsáveis por 90% ou mais do amaciamento *post mortem* da carne.

Durante o tempo de maturação, a carne sofre a ação das enzimas que estão presentes na carne, as calpaínas e catepsinas que são enzimas cálcio-dependentes (ANDRIGHETTO *et al.*, 2006). Estas enzimas causam uma sequência de modificações no músculo em função do pH, promovendo uma redução da rigidez e por consequência um aumento gradativo na maciez da carne (KOOHMARAIE *et al.*, 1994). O processo é iniciado pela calpaína tipo I (enzima que requer baixos níveis de cálcio), sendo bastante efetiva em amaciar a carne logo após o abate (6 a 10 h), quando as concentrações de cálcio no sarcoplasma aumentam de 10^{-7} moles/litro e o pH tem uma queda de 6,8 para aproximadamente 5,7 (KOOHMARAIE, 1992; OLIVEIRA; SOARES; ANTUNES, 1998). A atividade da calpaína tipo II (enzima que requer níveis mais elevados de cálcio) é ativada sendo responsável pela continuidade do processo de amaciamento, estando ativa em torno das 16 horas *post mortem* e assim permanecendo por um grande período de tempo durante a maturação (OLIVEIRA; SOARES; ANTUNES, 1998).

As características físicas da carne estão diretamente associadas ao pH, ou seja, a luminosidade e a coloração da carne estão correlacionadas com o valor de pH após o

resfriamento. Assim, carnes com valores altos de pH, apresentam colorações mais escuras devido a maior absorção da luz; já as carnes com valores baixos de pH têm a coloração mais clara pelo efeito inverso (FERNANDES *et al.*, 2009).

2.2.2 Perda de massa por cozimento

A perda de massa por cocção (PMC) corresponde à perda de líquido durante o processo de cozimento da carne para consumo e é calculada por meio da diferença entre peso inicial e final. A perda de peso por cocção é um fator que pode afetar diretamente a qualidade da carne bovina, visto que tem grande influência na suculência durante a mastigação, sendo manifestada pela exsudação de fluido. Se houver grandes perdas de líquido, poderá promover o ressecamento e enrijecimento, perda e/ou alteração do sabor e aroma da carne preparada para consumo (FELÍCIO, 1997).

A velocidade com que o pH cai, ou seja, a rápida acidificação, está diretamente correlacionada ao processo de perda de água, por ser responsável pela desnaturação das proteínas musculares, diminuindo sua capacidade de retenção de água (LAWRIE, 2005). Alguns fatores como a temperatura, a presença ou ausência de umidade, o tempo de cozimento e a temperatura final no interior da carne são importantes variáveis que devem ser controladas (FELÍCIO, 1997).

Durante esse processo de cozimento ocorre um encurtamento das fibras musculares devido à perda de água, que podem chegar a serem superiores a 40%, esse fator faz com que se tenha uma diminuição na maciez da carne (VARNAM; SHUTERLAND, 1998).

2.2.3 Força de cisalhamento

A dificuldade de padronização da textura é um dos principais problemas relacionados à qualidade da carne bovina (KOOHMARAIE, 1994; MARSHALL, 1994). A avaliação instrumental pela mensuração da força de cisalhamento tem sido a principal ferramenta utilizada em estudos envolvendo a textura da carne. No entanto, para que os resultados desses estudos possam ser analisados comparativamente é necessário que os fatores de variação sejam minimizados. O tamanho e o formato da amostra, a orientação das fibras musculares, as condições do tratamento térmico que precede a análise e a temperatura das amostras no momento da análise são alguns dos parâmetros que devem ser padronizados, visando a maximizar a correlação da avaliação instrumental com a percepção sensorial da maciez (POSTE

et al., 1993).

2.2.4 Índice de fragmentação

O fenômeno da quebra das miofibrilas em segmentos menores na linha Z ou próximos a ela durante o *post mortem* do músculo é determinado como fragmentação miofibrilar (OLSON *et al.*, 1976).

O índice de fragmentação miofibrilar (MFI) é uma técnica analítica bastante utilizada, pois prediz mais de 50% da variação da maciez da carne (HOPKINS *et al.*, 2000), além de ser altamente correlacionado com índices de maciez como “Warner-Bratzler shear force”, já que com o aumento do MFI têm-se diminuição dos valores obtidos na força de cisalhamento e “painel sensorial” (OLSON *et al.*, 1976).

2.3 Efeito do congelamento prévio à maturação

O congelamento tem um importante papel na indústria da carne, pois visa garantir que os produtos sejam distribuídos de forma segura por todo o mundo (LEYGONIE; BRITZ; HOFFMAN, 2012). Mas o processo de congelamento e descongelamento da carne resulta em um aumento da perda de peso por exsudação que provavelmente irá influenciar de forma direta na qualidade sensorial devido à oxidação lipídica e proteica causada pela liberação de enzimas pró-oxidantes, devido à ruptura das células musculares, que é ocasionada pela formação de cristais de gelo entre essas células (LEYGONIE; BRITZ; HOFFMAN, 2012).

Por conta do rompimento das fibras, o congelamento pode também aumentar a maciez da carne, fato já demonstrado em vários estudos que indicam que o congelamento prévio à maturação a vácuo aumenta a maciez da carne quando comparados com carnes não congeladas e maturadas pelo mesmo período (LAGERSTEDT *et al.*, 2008).

Outro fator importante do congelamento e descongelamento é a alteração no conteúdo e distribuição da água nos tecidos da carne, que pode ser avaliada de diversas maneiras, como perdas por gotejamento, descongelamento, teor de umidade, capacidade de retenção de água e perda por cocção (LEYGONIE; BRITZ; HOFFMAN, 2012).

De acordo com Lagerstedt *et al.* (2008), as carnes congeladas apresentam maiores perdas de água (gotejamento) se comparadas às carnes mantidas resfriadas pelo mesmo período. E nos estudos científicos há um consenso de que o congelamento contribui para a redução da capacidade de retenção de água da carne.

Em relação ao descongelamento, estudos indicaram que a redução do tempo de descongelamento pode resultar em uma menor quantidade de exsudato e este fato pode estar relacionado à reabsorção da água pelas fibras, devido ao aumento da atividade de água pelo derretimento do gelo extracelular (GONZALEZ-SANGUINETTI; AÑON; CALVELO, 1985).

2.4 Efeito da temperatura sobre a maturação

A temperatura de armazenamento da carne é o fator que mais tem influência no processo de maturação, pois as enzimas envolvidas no processo são dependentes dela. Na literatura consta que quanto mais elevada é a temperatura, maior será a atividade dessas enzimas, e assim maior será a taxa de amaciamento da carne (SITZ *et al.*, 2006).

A temperatura tem grande importância na velocidade do amaciamento. Estudos de Sitz *et al.* mostram que de 0 a 40°C, a velocidade do amaciamento aumenta 2,5 vezes a cada 10°C de acréscimo na temperatura. Acima de 60°C a taxa de amaciamento diminui rapidamente, dada a desnaturação proteica. Em temperatura de refrigeração comercial o maior amaciamento ocorre entre 1 a 4 dias após o abate, com 80% do amaciamento ocorrendo em 10 dias a 1°C. Quando houve o acréscimo da temperatura foi observado grau de amaciamento similar de 10 dias a 1°C em 4 dias a 10°C e apenas 1,5 dias a 20°C (DRANSFIELD, 1994). As maiores temperaturas a vida útil da carne diminui e quando comparamos as temperaturas de 0, 2, 5 e 10°C, a vida útil da carne é de aproximadamente 70, 50, 30 e 15%, respectivamente, da vida útil a -1,5°C (GILL, 1996).

Blixt e Borch (2002) em seus estudos observaram que a contagem máxima de bactérias lácticas em embalagens com baixa quantidade de oxigênio foi alcançado para carnes com pH inicial alto após 3 a 4 semanas de estocagem a 4°C, no entanto, só foi obtido após 6 a 8 semanas em carne com pH inicial normal. As carnes estocadas a 7°C apresentaram-se deterioradas, sensorialmente, com 21 dias de armazenamento e as que foram armazenadas a 10°C com 15 dias. O odor após abertura da embalagem era mais intenso nas amostras deterioradas armazenadas nas temperaturas mais altas, possivelmente pelo fato de a temperatura aumentar o desenvolvimento das bactérias e do metabolismo.

A vida útil da carne pode ser estendida e o crescimento de bactérias psicrófilas limitado reduzindo a temperatura de armazenamento (MARSHALL; BALA, 2001). Quando a carne é armazenada em 0,2 e 5°C, seu prazo de validade cai para 70%, 50% e 30% em comparação à carne armazenada a -1,5°C.

As carnes e os seus derivados são facilmente contaminados por microrganismos durante

o processo de manipulação e o seu processamento, sendo utilizadas as mais diversas partes do animal. Devido a isso, a quantidade e os tipos de microrganismos que se desenvolvem nesses produtos dependem dos fatores *ante* (antes do abate) e *post mortem* (após o abate), como: alimentação, genética, idade, condições de abate, resfriamento após o abate, maturação, métodos de cocção, entre outros (FELÍCIO, 1993).

Por ser considerado um alimento com alta perecibilidade, a carne necessita de um grande controle dos fatores que podem causar sua deterioração. Dentre os fatores intrínsecos (pH, aw, composição do alimento, interações entre os microrganismos) e extrínsecos (temperatura, atmosfera da embalagem, umidade), sendo a temperatura um dos fatores mais associados com a deterioração dos produtos cárneos (KOUTSOUMANIS *et al.*, 2006). Com isso, o controle das condições de tempo e temperatura durante todo o processamento da carne é de grande importância para a segurança e qualidade destes alimentos (NYCHAS *et al.*, 2008).

A deterioração de carnes caracteriza-se como alterações de cor, odor e aparência do produto, com o aumento da proteólise e exsudação, às vezes imperceptíveis ao consumidor (KALCHAYANAND, 1989). A atividade enzimática endógena que ocorre durante a maturação das carnes refrigeradas embaladas a vácuo é capaz de ocasionar modificações físico-químicas que caracterizam a putrefação (PARDI *et al.*, 2006). Além das características físicas, oxidação, alteração da cor, a deterioração é determinada pelo crescimento indesejado de microrganismos em níveis elevados, ou seja, considerados inadequados. A ação microbiana na superfície dos cortes cárneos, inevitável devido à contaminação bacteriana durante o processamento, é a principal determinante da deterioração (PARDI *et al.*, 2006).

A microbiota normalmente encontrada na carne em condições aeróbias é formada por *Pseudomonas* (GILL; NEWTON, 1978). Em um ambiente aeróbio, a degradação microbiana de carne bovina resfriada produz uma elevação dos valores de pH devido à liberação de amônia após um ataque microbiano aos aminoácidos. A deterioração aeróbia torna-se evidente quando as bactérias ainda estão na fase logarítmica de crescimento, ou seja, antes que haja qualquer degradação de moléculas complexas presentes na carne (JONES, 2004).

Em muitos casos, bactérias lácticas tornam-se dominantes em embalagens a vácuo de carne bovina sob refrigeração (CAYRÉ; GARRO; VIGNOLO, 2005). Várias bactérias anaeróbias facultativas indesejáveis podem crescer e causar deterioração da carne fresca refrigerada embalada a vácuo. Isto pode ser causado pela bactéria *Brochothrix thermosphacta*, microrganismo anaeróbio facultativo, não esporogênico, responsável por alterações na carne, tais como a presença de limosidade, odor pútrido, descoloração de pigmento, ocorrência ou não de estufamento (PIN *et al.*, 2002). Em temperaturas acima de 6°C, as bactérias da família

Enterobacteriaceae podem ser um problema, visto que descarboxilam aminoácidos produzem aminas orgânicas, as quais têm odores e sabores pútridos. *Shewanella putrefaciens*, que preferencialmente utiliza cisteína para produzir sulfeto de hidrogênio e sulfetos orgânicos, pode crescer sob essas condições e contribuir para a deterioração. Os sulfetos produzidos causam odores muito desagradáveis e podem também reagir com a mioglobina e produzir coloração verde na carne (PIN *et al.*, 2002).

Mesmo que apresentem a capacidade de produzir bacteriocinas, as BAL ainda necessitam de uma atenção com relação à sua capacidade de deteriorar os alimentos. Os principais aspectos que caracterizam a deterioração da carne devido à produção de metabólitos são: mudanças na textura, aparência e sabor do produto, produção de odores indesejáveis e formação de um líquido com aspecto leitoso na superfície do produto, chamado de limo por alguns autores (CAYRÉ; VIGNOLO; GARRO, 2003).

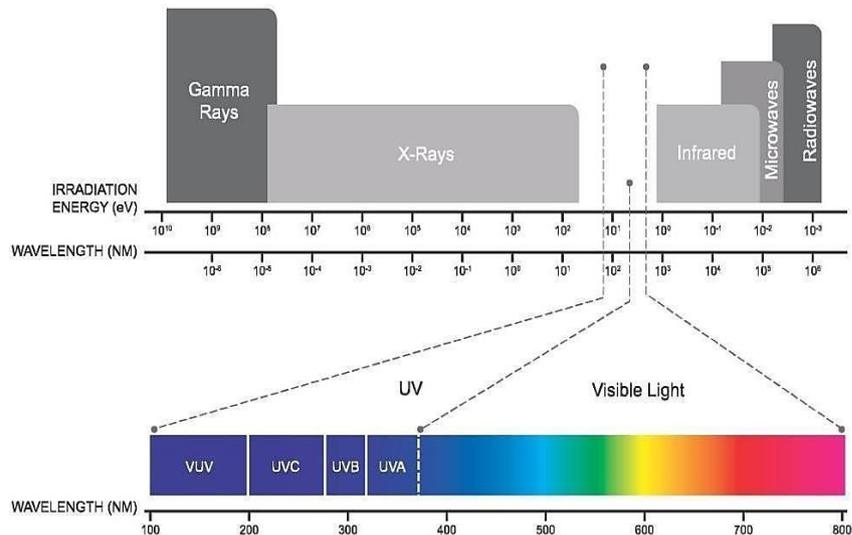
As BAL apresentam características morfológicas, fisiológicas, metabólicas e bioquímicas comuns, podendo ser classificadas como Gram positivas, não formadoras de esporos, catalase e oxidase negativas, apresentam-se na forma de cocos ou bacilos, microaerófilas e anaeróbicas facultativas. São geralmente mesófilas, pois tem a temperatura ótima de crescimento entre 30°C e 35°C, no entanto conseguem se desenvolver numa ampla faixa de temperatura entre 5°C e 45°C (CAYRÉ; VIGNOLO; GARRO, 2003).

2.5 Radiação ultravioleta

A luz é uma forma de energia eletromagnética que consiste numa combinação de um campo elétrico e de um campo magnético que se propaga através do espaço transportando energia. No entanto, existem alguns tipos de sólidos chamados de opacos, que não deixam atravessar a luz (BOLTON; COTTON, 2008). Ao longo dos anos, muitos cientistas procuraram respostas para esta questão, surgindo duas teorias que são atualmente válidas, uma vez que a luz se pode comportar como uma onda, ou como uma partícula. A teoria corpuscular da luz defende que a luz é constituída por pequenas partículas denominadas fótons; e a teoria ondulatória da luz, considera que esta é uma manifestação de energia, constituída por ondas semelhantes às do som, mas com comprimentos de onda muito menores. Ao intervalo completo da radiação eletromagnética, que contém as ondas rádio, o infravermelho, a luz visível, os raios ultravioletas (UV), os raios X e a radiação gama, dá-se o nome de espectro eletromagnético. A radiação UV se refere a toda radiação eletromagnética com comprimento de onda na faixa de 100 a 400 nm (FIGURA 2.1), ou frequências entre $7,5 \times 10^{14}$ e 3×10^{16} Hz (BOLTON;

COTTON, 2008).

Figura 2.1 - Espectro eletromagnético.



Fonte: Howarth (2007).

Os raios γ (gama) são um tipo de radiação eletromagnética produzida em processos de decaimento nuclear. São altamente energéticos devido à sua elevada frequência e, conseqüentemente, baixo comprimento de onda. Geralmente, a frequência dos raios γ situa-se acima de 10^{19} Hz, o que implica comprimentos de onda abaixo de 10^{-12} m e energias acima de 0,1 MeV (LIMA, 2014).

Inicialmente era usual distinguir a radiação γ dos raios-X pela sua energia (os raios-X eram menos energéticos). No entanto, atualmente a distinção já não é efetuada dessa forma, pois consegue-se produzir raios-X mais energéticos do que muitos raios γ (como nos aparelhos médicos de radiografia). A distinção entre esses tipos de radiação eletromagnética é efetuada através da sua proveniência: os raios-X são produzidos por excitação dos elétrons de camadas atômicas interiores para níveis energéticos mais elevados e posterior regresso ao estado fundamental (libertação de energia sob a forma de raios-X), enquanto a radiação γ provém do núcleo atômico, pois após a emissão de partículas α ou β é frequente o núcleo ficar com um excesso de energia, que é libertada sob a forma de radiação γ (LIMA, 2014).

A radiação ultravioleta foi descoberta em 1801 pelo cientista alemão Johan Ritter, que percebeu uma forma invisível de luz, além do violeta capaz de oxidar haletos de prata, chamada de luz ultravioleta, no fim do século XIX. A fonte natural de luz UV-C vem do sol. As fontes artificiais são chamadas de lâmpadas UV, nas quais a luz UV é gerada pela aplicação de uma diferença de potencial que gera uma descarga elétrica dentro de um tubo de quartzo contendo

uma mistura de gás (mercúrio ou xênon), o que excita esses átomos. Estes, ao voltarem ao estado original de energia, emitem luz em um comprimento de onda de 100 nm a 400 nm e a luz é emitida pela descarga de gás em comprimentos de onda dependentes da sua composição elementar e da excitação, ionização e energia cinética desses elementos (KOUTCHMA; ORLOWSKA; ZHU, 2012).

A luz UV emitida por uma fonte é expressa em watts (W) e a densidade de irradiação é expressa em watts por metro quadrado (W/m²). Para a ação germicida, a dose é importante. A dose é a densidade de irradiação multiplicada pelo tempo (t) expressa em segundos e em joules por metro quadrado (J/m²) (1 joule é 1W/s¹) (PHILIPS, 2006).

Essa radiação tem pontos positivos, como: não gerar subprodutos indesejáveis, ou resíduos químicos, e não causar alterações sensoriais. Devido ao baixo grau de penetração é mais eficiente sobre superfícies ou materiais transparentes, como ar, água e polietileno. A aplicação deve ser feita diretamente sobre o alvo (GUERRERO-BELTRÁN; BARBOSA-CÁNOVAS, 2004).

Uma das maiores desvantagens da radiação UV-C envolve seu baixo poder de penetração. Os microrganismos a serem inativados devem ser expostos diretamente à radiação, ou seja, não devem estar protegidos por sólidos (partículas de pó). Por outro lado, essa baixa penetração de UV-C em sólidos também o torna adequado para a descontaminação de superfícies como materiais de embalagens, frascos, garrafas, tampas e invólucros (LOPEZ-MALO; PALOU, 2004).

A luz ultravioleta (UV) é uma porção do espectro eletromagnético que varia de 100 nm a 400 nm. É subdividida em UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm), UV-C (200-280 nm), conhecido como intervalo germicida, uma vez que inativa efetivamente microrganismos; e UV de vácuo (100-200 nm), que pode ser absorvido por quase todas as substâncias e, assim, pode ser transmitido apenas no vácuo (GUEDES *et al.*, 2009; KOUTCHMA, 2009). A energia de um fóton depende da frequência da radiação descrita na Equação 2.1:

$$E = h \cdot \nu \tag{2.1}$$

em que:

E = energia em erg

ν = frequência em Hertz

h = constante de Planck = 6,6256 x 10⁻²⁷ ergs

Em termos de fóton (λ) tem-se a Equação 2.2:

$$E = h \cdot \nu \text{ e } \nu = c/\lambda \text{ e } E = h \cdot c/\lambda \quad (2.2)$$

Assim, um fóton de alta frequência (curto λ) é mais energético do que um de baixa frequência (longo λ) (SILVA, 2015). Na Tabela 2.1 são descritas as faixas de comprimento de onda das diferentes radiações UV e suas características.

Tabela 2.1 - Característica da luz ultravioleta.

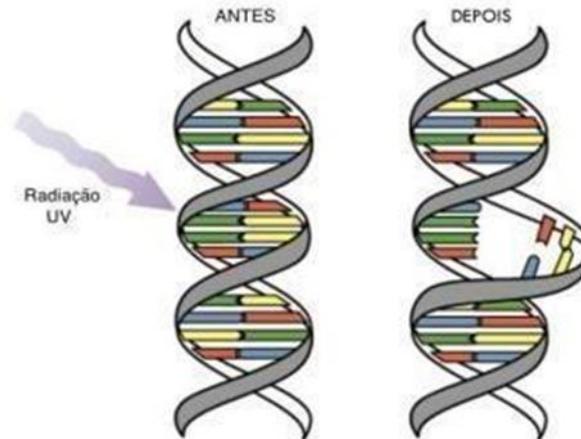
| Tipo de UV | Comprimento de onda | Intervalo de comprimento de onda (nm) | Características |
|------------|---------------------|---------------------------------------|--|
| A | Longo | 320 a 400 | Alterações na pele humana (Bronzeamento) |
| UV- B | Médio | 280 a 320 | Queimadura da pele (câncer) |
| UV – C | Curto | 200 a 280 | Faixa germicida (microrganismos) |
| UV-V | | 100-200 | Região de UV de vácuo |

Fonte: Guedes *et al.* (2009).

No comprimento de onda germicida (200 a 280 nm), a radiação UV-C é suficiente para causar deslocamento físico de elétrons e quebra de ligações no ácido desoxirribonucleico (DNA) dos microrganismos. Isso altera seu metabolismo e reprodução, ou seja, a injúria aos sistemas de reprodução das células as leva à morte (GUERRERO-BELTRÁN; BARBOSA-CÁNOVAS, 2004). Como a composição de DNA varia entre espécies, existe uma faixa de pico de absorção de UV-C (GUEDES *et al.*, 2009).

Segundo Cutler e Zimmerman (2011), o mecanismo de inativação microbiana estabelecido por exposição à luz UV-C é a formação de dímeros de DNA. A radiação promove a quebra das ligações entre as bases nitrogenadas e a pronta união entre as bases adjacentes (FIGURA 2.2), ou próximas entre si na mesma fita, por ocasião de uma dobra na cadeia. A estabilidade dessa nova ligação faz com que as duas fitas do DNA percam permanentemente o contato entre si nos pontos onde os dímeros são formados, prejudicando a codificação de RNA, comprometendo as funções da célula ainda em interfase (interfase entre a mitose e a meiose, é o período do ciclo celular em que a célula aumenta o seu volume, tamanho e número de organelas) e impedindo o processo de replicação do DNA, causando morte celular (CUTLER; ZIMMERMAN, 2011).

Figura 2.2 - Representação da radiação UV no DNA dos microrganismos.



Fonte: Infralight (2008).

O fenômeno de transferência de luz UV é definido pelas características de emissão da fonte UV, além de considerar o envelhecimento da lâmpada a longo prazo e a absorção do produto. Conseqüentemente, o desempenho de um sistema UV depende da correspondência correta dos parâmetros da fonte UV com as demandas da aplicação UV. As fontes de UV comercialmente disponíveis incluem lâmpadas de mercúrio de baixa e média pressão (LPM e MPM), lâmpadas de excimer (EL), lâmpadas pulsadas (PL) e diodos emissores de luz (LED). LPM e EL são fontes monocromáticas, enquanto a emissão de MPM e PL é policromática. (KOUTCHMA; ORLOWSKA; ZHU, 2012).

Nas lâmpadas germicidas convencionais, de baixa pressão de vapores de mercúrio, a intensidade da radiação UV está na faixa de $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ a $1.000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Já em lâmpadas de alta pressão a intensidade de emissão da radiação UV está na faixa de 100.000 a $1.000.000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Contudo, a eficiência operacional das lâmpadas germicidas depende da temperatura do meio e da movimentação do ar (SHECHMEISTER, 1991). As lâmpadas germicidas comerciais são desenvolvidas, geralmente, para trabalhar a 27°C . A distância da fonte geradora de radiação ultravioleta à superfície de atuação é um outro fator a ser considerado, uma vez que a intensidade luminosa apresenta correlação inversa com o quadrado da distância (SHECHMEISTER, 1991).

2.5.1 Radiações ionizantes

Yim *et al.* (2015) avaliaram efeitos combinados da irradiação por feixe de elétrons e maturação da carne (*Semitendinosus*). As amostras irradiadas na dose de 0 ou 2 kGy foram mantidas e analisadas quanto ao crescimento microbiano, valores de cisalhamento, cor da carne

e compostos de sabor relacionados a nucleotídeos a diferentes temperaturas de maturação (2, 10 ou 25°C) por 8 dias. Como resultados obtiveram que a irradiação com EB foi eficaz para reduzir o risco de patógenos alimentares da carne bovina e pode ser usada para reduzir o tempo de maturação e que a maturação em altas temperaturas (10°C, 25°C) acelerou a amaciamento da carne irradiada.

Yim *et al.* (2019) verificaram o efeito da irradiação por feixe de elétrons combinadas e maturação a temperatura mais elevadas na de carne de porco, cujas propriedades microbiológicas e físico-químicas foram investigadas. As amostras de lombo de porco foram irradiadas com 0 ou 2 kGy, embaladas a vácuo e atribuídas aleatoriamente a uma temperatura de maturação (2°C, 10°C, ou 25°C). Os valores de força de cisalhamento de carne irradiada após a maturação durante 2 e 4 d a 25°C foi mais baixa do que aqueles com temperatura de 2°C. As amostras irradiadas a 2°C tiveram menor perda após o cozimento 2 e 8 dias de maturação, em comparação com outras temperaturas. As amostras irradiadas maturadas a 10°C e 25°C para 8 dias teve valores de TBARS significativamente mais elevados, houve um aumento dos parâmetros, a^* e b^* em amostras irradiadas há 2°C, mas a irradiação causou alterações insignificantes na cor da carne.

2.5.2 Radiação UV-C

Kim, Lee e Eun (2014) investigaram os efeitos da radiação ultravioleta (UV) em relação ao efeito inibidor do crescimento microbiano na vida útil da carne bovina de gado coreano (Hanwoo) antes do armazenamento refrigerado. As amostras receberam radiações UV (4,5 mW/cm²) por 0, 5, 10, 15 e 20 minutos. Observaram que a carne exposta por 20 minutos mostrou populações de bacterianas mesofílicas e psicrotróficas significativamente reduzidas na extensão de aproximadamente 3 ciclos logarítmicos, em comparação com a carne bovina não irradiada. A irradiação com UV mostrou os efeitos mais significativos de inibição de crescimento em bactérias mesofílicas e psicrotróficas. As bactérias coliformes e Gram-negativas também foram reduzidas em um ciclo logarítmico.

Os resultados mostram que o tempo de irradiação UV e o efeito inibitório foram proporcionais. Esses resultados verificaram que a radiação UV antes da refrigeração pode efetivamente reduzir o número de bactérias patogênicas na superfície da carne e melhorar a segurança microbiana da carne.

De Carli *et al.* (2015), em seus estudos com o objetivo de avaliar o efeito de métodos combinados utilizando diferentes doses e concentrações de irradiação UV-C, ácidos orgânicos,

solução salina, na vida útil carne suína refrigerada 2°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) e com amostras de carne de trinta e seis suínos realizando as análises microbiológicas de *Salmonella sp*, bactérias aeróbias mesófilas, psicrotróficas e coliformes a 35 e 45°C e pH nos dias 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30, obtiveram resultados de que o processo de irradiação UV-C, associados a ácidos orgânicos e solução salina acidificada diminuiu significativamente a contagem de bactérias aeróbias mesófilas e psicrotróficas, nas amostras tratadas em relação às amostras controle, aumentando a vida útil em 15 dias.

O pH das amostras tratadas foi significativamente menor que as amostras controle, influenciando na eliminação das bactérias coliformes durante todo o período de armazenamento. *Salmonella* foi encontrada somente nas amostras controle, nos dias 0, 5 e 15.

Os resultados apresentados indicam que a utilização de combinações de ácidos orgânicos e radiação UV-C foram eficientes no controle da microbiota presente na carne suína refrigerada, aumentando com isso a vida útil em 15 dias.

Em trabalho realizado por Hassan *et al.* (2015), submetendo diferentes amostras de carne fresca com 24 horas *post-mortem* de um gado nativo egípcio (*Baladi Bullocks*) com aproximadamente 22 meses e 430 Kg de peso vivo a diferentes doses de irradiação UV-C de 12,7, 25,5 e 38,2 Ws/cm², obteve-se a irradiação UV-C eficiente para o aumento do tempo de validade das amostras analisadas nos tempos de 10, 15 e 20 dias nas respectivas doses.

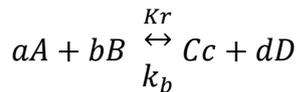
Foram analisadas também as propriedades químicas da carne bovina irradiada por UV-C, como: teor de umidade diminuindo de 77,63% para 74,8%, 73,82% e 73,6%; teor proteico de 21,31% para 19,61%, 19,22% e 18,15%; teor de colágeno de 2,29% para 1,7%, 1,58% e 1,55%, enquanto que o teor de gordura 2,87% para 2,67%, 2,53% e 2,41%; enquanto isso, houve aumento dos valores de pH de 5,86 para 6,73, 6,79 e 6,74; a oxidação lipídica de 0,73 para 1,86, 2,45 e 2,53 mg malonaldeído/kg durante os dias de período de armazenamento a frio para as doses de 2,7, 25,5 e 38,2 Ws/cm², respectivamente. As características físicas de cozimento foram decrescendo de 46,44 para 35,21, 36,28 e 35,39 enquanto força de cisalhamento foram de 2,86 para 1,01, 0,93, e 1,22 kgf e retenção de água diminuiu de 77,69, 73,61, 73,51 e 72,91% durante os dias de período de armazenamento a frio para controle, 12,7, 25,5 e 38,2 Ws/cm², respectivamente.

2.6 Cinética da qualidade de alimentos

A temperatura tem um papel importante na qualidade dos alimentos, pois mais e maiores alterações na qualidade dos alimentos podem ocorrer durante armazenamento sob maiores

temperaturas (MAN; JONES, 1994).

O uso da abordagem cinética para modelar alterações na qualidade dos alimentos foi sugerido por Kwolek e Bookwalter (1971). A cinética apresenta uma relação de *Arrhenius* que descreve o efeito da temperatura sobre as constantes de taxa de reação (SAGUY; KAREL, 1980). A cinética química é um estudo que envolve as taxas e os mecanismos para avaliar como uma espécie química (reagente) se converte em outra espécie química (produto). A taxa de reação de um produto químico é determinada pela massa do produto gerado ou do reagente consumido por unidade de tempo e as taxas de reações podem ser determinadas pelo monitoramento da concentração dos reagentes ou dos produtos das reações ao longo do tempo (MAN; JONES, 1994). Desse modo, de uma forma geral um modelo cinético pode ser obtido quando se considera a seguinte reação química:



em que A e B são reagentes, C e D são produtos, a , b , c , d são coeficientes estequiométricos dos reagentes e dos produtos, e K_r e K_b são constantes de taxa de reação direta e inversa.

Para que se tenha uma variação na mudança da taxa do reagente A , por exemplo, as mudanças seriam dadas pela Equação 2.3:

$$-\frac{d[A]}{dt} = k_r[A]^\alpha[B]^\beta - k_b[C]^\gamma[D]^\delta \quad (2.3)$$

em que $[A]$, $[B]$, $[C]$, $[D]$ são as concentrações de reagentes e produtos (massa por volume unitário).

Desse modo, como há consumo (redução) do reagente, a constante de taxa inversa será menor que a constante de taxa de reação direta. Nesse caso, a taxa de reação pode ser representada pela Equação 2.4:

$$-\frac{d[A]}{dt} = k' [A]^n \quad (2.4)$$

em que k' é uma pseudo constante de taxa de reação e n é a ordem de reação.

Como os alimentos possuem elevada complexidade, é difícil determinar os reais mecanismos das reações intermediárias que levam a uma alteração específica na qualidade. Uma expressão geral usada para um atributo de qualidade pode ser descrita pela Equação 2.5:

$$\pm \frac{dQ}{dt} = k'Q^n \quad (2.5)$$

em que \pm se refere à diminuição ou ao aumento do valor do atributo Q , k' é a pseudo constante de taxa de reação, n é a ordem de reação.

Considerando que os fatores ambientais são constantes, tais como a temperatura, umidade relativa, incidência de luz e concentração de outros componentes, a Equação 2.6 segue a enésima ordem da reação e pode ser reescrita especificamente para explicar a redução de um atributo de qualidade com o tempo:

$$-\frac{dQ}{dt} = k'Q^n \quad (2.6)$$

Existem alguns diferentes tipos de ordem n das reações. A reação de ordem zero é útil para descrever a degradação enzimática, o escurecimento não-enzimático e a oxidação lipídica que causa o aparecimento de sabor rançoso. A reação de primeira ordem ocorre quando um atributo de qualidade (Q) tem uma diminuição exponencial ao longo do tempo. À medida que o tempo passa, o atributo de qualidade diminui, assim como a taxa de reação. Entre os diversos modelos primários encontrados na literatura, o modelo de Weibull é um dos mais utilizados por causa da vantagem de maiores simplicidades matemática e flexibilidade (PELEG, 2006). Por exemplo, o modelo de Weibull pode ser utilizado para descrever curvas de micro-organismos sobreviventes que possuem variação no comportamento de acordo com a temperatura do processo (ZIMMERMANN, 2012). Além disso, o modelo de Weibull assume que as células da população possuem diferentes resistências e a curva de sobrevivência é uma forma cumulativa da distribuição letal.

No modelo de Weibull, a direção da concavidade da curva de sobreviventes é uma manifestação das diferentes vias de inativação dos micro-organismos. Curvas com concavidades voltadas para baixo ($\beta > 1$) retratam uma população que progressivamente diminui, indicando que o acúmulo dos danos às células leva ao aumento de sua sensibilidade, sendo necessário um menor tempo para a destruição da mesma fração de micro-organismos com o

passar do tempo. Concavidades voltadas para cima ($\beta < 1$) mostram maior resistência ou habilidade do micro-organismo de se adaptar a um tratamento estressante, sendo necessário um maior tempo para a destruição da mesma fração de micro-organismos com o passar do tempo (ARAGAO *et al.*, 2007; PELEG, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Carnes e Derivados (LabCarnes) do Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais, em duas etapas: a primeira foi o estudo da cinética de amaciamento (índice de fragmentação, perda de massa por cozimento e força de cisalhamento) e de desenvolvimento microbiológico (contagem microbiana total) em carnes bovinas, frescas ou congeladas e descongeladas, embaladas a vácuo e maturadas sob diferentes temperaturas (1, 7, 14 e 20°C) por 0, 2, 4 e 6 dias, as análises microbiológicas foram realizadas, em triplicata, no tempo zero para as todas as temperaturas de maturação e após 2 e 4 dias de maturação para as temperaturas de 1 e 7°C e após 1 e 2 dias de maturação para as temperaturas de 14 e 20°C. A segunda foi o estudo da cinética da inativação microbiológica (contagem microbiana total e do micro-organismo *Brochothrix thermosphacta* inoculado), pelo modelo de Weibull, em carnes embaladas a vácuo submetidas a diferentes doses de radiação UV-C (13,3 a 66,6 mJ/cm²).

3.1 Experimento 1 – Cinética da qualidade durante a maturação

3.1.1 Avaliação do amaciamento

Oito contrafilés (músculo *Longissimus lumborum*, LL), esquerdo e direito, de quatro bovinos da raça Nelore foram obtidos 48 horas *post mortem* em um matadouro-frigorífico com Inspeção Federal no estado de Minas Gerais. Em seguida, os contrafilés, esquerdo e direito, de cada animal foram aleatorizados nos dois tratamentos: controle, com maturação sem congelamento prévio; e congelado, com congelamento em congelador comercial (-18°C) por 24 horas, seguido por descongelamento em geladeira comercial (4°C) por 24 horas antes da maturação.

Cada contrafilé foi cortado transversalmente em bifés com 2,5 cm de espessura e, em seguida, cada bife foi cortado em pedaços de 4 x 4 x 2,5 cm de carne magra, sem gordura, vasos sanguíneos e tecido conectivo aparentes, totalizando 48 amostras, que foram individualmente pesadas e embaladas a vácuo (BS420; R. Baião, Ubá, MG, Brasil) em embalagens de náilon-polietileno (espessura de 18 µm). Essas amostras foram aleatorizadas e maturadas sob quatro temperaturas de maturação (1, 7, 14 e 20°C) em diferentes câmaras climáticas (modelo EL202; EletroLab, São Paulo, SP, Brasil) por 0, 2, 4 e 6 dias. Após cada tempo de maturação, uma

amostra foi usada para a avaliação do índice de fragmentação (IF) e duas amostras foram usadas para a avaliação da perda de massa no cozimento (PMC) e da força de cisalhamento (FC).

O IF foi determinado, em triplicata, conforme metodologia proposta por Davis *et al.* (1980) para amostras congeladas, com pequenas modificações. Dez gramas de carne em cubos, ainda congelada, foram homogeneizadas (Turratec TE 102; TECNAL, Piracicaba, SP, Brasil) em 50 mL de solução de sacarose/KCl refrigerada (4°C) a velocidade de 15.000 rpm por 40 s.

O homogenato obtido foi filtrado em uma tela de náilon de 250 µm, previamente seca e pesada (P_I). O conjunto foi colocado sobre um papel filtro, previamente seco, à temperatura ambiente por 10 minutos. Em seguida, o conjunto (filtrado + tela) foi novamente pesado (P_F). O IF foi calculado como $100 \times (P_F - P_I)$. Menor valor de IF indica maior proteólise da estrutura miofibrilar.

A PMC e a FC foram determinadas conforme metodologia proposta por Rodrigues *et al.* (2020). As amostras, ainda embaladas, foram mantidas sob refrigeração a 4°C por 1 hora para a estabilização da sua temperatura, e, em seguida, cozidas em banho-maria a 80°C até a temperatura interna atingir 71°C. Após o cozimento, as amostras foram refrigeradas a 4°C por 1 hora, retiradas da embalagem, secas com papel toalha e pesadas. A PMC foi calculada como a diferença entre o peso inicial (antes da embalagem) e o peso final (após o cozimento) dividida pelo peso inicial, sendo expressa em percentagem. Em seguida, as bordas laterais das amostras foram descartadas e dois pedaços retangulares de 3,5 x 2,5 x 1 cm foram obtidos paralelamente à direção das fibras com uso de um molde e cisalhados perpendicular ao comprimento (corte a um ângulo de 45° das fibras musculares) por uma lâmina plana com velocidade de 3,33 mm/s em um texturômetro *TA.XT plus* (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK). A FC foi registrada como a força máxima (N) necessária para obter cisalhamento completo da carne.

3.1.2 Avaliação microbiológica

Contrafilés aleatorizados (músculo *Longissimus lumborum*, LL) de três bovinos da raça Nelore também foram obtidos 48 horas *post mortem* em um matadouro-frigorífico com Inspeção Federal no estado de Minas Gerais. Em seguida, os contrafilés de cada animal foram divididos ao meio e aleatorizados nos tratamentos controle e congelado. Para cada tratamento, 36 pedaços de aproximadamente 25 g de carne foram obtidos assepticamente, embalados a vácuo (BS420; R. Baião, Ubá, MG, Brasil) em embalagens de náilon-polietileno (espessura de 18 µm) e aleatorizados em quatro temperaturas de maturação (1, 7, 14 e 20°C) em câmaras climáticas (modelo EL202; EletroLab, São Paulo, SP, Brasil). As análises microbiológicas

foram realizadas, em triplicata, no tempo zero para as todas as temperaturas de maturação e após 2 e 4 dias de maturação para as temperaturas de 1 e 7°C e após 1 e 2 dias de maturação para as temperaturas de 14 e 20°C.

Para a determinação da contagem microbiana total, as embalagens foram assepticamente abertas, adicionadas de 225 mL de água peptonada 0,1% e homogeneizadas (490 golpes/min) por 5 min em *Stomacher* (*Metroterm*, Brasil). Diluições decimais 10^6 sucessivas foram preparadas com água peptonada 0,1% estéril, plaqueadas em meio *Plate Count Ágar* (PCA) e incubadas invertidas em estufa a temperatura de 37°C por 48 horas. A contagem microbiana total foi expressa em logaritmo de unidades formadoras de colônias (UFC) por grama (log UFC/g).

3.1.3 Análise estatística e modelagem

O experimento foi disposto em um delineamento em blocos casualizados (DBC), em que o bloco foi constituído por cada animal (4 repetições para a avaliação do amaciamento e 3 repetições para a avaliação microbiológica), em um esquema de parcela subdividida, com o fatorial 2 (pré-tratamentos) x 4 (temperaturas de maturação) na parcela e os tempos de maturação na subparcela. Análise de Variância e, quando necessário, teste de *Tukey* foram realizados no *software Statistica® 8.0* (*StatSoft Inc., Tulsa, USA*) com nível de significância de 5%.

Considerando que a redução do IF e da FC ao longo da maturação pode ser caracterizada por uma equação exponencial (AROEIRA *et al.*, 2016; LANARI; BEVILACQUA; ZARITZKY, 1987), uma equação cinética de primeira ordem (Eq. 3.1) foi usada para a avaliação do IF, PMC e FC em função do tempo de maturação para cada combinação de pré-tratamento e temperatura de maturação.

$$Q = Q_0 \exp(kt) \quad (3.1)$$

em que Q_0 e Q são, respectivamente, os índices de qualidade (PMC, IF e FC) inicial e no tempo t (em dias), e k é a constante da taxa de reação, que é dependente do pré-tratamento e da temperatura de maturação.

Os efeitos do tratamento e de maturação sobre a multiplicação microbiana foram avaliados pela taxa de crescimento específico (μ), considerando que as bactérias contaminantes

se encontrariam na fase logarítmica de desenvolvimento, por meio de uma equação de primeira ordem (Eq. 3.2).

$$N = N_0 \exp(\mu t) \quad (3.2)$$

em que N_0 e N são, respectivamente, a população microbiana inicial e no tempo t (em dias), e μ é a taxa de crescimento específico.

As equações 3.1 e 3.2 foram ajustadas por meio da regressão linear de $\ln(Q/Q_0)$ ou $\ln(N/N_0)$ pelo tempo para estimar as constantes das taxas de reação (k) e de crescimento (μ). Em seguida, a equação do modelo de *Arrhenius* (Eq. 3.3) foi usada para avaliar o efeito da temperatura de maturação sobre k e μ (MAN; JONES, 1994).

$$K = K_{ref} \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad \text{ou} \quad \mu = \mu_{ref} \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3.3)$$

em que T é a temperatura absoluta de maturação, K e K_{ref} ou μ e μ_{ref} são as constantes da taxa de reação ou crescimento (1/dia), respectivamente, na temperatura T e de referência (273,15 Kelvin), E_a é a energia de ativação (kJ/mol, estimada pela inclinação E_a/R da regressão linear de $\ln K$ por $1/T$) e R é a constante universal dos gases (8,3144 J/mol×Kelvin).

3.2 Experimento 2 – Cinética da inativação bacteriana por UV-C

Amostras de três contrafilés (músculos *Longissimus lumborum*, LL) de bovinos da raça Nelore foram obtidas 48 horas *post mortem* diretamente de um matadouro-frigorífico com Inspeção Federal no estado de Minas Gerais.

3.2.1 Microrganismo teste

Cepas de *Bochotrix Thermosphacta* (ATC11509) foram obtidas do Laboratório de Microbiologia de Alimentos, do DCA, da UFPA. A cultura foi cultivada em caldo *trypticase soy broth* (TSB; Oxoid/Phadia Diagnósticos Ltda, São Paulo, São Paulo, Brasil) a 37°C por 48 horas. A suspensão celular obtida foi centrifugada (SL-5AM, Spinlab, São Paulo, Brasil) a 7.000 g por 4 minutos e o *pellet* obtido foi ressuspensão em igual volume de solução salina homogeneizada em vórtex. Em seguida, a turbidez foi mensurada a 560 nm em

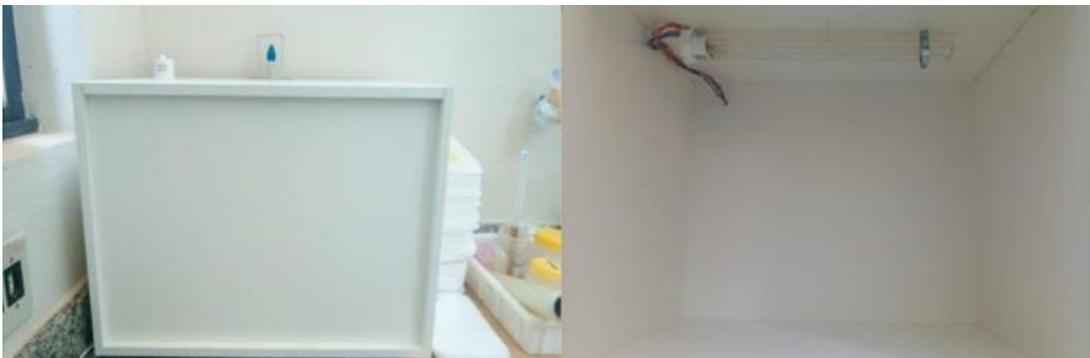
espectrofotômetro (Thermo Genesya 10 UV-VIS, Thermo Scientific, Nova Analítica Importação e Exportação Ltda, São Paulo, São Paulo, Brasil) e a concentração celular foi determinada por meio da escala Nefelométrica de *McFarland* (SOUZA, 2018).

3.2.2 Tratamento por UV-C

Doze pedaços de aproximadamente 25 g de carne foram obtidos assepticamente e aleatorizados em dois grupos de seis amostras. As amostras do primeiro grupo foram inoculadas assepticamente com 1 mL da suspensão contendo *Bochotrix thermosphacta* (10^6 UFC/mL) em uma das superfícies com auxílio de uma alça de *Drigalski* (a superfície inoculada foi identificada). As amostras do segundo grupo, que não foram inoculadas, foram utilizadas para a contagem microbiana total. Em seguida, as amostras de ambos os grupos foram individualmente embaladas a vácuo (BS420; R. Baião, Ubá, MG, Brasil) em embalagens de náilon-polietileno (espessura de 18 μm) e mantidas sob refrigeração (4°C) em câmaras climáticas (modelo EL202; EletroLab, São Paulo, SP, Brasil) até a aplicação dos tratamentos.

A câmara de radiação (FIGURA 3.1) foi composta por uma lâmpada germicida ultravioleta com comprimento de onda menor que 280 nm (UV-C) (*Puritec HNS-L 36 W 2G11*; *OSRAM* Comércio de Soluções de Iluminação Ltda, Barueri, SP, Brasil), com comprimento de onda predominante a 254 nm e fluência média de 111 W/cm² a uma distância de 15 cm, disposta em uma caixa de madeira de dimensões de 40 cm de altura x 40 cm de profundidade x 60 cm de largura.

Figura 3.1 - Fotos (externa e interna) da câmara de irradiação UV-C utilizada no experimento.



Fonte: Do autor (2019).

A lâmpada UV-C foi previamente ligada por 10 minutos para estabilizar a sua intensidade. As amostras embaladas foram aleatoriamente distribuídas (em pares) imediatamente abaixo e a uma distância de 15 cm da lâmpada e irradiadas por 2, 4, 6, 8 e 10

minutos (doses de 13,3 a 66,6 mJ/cm²). A superfície inoculada foi posicionada para cima de forma que a irradiação ocorresse sobre ela. A temperatura média no interior da câmara durante o processo foi de 2,8°C.

As embalagens das amostras controle (não-irradiadas) e irradiadas com UV-C foram assepticamente abertas, adicionadas de 225 mL de água peptonada 0,1% e homogeneizadas (490 golpes/min) por 5 minutos em *Stomacher* (Metroterm, Brasil). Diluições decimais 10⁶ sucessivas foram preparadas usando água peptonada 0,1% estéril e plaqueadas em meio *Tryptic Soy Agar* (TSA), para contagem de *B. thermosphacta*, e em ágar para contagem padrão (PCA) para a contagem microbiana total. As placas foram incubadas a 37°C por 48 horas e as contagens foram expressas em log UFC/g.

3.2.3 Modelagem

As doses de tratamento (mJ/cm²) e o logaritmo das frações de sobrevivência (N/N_0) foram usadas para ajustar o modelo de Weibull (Eq. 3.4) no *software MicroFit* (SIQUEIRA *et al.*, 2014) a fim de descrever a cinética de inativação das contagens microbiana total e de *B. thermosphacta*, assumindo que as diferentes células em uma população possuem resistências diferentes e que a curva de sobrevivência é a forma cumulativa de distribuição de agentes letais (SILVA *et al.*, 2021). A capacidade dos modelos de representar a inativação foi avaliada por meio da raiz do erro quadrático médio (RMSE), do coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) e dos fatores de viés e precisão determinados conforme descritos por Gonçalves *et al.* (2018).

$$\log\left(\frac{N}{N_0}\right) = -kd^\beta \quad (3.4)$$

em que N_0 e N representam, respectivamente, as contagens microbianas total ou de *B. thermosphacta* (UFC/g) inicial e após a irradiação por UV-C, d é a dose de radiação UV-C (mJ/cm²), k é o parâmetro de escala (constante da taxa de inativação à potência β), e β é o parâmetro de forma que descreve a concavidade ($\beta < 1$) ou convexidade ($\beta > 1$) da curva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cinética da qualidade durante a maturação

4.1.1 Avaliação do amaciamento

Não houve ($P>0,05$) interação entre os fatores para índices de fragmentação (IF) e perda de massa por cozimento (PMC), enquanto a força de cisalhamento foi afetada ($P<0,05$) pela interação entre pré-tratamento e tempo de maturação (TABELA 4.1).

Tabela 4.1 - Efeitos (média \pm desvio-padrão) do pré-tratamento (P) e da temperatura (T) e tempo (D) de maturação no índice de fragmentação (IF), perda de massa por cozimento (PMC) e força de cisalhamento (FC) em músculos (*L. lumborum*) de bovinos Nelore.

| Efeitos | Fonte de Variação | IF | PMC (%) | FC (N) |
|----------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Pré-tratamento (P) ¹ | Controle | 187 \pm 71 ^x | 21,01 \pm 5,02 | 159,32 \pm 44,03 |
| | Congelado | 176 \pm 62 ^y | 21,08 \pm 6,15 | 138,29 \pm 35,47 |
| Temperatura de maturação (T), °C | 1 | 200 \pm 66 ^a | 19,33 \pm 5,35 ^b | 161,88 \pm 38,72 |
| | 7 | 184 \pm 66 ^b | 20,58 \pm 5,63 ^b | 152,24 \pm 33,20 |
| | 14 | 176 \pm 65 ^{bc} | 21,14 \pm 5,83 ^{ab} | 145,96 \pm 42,55 |
| | 20 | 165 \pm 66 ^c | 23,18 \pm 5,08 ^a | 136,90 \pm 47,94 |
| Tempo de maturação (D), dias | 0 | 275 \pm 39 ^a | 20,01 \pm 6,70 ^c | 184,86 \pm 31,29 |
| | 2 | 193 \pm 41 ^b | 19,14 \pm 5,42 ^{bc} | 153,43 \pm 37,02 |
| | 4 | 146 \pm 31 ^c | 22,41 \pm 5,09 ^{ab} | 132,83 \pm 36,19 |
| | 6 | 117 \pm 23 ^d | 23,22 \pm 3,51 ^a | 122,50 \pm 32,95 |
| $Pr > F^2$ | P | 0,026 | 0,911 | <0,001 |
| | T | <0,001 | 0,024 | 0,001 |
| | D | <0,001 | 0,001 | <0,001 |
| | P \times T | 0,353 | 0,769 | 0,332 |
| | P \times D | 0,934 | 0,760 | 0,004 |
| | T \times D | 0,108 | 0,703 | 0,230 |
| | P \times T \times D | 0,912 | 0,920 | 0,518 |

¹ Controle = amostras não-congeladas e maturadas; e Congelado = amostras congeladas (-18°C/24 h), descongeladas (4°C/24 h) e maturadas.

² Probabilidades significativas ($P < 0,05$) foram marcadas em negrito.

^{x,y} Médias seguidas por letras diferentes, na coluna para as doses de irradiação, diferem ($P < 0,05$) pelo teste F.

^{a-d} Médias seguidas por letras diferentes, na coluna dentro de temperatura ou tempo de maturação, diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Do autor (2021).

Os valores da constante de taxa de reação (k) e da energia de ativação (E_a) do modelo de Arrhenius foram calculados para verificar as diferenças nas alterações de IF, PMC e FC ao longo do tempo de maturação para cada combinação de pré-tratamento e temperatura de maturação (TABELA 4.2).

Tabela 4.2 - Constante de taxa de reação (k) e energia de ativação (E_a) do modelo de Arrhenius para os efeitos do pré-tratamento e da temperatura de maturação no índice de fragmentação (IF), perda de massa por cozimento (PMC) e força de cisalhamento (FC) de músculos (*L. lumbrorum*) de bovinos Nelore.

| Característica | Pré-tratamento | Temperatura de maturação (°C) | K (/dia) | R^2 | E_a (kJ/mol) | R^2 |
|----------------|----------------|-------------------------------|------------|-------|----------------|-------|
| IF | Controle | 1 | 0,1058 | 0,94 | 23,83 | 0,93 |
| | | 7 | 0,1463 | 0,91 | | |
| | | 14 | 0,1717 | 0,97 | | |
| | | 20 | 0,1898 | 0,94 | | |
| | Congelado | 1 | 0,1376 | 0,94 | 13,30 | 0,99 |
| | | 7 | 0,1485 | 0,95 | | |
| | | 14 | 0,1650 | 0,95 | | |
| | | 20 | 0,1768 | 0,97 | | |
| PMC (%) | Controle | 1 | 0,0096 | 0,02 | 64,57 | 0,85 |
| | | 7 | 0,0389 | 0,31 | | |
| | | 14 | 0,0456 | 0,76 | | |
| | | 20 | 0,0716 | 0,73 | | |
| | Congelado | 1 | 0,0042 | 0,01 | 85,73 | 0,75 |
| | | 7 | 0,0258 | 0,14 | | |
| | | 14 | 0,0494 | 0,26 | | |
| | | 20 | 0,0547 | 0,55 | | |
| FC (N) | Controle | 1 | 0,0348 | 0,84 | 47,46 | 0,84 |
| | | 7 | 0,0886 | 0,90 | | |
| | | 14 | 0,1171 | 0,81 | | |
| | | 20 | 0,1435 | 0,74 | | |
| | Congelado | 1 | 0,0442 | 0,74 | 24,99 | 0,96 |
| | | 7 | 0,0642 | 0,77 | | |
| | | 14 | 0,0750 | 0,68 | | |
| | | 20 | 0,0932 | 0,79 | | |

Fonte: Do autor (2021).

O IF foi menor ($P < 0,05$) nas amostras congeladas/descongeladas que nas amostras sem congelamento prévio antes da maturação (TABELA 4.1), indicando que houve maior fragmentação da estrutura miofibrilar após esse pré-tratamento (RAMOS; GOMIDE, 2007). Isso era esperado, pois o congelamento/descongelamento proporciona a inativação da calpastatina, que é o principal inibidor, favorecendo a atividade das calpaínas e, logo, a

fragmentação miofibrilar durante a maturação (AROEIRA *et al.*, 2016). Koohmaraie (1990) observou que a atividade da calpastatina reduz 55% com o armazenamento congelado (-70°C) por 6 semanas, enquanto a atividade da m- e μ -calpaínas não são afetadas, enquanto Ingolfsson e Dransfield (1991) observaram redução de 50% na atividade da calpastatina em carnes de cordeiro congeladas a -20°C por até 8 dias.

Assim como no presente trabalho, Aroeira *et al.* (2016) verificaram que a proteólise foi maior (menor IF) em carnes de Angus e Nelore maturadas após congelamento/descongelamento prévio. Rodrigues (2017) também observou maior proteólise (menor IF) em carnes bovinas maturadas após congelamento/descongelamento prévio. Grayson *et al.* (2014) relataram maior proteólise na carne bovina durante a maturação em razão do congelamento prévio.

Além disso, o congelamento também pode causar uma perda da integridade estrutural da carne em razão da formação de cristais de gelo intracelular que podem romper as estruturas físicas, fragmentando parte das miofibrilas, o que favoreceria a redução do IF (GRAYSON *et al.*, 2014; KOOHMARAIE, 1990). Esse efeito do congelamento pode ser observado pela redução no IF tanto em carne congelada após a maturação (LAGERSTEDT *et al.*, 2008; SHANKS; WULF; MADDOCK, 2002) quanto em carne congelada antes da maturação (AROEIRA *et al.*, 2016; CAROLINO *et al.*, 2009; GRAYSON *et al.*, 2014).

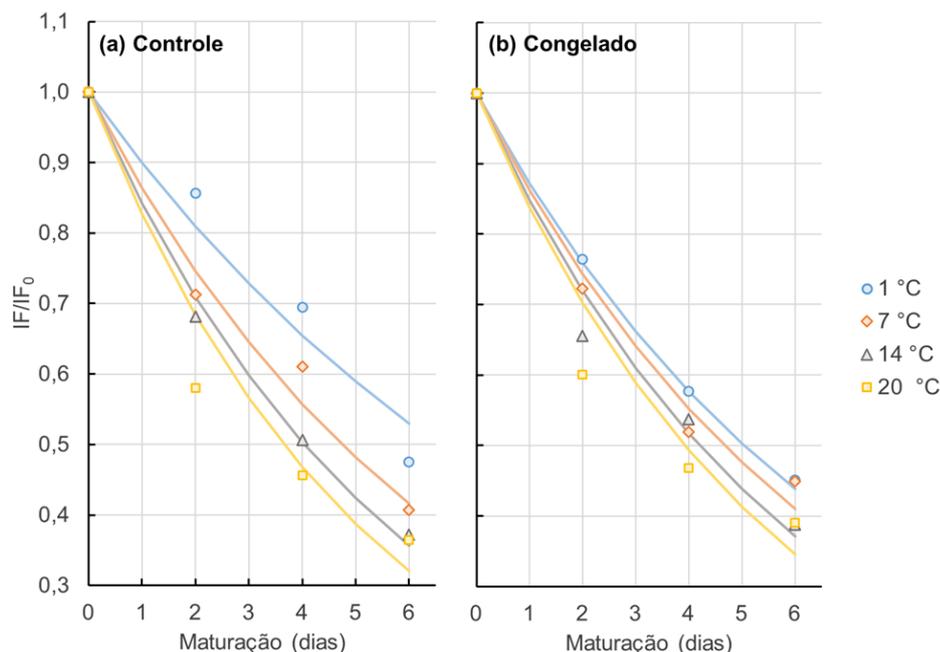
De maneira geral, o IF reduziu ($P < 0,05$), *i.e.*, houve maior proteólise da estrutura miofibrilar, com o aumento da temperatura de maturação (TABELA 4.2). A maior fragmentação miofibrilar (menor IF) nas carnes maturadas sob maiores temperaturas pode ser atribuída a um aumento da atividade das proteases (calpaínas e catepsinas) endógenas da carne, principalmente as calpaínas, em razão desse aumento da temperatura de maturação (HWAN; BANDMAN, 1989). Hwang, Devine e Hopkins (2003) demonstraram que a manutenção de músculos pré-rigor de ovinos sob altas temperaturas (até 35°C) induz uma maior ativação da μ -calpaína, resultando em maior degradação da calpastatina e das proteínas miofibrilares. Além disso, apesar das calpaínas serem as principais proteases envolvidas na maturação da carne, as catepsinas se tornam mais ativas durante a maturação sob altas temperaturas, aumentando assim a degradação miofibrilar (HWAN; BANDMAN, 1989).

Assim como no presente trabalho, Rodrigues (2017) observou maior taxa de fragmentação, *i.e.*, maior redução do IF na carne de bovinos Nelore maturadas sob maiores temperaturas (7 e 15°C). Kim *et al.* (2018) também verificaram que o IF reduziu ao longo do tempo de maturação, o que também foi afetado pela temperatura de maturação, com maiores taxas de fragmentação em carnes bovinas maturadas a 14°C que a 4°C. Lee, Sebranek e Parrish

Júnior (1996) relataram maior fragmentação miofibrilar na carne bovina submetida a temperaturas mais elevadas de maturação (2, 15 e 30°C).

O IF reduziu ($P < 0,05$), *i.e.*, houve maior degradação da estrutura miofibrilar, com o aumento do tempo de maturação (TABELA 4.1). Desse modo, o aumento da proteólise causado pelas maiores temperaturas de maturação também pode ser observado por meio dos modelos preditivos de primeira ordem de IF em função do tempo de maturação para os diferentes pré-tratamentos e temperaturas de maturação (FIGURA 4.1), o que é corroborado pelo aumento da taxa de reação (k) com o aumento da temperatura de maturação (TABELA 4.2). Além disso, também pode ser observado que o aumento da temperatura tem mais efeito no controle que no congelado, pois a amplitude (distância) entre as curvas de congelado é muito menor que a amplitude (distância) entre as linhas de controle. Isso é coerente com o maior aumento de k com a temperatura de maturação para o controle (0,1058 para 0,1898) que para o congelado (0,1376 para 0,1768).

Figura 4.1 - Predições das mudanças no índice de fragmentação (IF), em relação aos valores iniciais (IF₀), de músculos (*L. lumborum*) de bovinos Nelore.



Efeitos do pré-tratamento (a: controle; e b: congelado) e da temperatura de maturação (1, 7, 14 e 20°C), segundo o modelo de primeira ordem (Eq. 3.1) e os valores de k estimados (TABELA 4.2). Os pontos representam os valores médios observados.

Fonte: Do autor (2021).

A maior diferença (distância) entre as curvas de congelado e controle foi observada à temperatura de maturação de 1°C, com a curva de congelado mais inclinada que a curva do

controle (FIGURA 4.1), o que é corroborado pelo k de congelado ter sido maior que o controle à temperatura de maturação de 1°C (TABELA 4.2). A EA de IF obteve resultados menores para congelado, o que corrobora com resultados da Tabela 4.1 (menor IF para congelado).

Olivera *et al.* (2013) também observaram um aumento da taxa de reação (k) com o aumento da temperatura de maturação na carne bovina por meio de um modelo cinético de primeira ordem.

A PMC não foi afetada ($P>0,05$) pelo pré-tratamento. As proteínas miofibrilares são responsáveis pela retenção de água na carne, as quais precisam estar intactas (não-desnaturadas) para proporcionar uma alta capacidade de retenção de água. Quando acontece o congelamento, essas proteínas são rompidas causando uma menor capacidade de retenção de água devido a alteração na redistribuição e concentração de solutos dentro das fibras musculares (PETZOLD; AGUILERA, 2009).

Aroeira *et al.* (2016) observou esse efeito de menor PMC em carne congelada antes da maturação quando comparada com a carne fresca (não-congelada) maturada. Mas outros autores como Cohen (1984) e Stuby, Lamkey e Dolezal (1993), como neste trabalho também, não observaram efeito de congelamento prévio sobre a PMC da carne com diferenças significativas. No entanto, outros estudos mostraram que o congelamento prévio à maturação (CROUSE; KOOHMARAIE, 1990; GRAYSON *et al.*, 2014) ou o congelamento após a maturação (HERGENREDER *et al.*, 2013) proporcionaram carnes com maior PMC quando comparadas com carnes frescas (não-congelada) maturadas. A diferença encontrada nos trabalhos na capacidade de retenção de água pode ser devida às diferenças no tempo de armazenamento em congelamento.

A PMC foi maior ($P<0,05$) na carne maturada a 20°C que a 1 e 7°C, com PMC da carne maturada a 14°C sendo semelhante ($P>0,05$) a todas as anteriores. A temperatura usual no processo de maturação utilizada convencionalmente que é 1°C não teve uma diferença significativa quando comparadas às temperaturas de 7 e 14°C, sendo assim, temperaturas mais elevadas que a usual que é 1°C não causaram aumento na PMC.

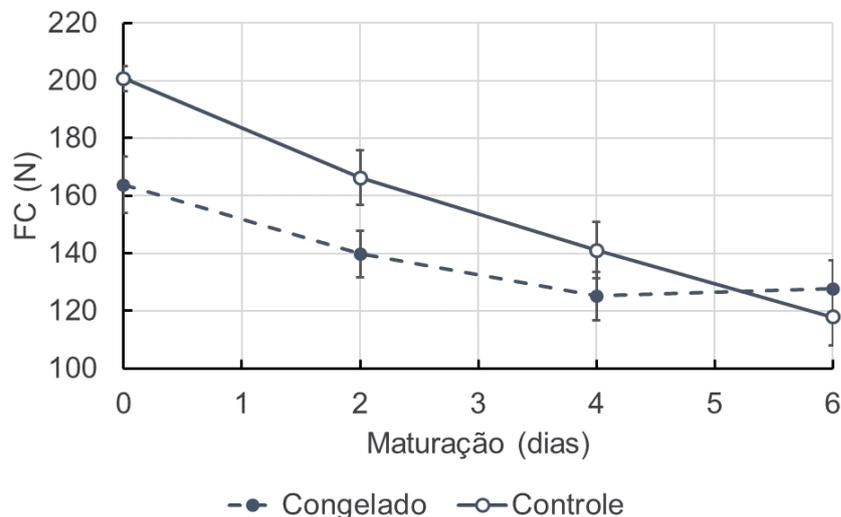
Os modelos preditivos de primeira ordem de PMC em função do tempo de maturação, para os diferentes pré-tratamentos e temperaturas de maturação, não explicaram a maioria da variação observada em PMC, apresentando, geralmente, baixos coeficientes de determinação ($R^2<0,55$; TABELA 4.2). No entanto, a PMC (TABELA 4.1) e a taxa de reação k (TABELA 4.2) aumentaram ($P<0,05$) com o tempo de maturação

Hughes *et al.* (2014) observaram que a água perdida após o cozimento da carne bovina maturada por, pelo menos, 3 a 6 dias é maior que na carne não maturada. Shanks, Wulf e

Maddock (2002) e Bertram, Kristensen e Andersen (2004) verificaram PMC de 3 a 5% maior em carne de cordeiro maturada por 7 dias que na carne após um dia de maturação. Aroeira *et al.* (2016) também relataram que a PMC da carne bovina aumentou a partir do sétimo de 21 dias de maturação. Já Boakye e Mittal (1993) observaram aumento da PMC em carnes bovinas entre o primeiro e segundo dia de maturação. Por outro lado, Farouk *et al.* (2009) e Hergenreder *et al.* (2013) não verificaram alteração na PPC ao longo da maturação de carnes bovinas frescas/não congeladas.

A FC foi afetada ($P < 0,05$) pela interação entre o pré-tratamento e o tempo de maturação (TABELA 4.1) e, desse modo, ela foi decomposta na Figura 4.2.

Figura 4.2 - Efeito pré-tratamento nos valores da força de cisalhamento (FC) das carnes (*L. lumbrorum*) de bovinos Nelore durante a maturação.



Controle = amostras não-congeladas; e Congelado = amostras congeladas ($-18^{\circ}\text{C}/24\text{ h}$) e descongeladas ($4^{\circ}\text{C}/24\text{ h}$). As barras representam o erro padrão da média ($n = 16$).

Fonte: Do autor (2021).

Quando comparamos o efeito do pré-tratamento dentro de cada tempo de maturação podemos observar que, com o passar dos dias de maturação, para todas as temperaturas houve uma redução nos valores de força de cisalhamento.

Rodrigues (2017) em seu trabalho utilizando carne bovina observou que o aumento da temperatura de maturação proporcionou ($P < 0,05$) maior índice de fragmentação miofibrilar e menor força de cisalhamento.

Holman *et al.* (1994) analisaram amostras de carne bovina congeladas por 52 semanas em duas temperaturas distintas (-12°C e -18°C). Não foram observadas mudanças entre os grupos de temperatura e a força de cisalhamento diminuiu com o tempo de armazenamento.

Quando comparamos os tempos de maturação podemos observar que a maior taxa de amaciamento ocorre nos primeiros dois dias, sendo que as amostras com congelamento prévio obtiveram os mesmos graus de força de cisalhamento que as amostras controles com dois dias a menos de maturação.

Em relação ao efeito do pré-tratamento o k aumentou em módulo de acordo com o acréscimo da temperatura, mas, independentemente desta, foram verificados menores valores de FC nas amostras descongeladas durante os primeiros dias de maturação (FIGURA 4.2).

Esse efeito pode ser devido a maturação permitir a ação prolongada das proteases presentes naturalmente na carne (KOOHMARAIE, 1988), que resultam na fragmentação das proteínas sarcoplasmáticas e proteólise dos componentes estruturais das miofibrilas. As enzimas proteolíticas atuam ocasionando algumas alterações no tecido muscular, como: degradação e/ou enfraquecimento gradual da linha Z, que conduz à degradação das miofibrilas; desaparecimento da troponina T; degradação da desmina e nebulina e da titina (proteínas estruturais do tecido muscular) (KOOHMARAIE; GEESINK, 2006).

O pré-tratamento congelado obteve resultados de menores força de cisalhamento do que o tratamento sem congelamento prévio, pois além dos efeitos de maturação o congelamento leva à formação de cristais de gelo que podem danificar a estrutura celular (STUBY; LAMKEY; DOLEZAL, 1993).

Em seu trabalho, Grayson *et al.* (2014) observaram que, ao congelar as carnes e posteriormente maturá-las, os valores de força de cisalhamento eram menores, indicando carnes mais macias.

O congelamento favoreceu o processo de amaciamento da carne durante a maturação em relação às amostras controle. As amostras congeladas possuíam uma menor força de cisalhamento após o descongelamento da carne, corroborando com alguns estudos que indicam que o congelamento prévio à maturação a vácuo aumenta a maciez da carne quando comparada com carnes não congeladas e maturadas pelo mesmo período (CROUSE; KOOHMARAIE, 1990; GRAYSON *et al.*, 2014; LAGERSTEDT *et al.*, 2008; SHANKS; WULF; MADDOCK, 2002). Isso pode ser explicado já que houve um efeito combinado na perda da integridade estrutural miofibrilar ocasionada pela formação de cristais de gelo (CROUSE; KOOHMARAIE, 1990; GRUJIĆ *et al.*, 1993) e um aumento na proteólise *post mortem* durante a maturação, por consequência do congelamento e desnaturação da calpastatina (KOOHMARAIE, 1990; WHIPPLE; KOOHMARAIE, 1992).

Uma maior proteólise na carne congelada/descongelada no armazenamento foi também descrita por alguns estudos através da avaliação da FI (AROEIRA *et al.*, 2016), e a autólise da calpaína e degradação da desmina foi descrito por Colle *et al.* (2015).

Rodrigues *et al.* (2016) encontraram que a FC das amostras foi afetada pelos tratamentos e tempos de maturação, com as amostras congeladas/descongeladas sendo mais macias (menor FC) do que as amostras não-congeladas durante a maturação. Essa característica pode ser explicada devido à atividade das enzimas presentes na carne.

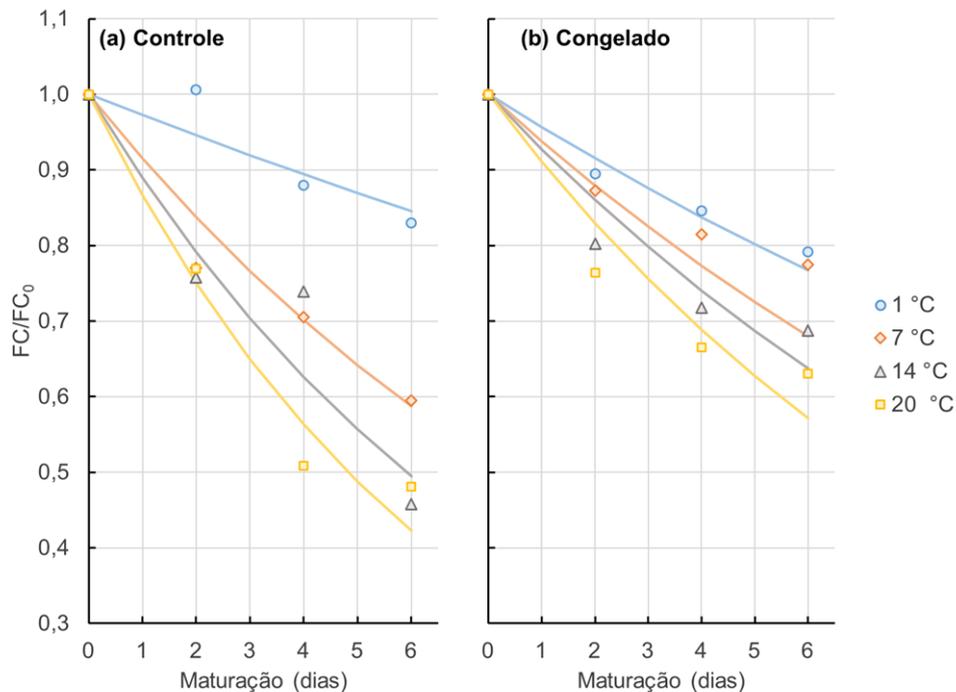
Grayson *et al.* (2014) observaram que, ao congelar as carnes e posteriormente maturá-las, os valores de FC eram menores, indicando carnes mais macias. Segundo esses autores, o amaciamento foi resultante do favorecimento da proteólise e da formação de cristais de gelo na carne. Resultados semelhantes foram descritos por Carolino *et al.* (2009) em amostras do músculo *longissimus dorsi* de animais das raças Alentejanas e Mertolenga, submetidas à maturação por 10 dias a 2°C, logo após a desossa ou congeladas, descongeladas e maturadas nas mesmas condições.

A interação pré-tratamento x tempo de maturação para força de cisalhamento pode ser observada nesse experimento. Esse mesmo efeito foi visto por Lanari, Bevilacqua e Zaritzky (1987), os quais avaliaram a variação da maciez durante a maturação da carne bovina em diferentes temperaturas de armazenamento (0, 4, 10 e 13°C) e encontraram que as carnes tiveram uma diminuição dos valores de FC durante os tempos de maturação e a energia de ativação foi maior para amostras maturadas a temperaturas menores, também observando que à temperatura de 0 até 4°C os valores de k diminuíram, mas para temperaturas mais elevadas de 10 e 13°C os valores foram maiores significativamente. As constantes k observadas na Tabela 4.2 também aumentaram de acordo com o acréscimo da temperatura, o que corrobora com os dados obtidos pelos autores citados.

A degradação da miosina é indicada como um indicador de proteólise e a energia de ativação para a perda da troponina T foi determinada por vários autores como Penny e Ferguson-Pryce (1979) em carne crua ($E = 37$ kJ/mol) e por Penny e Dransfield (1979) em carne ($E = 73$ kJ/mol). Os valores de energia de ativação para FC achados nesse trabalho apresentaram-se dentro da faixa descritas por esses autores.

Ao se avaliar a taxa proteolítica pelos valores de FC, através dos gráficos de predições descritos na Figura 4.3, pode-se observar que a taxa de amaciamento foi maior nas amostras congeladas/descongeladas apenas na temperatura de 1°C, apresentando-se maior nas amostras não congeladas para as demais temperaturas.

Figura 4.3 - Predições das mudanças na força de cisalhamento (FC), em relação aos valores iniciais (FC_0), de músculos (*L. lumborum*) de bovinos Nelore.



Efeitos do pré-tratamento (a: controle; e b: congelado) e da temperatura de maturação (1, 7, 14 e 20°C), segundo o modelo de primeira ordem (Eq. 3.1) e os valores de k estimados (TABELA 4.2). Os pontos representam os valores médios observados.

Fonte: Do autor (2021).

O aumento da maciez (menor FC) da carne causado pelas maiores temperaturas de maturação também pode ser observado por meio dos modelos preditivos de primeira ordem de IF em função do tempo de maturação para os diferentes pré-tratamentos e temperaturas de maturação (FIGURA 4.3), o que é corroborado pelo aumento da taxa de reação (k) com o aumento da temperatura de maturação (TABELA 4.2).

Também pode ser observado na Figura 4.3 que o aumento da temperatura tem mais efeito no controle que no congelado, pois a amplitude (distância) entre as curvas de congelado é muito menor que a amplitude (distância) entre as linhas de controle. Isso é coerente com o maior aumento de k com a temperatura de maturação para o controle (0,0348 para 0,1435) que para o congelado (0,0442 para 0,0932). Esse resultado é interessante, pois o pré-tratamento de congelamento já resolveria parte do problema da redução de tempo para obter maior maciez.

Além disso, a curva de congelado mais inclinada que a curva do controle apenas à temperatura de maturação de 1°C (FIGURA 4.3) é corroborado pelo k de congelado ter sido pouco maior que controle apenas à temperatura de maturação de 1°C (TABELA 4.2). Nas demais temperaturas, as curvas de controle são mais inclinadas e os k são maiores que o congelado.

A E_a da FC é menor para o pré-tratamento congelado, corroborando assim com os resultados descritos na Tabela 4.1.

Quando a carne é congelada, a taxa de proteólise é interrompida devido à supressão das atividades das calpaínas, entretanto essas enzimas não são destruídas (COOMBS *et al.*, 2017). Após o descongelamento, o processo proteolítico é restabelecido com a reativação das proteases dependentes de cálcio, podendo ser retomado a uma taxa mais rápida do que antes do congelamento (COOMBS *et al.*, 2017). Isso pode ser explicado devido ao fato de os cristais de gelo crescerem e penetrarem o retículo sarcoplasmático, fazendo com que, após o descongelamento desses cristais, a liberação de cálcio no sarcoplasma seja mais rápida do que a remoção desses íons por bombas de cálcio (UTRERA; MORCUENDE; ESTÉVEZ, 2014).

Uma maior concentração de cálcio no sarcoplasma leva a uma maior ativação do sistema enzimático das calpaínas (DRANSFIELD, 1994). Dransfield (1994), em seu trabalho, fez um modelo de amaciamento da carne baseado na ativação das calpaínas, pelo aumento na concentração de cálcio livre, a partir do declínio do pH em decorrência do *rigor mortis*, e observou um aumento na atividade da calpaína I de 15% a 97% da atividade máxima, e durante o amaciamento o modelo compreendeu ainda a inibição das calpaínas pela calpastatina e a inativação de calpaínas e calpastatinas por autólise, à medida em que ocorreu o amaciamento da carne.

Esse efeito pode ser observado neste trabalho quando comparada à temperatura de 1°C da amostra congelada/descongelada em relação a amostra controle/não congelada. Aroeira *et al.* (2016) observaram que o congelamento favoreceu uma maior fragmentação nas carnes de animais Angus e Nelore e que a proteólise foi maior naquelas maturadas após o congelamento, sendo que a maior taxa proteolítica ocorreu nos primeiros 7 dias. Esse resultado não foi observado neste experimento quando a maturação ocorreu nas temperaturas de 7, 14 e 20°C, o que indica que alta temperatura de maturação posterior ao congelamento tem influência na FC.

4.1.2 Avaliação microbiológica

Os valores da taxa de crescimento específico (μ) e da energia de ativação (E_a) do modelo de *Arrhenius* foram calculados para verificar as diferenças nas alterações da contagem microbiana total ao longo do tempo de maturação para cada combinação de pré-tratamento e temperatura de maturação (TABELA 4.3). O valor de μ aumenta com o aumento da temperatura de maturação, enquanto os valores de μ e de E_a dos pré-tratamentos são praticamente semelhantes, com μ e E_a de congelado ligeiramente maiores que o controle.

Tabela 4.3 - Taxa de crescimento específico (μ) e energia de ativação (E_a) do modelo de Arrhenius para os efeitos do pré-tratamento e da temperatura de maturação na contagem bacteriana total em músculos (*L. lumorum*) de bovinos da raça Nelore.

| Pré-tratamento | Temperatura de maturação (°C) | μ (/dia) | E_a (kJ/mol) | R ² |
|----------------|-------------------------------|--------------|----------------|----------------|
| Controle | 1 | 0,2495 | 50,42 | 0,97 |
| | 7 | 0,3590 | | |
| | 14 | 0,7163 | | |
| | 20 | 0,9842 | | |
| Congelado | 1 | 0,2531 | 52,42 | 0,99 |
| | 7 | 0,3731 | | |
| | 14 | 0,8156 | | |
| | 20 | 1,0262 | | |

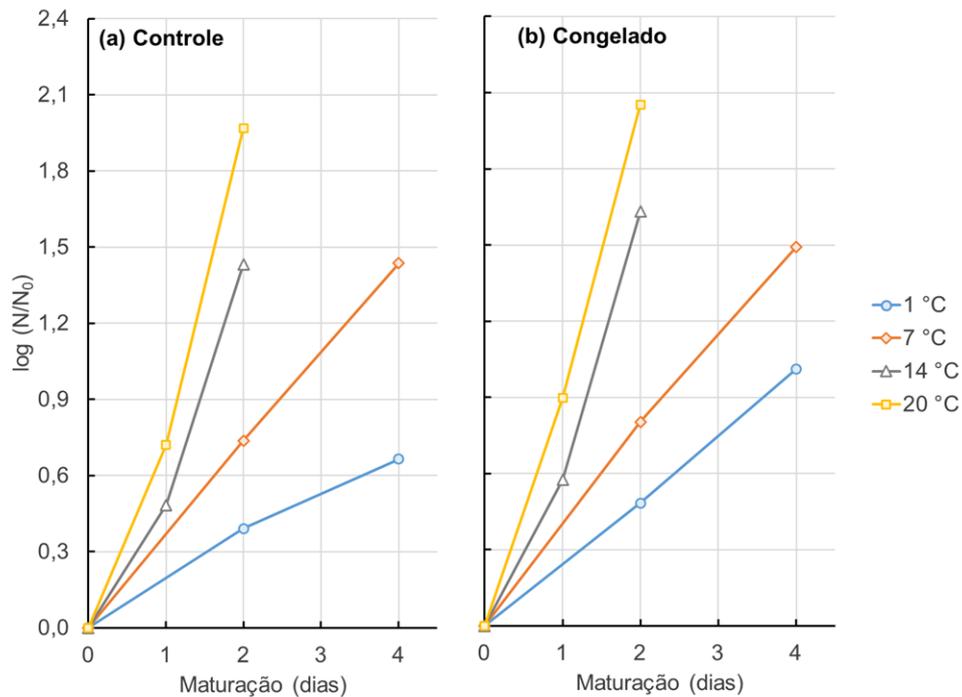
Fonte: Do autor (2021).

O aumento da velocidade do desenvolvimento microbiano causado pelas maiores temperaturas de maturação também pode ser observado por meio dos modelos preditivos de primeira ordem da contagem microbiana total em função do tempo de maturação para os diferentes pré-tratamentos e temperaturas de maturação (FIGURA 4.4), o que é corroborado pelo aumento de μ com o aumento da temperatura de maturação (TABELA 4.3). Por exemplo, μ a 14°C é praticamente o dobro de μ a 7°C, para ambos os pré-tratamentos, o que proporciona contagem microbiana total a 7°C após 4 dias de maturação semelhante a contagem microbiana total a 14°C após metade desse tempo, ou seja, 2 dias de maturação.

Essa pequena diferença entre a μ dos pré-tratamentos poderia ser explicada pelo processo de descongelamento da carne (4°C/24 h) que, além de proporcionar um maior tempo para adaptação e multiplicação dos micro-organismos, geralmente proporciona maior liberação de exsudado da carne devido a possíveis danos causados nas fibras musculares pelos cristais de gelo. O exsudado da carne é considerado um excelente meio para a proliferação microbiana (Rahman *et al.*, 2014).

Haddad (2020) observou que o congelamento/descongelamento proporcionou maiores contagens de mesófilos e de psicotróficos na carne bovina maturada de forma úmida e seca.

Figura 4.4 - Efeitos do pré-tratamento (a: controle; e b: congelado) e da temperatura de maturação (1, 7, 14 e 20°C) na multiplicação bacteriana (contagem total) em músculos (*L. lumbrorum*).



Os pontos representam os valores médios observados da população (N), em relação a contagem inicial (N₀).

Fonte: Do autor (2021).

O aumento da temperatura de maturação favorece o desenvolvimento microbiológico por aumentar a velocidade das reações químicas e enzimáticas, e alterar a estrutura, a fluidez e a funcionalidade das membranas e o envelhecimento do DNA, do RNA e dos ribossomos (PINTO; LANDGRAF; FRANCO, 2019). De modo geral, um aumento de 10°C na temperatura pode duplicar ou triplicar a μ em razão desse aumento da atividade metabólica do micro-organismo (NICOLAU, 2014).

Assim como no presente estudo, Kinsella *et al.* (2009) observaram que a contagem bacteriana total da carne bovina foi afetada pela temperatura de armazenamento por 72 horas, pois a 10°C houve um aumento de 2 log UFC/cm², enquanto a 5°C houve um aumento de apenas 0,4 log UFC/cm². Kim *et al.* (2018) também verificaram que a carne bovina maturada sob maior temperatura (14°C) apresentou maior contagem de bactérias aeróbias totais que sob menor temperatura (4°C).

4.2 Cinética da inativação bacteriana por UV-C

Os parâmetros do modelo de *Weibull* (TABELA 4.4) foram calculados para verificar a cinética de inativação microbiológica (logaritmo da fração de sobrevivência $\log(N/N_0)$) das contagens microbiana total (CT) e de *Brochothrix thermosphacta* (BT) inoculado em função da dose de radiação ultravioleta (UV-C: 13,3 a 66,6 mJ/cm²). A equação de *Weibull* obteve excelente ajuste para ambas CT e BT em razão dos elevados coeficientes de determinação ($R_a^2 > 0,84$) e pequenas raízes do erro quadrático médio ($RMSE < 0,398$), o que demonstra que a maior parte da variação dos resultados está sendo explicada por esse modelo. Além disso, os fatores de bias (1,002 e 1,004) e exatidão (1,105 e 1,156) foram próximos a 1, indicando que os valores preditos são muito próximos, *i.e.*, praticamente iguais aos valores observados. Portanto, as equações de *Weibull* ajustadas para CT e BT possuem alta capacidade preditiva.

Tabela 4.4 - Parâmetros do modelo de Weibull e RMSE, fatores de tendência e precisão para cinética de inativação microbiana por UV-C em músculos (*L. lumbrorum*) de bovinos embalados a vácuo.

| Microrganismo alvo | k | β | R_a^2 | RMSE | Bias | Exatidão |
|----------------------------------|-------|---------|---------|-------|-------|----------|
| <i>Brochothrix thermosphacta</i> | 0,005 | 1,357 | 0,91 | 0,348 | 1,002 | 1,105 |
| Contagem total | 0,023 | 0,932 | 0,84 | 0,398 | 1,004 | 1,156 |

k = constante da taxa de inativação; β = constante de forma R_a^2 = coeficiente de determinação ajustado; e RMSE = erro quadrático médio.

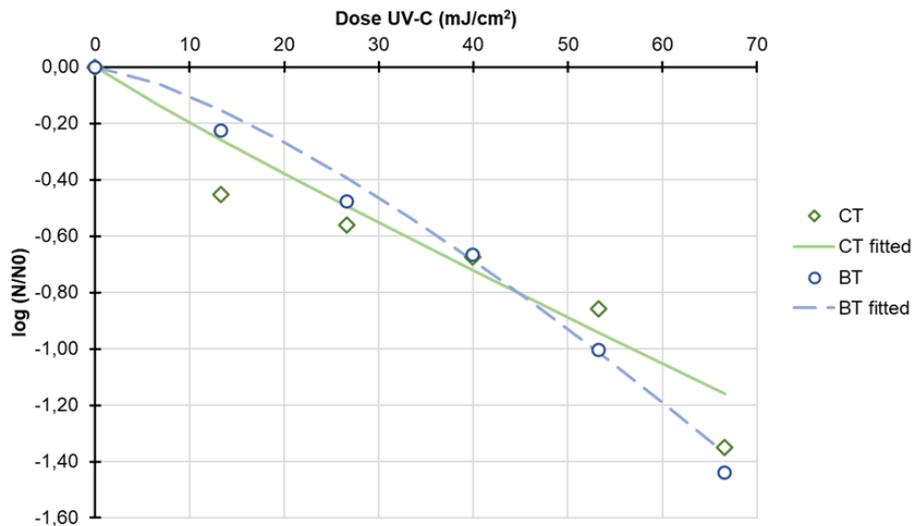
Fonte: Do autor (2021).

Desse modo, houve ($P < 0,05$) um aumento da inativação microbiológica de CT e de BT pelo modelo preditivo de *Weibull*, *i.e.*, o $\log(N/N_0)$ de CT e de BT reduziu com o aumento da dose de radiação UV-C (FIGURA 4.5). A maior dose de 66,66 mJ/cm² de radiação UV-C proporcionou uma redução superior a um ciclo logarítmico para as contagens microbiana total (-1,2) e do microrganismo *Brochothrix thermosphacta* (-1,4).

A inativação microbiológica pela radiação UV-C é causada pela formação de dímeros de DNA. A radiação promove a ruptura das ligações entre as bases nitrogenadas e, em seguida, uma união pode ocorrer entre as bases adjacentes ou próximas entre si na mesma fita por causa de uma dobra na cadeia do DNA. A estabilidade dessa nova ligação faz com que as duas fitas do DNA percam permanentemente o contato entre si nos pontos em que os dímeros são formados. Isso prejudica a codificação do RNA, comprometendo as funções da célula ainda em interfase entre a mitose e a meiose (período do ciclo celular em que a célula aumenta o seu

volume, tamanho e número de organelas) e impedindo o processo de replicação do DNA, o que pode causar a morte celular (CUTLER; ZIMMERMAN, 2011).

Figura 4.5 - Cinética de inativação bacteriana (CT, contagem total e BT, *Brochothrix thermosphacta*) em músculos (*L. lumbrorum*) bovinos embalados a vácuo expostos à radiação UV-C.



Inativação segundo o modelo de Weibull (*fitted*). Os pontos representam os valores médios observados da população (N) após o tratamento UV-C, em relação a contagem inicial (N₀).

Fonte: Do autor (2021).

Assim como no presente trabalho, Reichel, Kerenberg e Krischek (2019) observaram a inativação de *Yersinia enterocolitica* e de *Brochothrix thermosphacta* em carne suína por radiação UV-C, sendo que doses de 19,30 mJ/cm² proporcionaram uma redução de 3 ciclos logarítmicos. McLeod *et al.* (2018) também verificaram uma redução de 2,7 ciclos logarítmicos de *Brochothrix thermosphacta* em carne de frango utilizando uma dose de 3000 mJ/cm² de radiação UV-C.

5 CONCLUSÃO

A energia de ativação para a fragmentação miofibrilar e o amaciamento da carne durante a maturação foi menor nas amostras congeladas/descongeladas, sendo necessário um tempo de maturação menor nessas amostras em comparação às amostras não-congeladas. Além disso, o congelamento/descongelamento prévio à maturação não alterou as perdas de massa por cocção ou a segurança microbiológica da carne.

O aumento da temperatura de maturação também favoreceu a fragmentação miofibrilar e, logo, a maciez da carne, mas esse efeito foi maior nas amostras não-congeladas. No entanto, o aumento da temperatura também favoreceu o desenvolvimento microbiano na carne, sendo nesse caso independente do pré-tratamento (amostras congeladas e não-congeladas). Foi observado uma redução de, pelo menos, 1 ciclo logarítmico na população microbiana da carne embalada a vácuo quando irradiada com doses de $66,6 \text{ mJ/cm}^2$ de UV-C.

Concluiu-se que o uso da UV-C em carnes congeladas/descongeladas em associação a temperaturas maiores de maturação do que a convencional pode ser uma alternativa viável para acelerar o tempo de maturação da carne bovina.

REFERÊNCIAS

- ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **Beef REPORT Perfil da Pecuária no Brasil**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/plugin.php/4392168/modresource/content/1/sum%c3%altio%20abiecc%202017.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- ALVES, D. D.; GOES, R. H. de T. B. de; MANCIO, A. B. Maciez da carne bovina. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, n. 3, v. 6, p. 135-149, out. 2006. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/vet/article/view/370>. Acesso em: 14 mar. 2020.
- ANDRADE, P. L. *et al.* Qualidade da carne maturada de bovinos Red Norte e Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 8, p. 1791-1800, ago. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/QNXJhV8TfZwFM8qypjPj5Kk/abstract/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 18 fev. 2020.
- ANDRIGHETTO, C. *et al.* Maturação da carne bovina. **REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria**, Málaga, v. 7, n. 6, p. 1-6, jun. 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63612666003.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2020.
- ANUALPEC. Anuário da Pecuária Brasileira. FNP. Consultoria e Comércio. **Anualpec**. 2015. São Paulo: Ed. Argos Comunicação, 2015. 360 p.
- ARAGAO, G. M. F. *et al.* Evaluation of the weibull and log normal distribution functions as survival models of escherichia coli under isothermal and non isothermal conditions. **International Journal of Food Microbiology**, [Amsterdam], v. 119, n. 3, p. 243-257, Nov. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160507004357>. Acesso em: 19 maio 2021.
- AROEIRA, C. N. *et al.* Freezing, thawing and aging effects on beef tenderness from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. **Meat Science**, [Oxford], v. 116, p. 118-125, June 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26878609/>. Acesso em: 22 out. 2020.
- BERTRAM, H. C.; KRISTENSEN, M.; ANDERSEN, H. J. Functionality of myofibrillar proteins as affected by pH, ionic strength and heat treatment – a low-field NMR study. **Meat Science**, [Oxford], v. 68, n. 2, p. 249–256, Oct. 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174004000737>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- BLIXT, Y.; BORCH, E. Comparison of shelf life of vacuum-packed pork and beef. **Meat Science**, [Oxford], v. 60, n. 4, p. 371–378, Apr. 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174001001450>. Acesso em: 15 ago. 2019.
- BOAKYE, K.; MITTAL, G. S. Changes in pH and water holding properties of *Longissimus dorsi* muscle during beef ageing. **Meat Science**, [Oxford], v. 34, n. 3, p. 335-349, 1993. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22060742/>. Acesso em: 18 jun. 2021.

BOLTON, J. R.; COTTON, C. A. **The ultraviolet disinfection handbook**. 1st. ed. Denver: American Water Works Association, 2008.

BRIDI, A. M.; CONSTANTINO, C.; TARSITANO, M. A. Qualidade da carne de bovinos produzidos em pasto. *In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ANIMAL A PASTO*, 2011, Maringá. **Anais [...]**. Maringá, 2011. p. 18.

CAROLINO, M. I. *et al.* pH e força de corte da carne de bovinos alentejanos e mertolengos. **Archivos de Zootecnia**, [Córdoba], v. 58, n. 1, p. 581-584, Jan. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/48168915_PH_E_FORCA_DE_CORTE_DA_CARNE_DE_BOVINOS_ALENTEJANOS_E_MERTOLENGOS. Acesso em: 18 fev. 2021.

CAYRÉ, M. E.; GARRO, O.; VIGNOLO, G. Effect of storage temperature and gas permeability of packaging film on the growth of lactic acid bacteria and *Brochothrix thermosphacta* in cooked meat emulsions. **Food Microbiology**, [London], v. 22, n. 6, p. 505–512, Dec. 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740002005000110>. Acesso em: 13 jul. 2019.

CAYRÉ, M. E.; VIGNOLO, G.; GARRO, O. Modeling lactic acid bacteria growth in vacuum-packaged cooked meat emulsions stored at three temperatures. **Food Microbiology**, [London], v. 20, n. 5, p. 561–566, Oct. 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740002002001545>. Acesso em: 13 jul. 2019.

CLARK, K. A. *et al.* Striated muscle cytoarchitecture: An intricate web of form and function. **Annual Review of Cell and Developmental Biology**, [United States], v. 18, n. 1, p. 637–706, Apr. 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12142273/>. Acesso em: 29 jun. 2019.

COHEN, T. Aging of frozen parts of beef. **Journal of Food Science**, [Malden], v. 49, n. 4, p. 1174-1177, July 1984. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1984.tb10421.x>. Acesso em: 12 jun. 2021.

COLLE, M. J. *et al.* Influence of extended aging on beef quality characteristics and sensory perception of steaks from the *gluteus medius* and *longissimus lumborum*. **Meat Science**, [Oxford], v. 110, p. 32–39, Dec. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174015300413>. Acesso em: 13 jun. 2021.

COOMBS, C. E. O. *et al.* Long-term red meat preservation using chilled and frozen storage combinations: A review. **Meat Science**, [Oxford], v. 125, p. 84-94, Mar. 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27918929/>. Acesso em: 21 maio 2021.

CROUSE, J. D.; KOOHMARAIE, M. Effect of freezing of beef on subsequent postmortem aging and shear force. **Journal of Food Science**, [Malden], v. 52, n. 2, p. 573-574, Mar. 1990. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06819.x>. Acesso em: 14 fev. 2021.

CUTLER, T. D.; ZIMMERMAN, J. J. Ultraviolet irradiation and the mechanisms underlying its inactivation of infectious agents. **Animal Health Research Reviews**, [England], v. 12, n. 1, p. 15–23, June 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21676338/>. Acesso em: 22 maio 2019.

DE CARLI, E. M. *et al.* Vida útil de carne suína utilizando irradiação UV-C: Métodos combinados com ácidos orgânicos e solução salina. **Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos**, [Santa Catarina], v. 1, n. 1, p. 1-8, out. 2015. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/revistacsbea/article/view/6819/4655>. Acesso em: 10 out. 2019.

DRANSFIELD, E. Optimisation of tenderisation, ageing and tenderness. **Meat Science**, [Oxford], v. 36, n. 1–2, p. 105–121, 1994. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/030917409490037X>. Acesso em: 18 abr. 2019.

FAO. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Animal production and health division**. Meat & meat products. 2011. Disponível em: http://www.fao.org/AG/AGAINFO/the_mes/en/meat/home.html. Acesso em: 10 nov. 2019.

FAROUK, M. M. *et al.* **Ageing prior to freezing improves waterholding capacity in beef and venison**. Paper presented at the 55th International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST). Copenhagen, Denmark, 2009.

FELÍCIO, P. E. de. Fatores ante e post mortem que influenciam na qualidade da carne bovina. *In*: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; DE FARIA, V. P. (orgs.). **produção de novilho de corte**. 1. ed. Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 79-97.

FELÍCIO, P. E. de. Fatores ante e post mortem que influenciam na qualidade da carne vermelha. *In*: SIMPÓSIOS DA 30ª. REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 30., 1993, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro, 1993. p. 43-52.

FERNANDES, R. M. *et al.* Composição em ácidos graxos e qualidade da carne de tourinhos Nelore e Canchim alimentados com dietas à base de cana-de-açúcar e dois níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 328-337, fev. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/KbsGnbhnmzMLFg8mV4jqJnC/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 nov. 2019.

FRITZ, J. D.; GREASER, M. L. changes in titin and nebulin in postmortem bovine muscle revealed by gel electrophoresis, western blotting and immunofluorescence microscopy. **Journal of Food Science**, [Malden], v. 56, n. 3, p. 607–610, May 1991. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1991.tb05340.x>. Acesso em: 15 dez. 2020.

- FRITZ, Z.; SCHLEICHER, A.; KINAL, S. Effect of substituting milfoil, St. Johnswort and lovage for antibiotics on chicken performance and meat quality. **Journal of Animal and Feed Sciences**, [Jablonna], v. 2, n. 4, p. 189-195, Jan. 1993. Disponível em: <http://www.jafs.com.pl/Effect-of-substituting-milfoil-St-Johnswort-and-lovage-for-antibiotics-on-chicken-performance-and-meat-quality,69881,0,2.html>. Acesso em: 18 maio 2020.
- GILL, C. O. Extending the storage life of raw chilled meats. **Meat Science**, [Oxford], v. 43, n. 1, p. 99–109, 1996. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22060644/>. Acesso em: 12 out. 2020.
- GILL, C. O.; NEWTON, K. G. The ecology of bacterial spoilage of fresh meat at chill temperatures. **Meat Science**, [Oxford], v. 2, n. 3, p. 207–217, July 1978. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22055052/>. Acesso em: 13 set. 2020.
- GOLL, D. E. *et al.* Role of the calpain system in muscle growth. **Biochimie**, [Paris], v. 74, n. 3, p. 225–237, Mar. 1992. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1610936/>. Acesso em: 15 ago. 2020.
- GOLL, D. E. *et al.* The calpain system. **Physiological Reviews**, [Bethesda], v. 83, n. 3, p. 731–801, July 2003. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12843408/>. Acesso em: 17 jul. 2020.
- GONÇALVES, L. D. dos A. *et al.* Primary and secondary modeling of *Brochothrix thermosphacta* growth under different temperature and pH values. **Food Science and Technology**, [Campinas], v. 38, n. 1, p. 37-43, Dec. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/dg9SCjxqp3R7sDmKYBsrFNF/?lang=en>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- GONZALEZ-SANGUINETTI, S.; AÑÓN, M. C.; CALVELO, A. Effect of thawing rate on the exudate production of frozen beef. **Journal of Food Science**, [Malden], v. 50, n. 3, p. 697–700, May 1985. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1985.tb13775.x>. Acesso em: 18 jun. 2020.
- GRAYSON, A. L. *et al.* Freezing and thawing or freezing, thawing, and aging effects 108 on beef tenderness. **Journal of Animal Science**, [Champaign], v. 92, n. 6, p. 2735-2740, Nov. 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/84307241.pdf>. Acesso em: 22 maio 2021.
- GRUJIĆ, R. *et al.* Definition of the optimum freezing rate. Investigation of structure and ultrastructure of beef *M. longissimus dorsi* frozen at different freezing rates. **Meat Science**, [Oxford], v. 33, n. 3, p. 301–318, 1993. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/030917409390003Z>. Acesso em: 19 maio 2021.
- GUEDES, A. M. M. *et al.* Tecnologia de ultravioleta para preservação de alimentos. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 27, n. 1, p. 59- 70, jun. 2009. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-530591>. Acesso em: 18 maio 2020.

GUERRERO-BELTRÁN, J. A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Review: Advantages and limitations on processing foods by UV light. **Food Science and Technology International**, [London], v. 10, n. 3, p. 137–147, June 2004. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1082013204044359>. Acesso em: 25 abr. 2020.

HADDAD, G. de B. S. Efeito do congelamento nos processos de maturação úmida e a seco da carne de gado zebuino. 2020. 115 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.

HASSAN, H. E. *et al.* Impact of ultraviolet irradiation processing on quality of fresh beef meat during cold storage. **AgricEngInt: CIGR Journal**, [China], v. 17, n. 2, p. 130-139, June 2015. Disponível em: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/3153/2107>. Acesso em: 15 abr. 2020.

HERGENREDER, J. E. *et al.* The effects of freezing and thawing rates on tenderness, sensory quality, and retail display of beef subprimals. **Journal of Animal Science**, [Champaign], v. 91, n. 1, p. 483-490, Jan. 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23100592/>. Acesso em: 22 maio 2021.

HERTOG-MEISCHKE, M. J. A. D.; SMULDERS, F. J. M.; VAN LOGTESTIJN, J. G. The effect of storage temperature on drip loss from fresh beef. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [Chichester], v. 78, n. 4, p. 522-526, Dec. 1998. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291097-0010%28199812%2978%3A4%3C522%3A%3AAID-JSFA150%3E3.0.CO%3B2-F>. Acesso em: 13 maio 2021.

HO, C. Y.; STROMER, M. H.; ROBSON, R. M. Identification of the 30 kDa polypeptide in post mortem skeletal muscle as a degradation product of troponin-T. **Biochimie**, [Paris], v. 76, n. 5, p. 369–375, Jan. 1994. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7849100/>. Acesso em: 12 mar. 2020.

HOCK, R. S.; DAVIS, G.; SPEICHER, D. W. Purification of human smooth muscle filamin and characterization of structural domains and functional sites. **Biochemistry**, [Washington], v. 29, n. 40, p. 9441–9451, Oct. 1990. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2248958/>. Acesso em: 18 fev. 2020.

HOWARTH, C. **UV disinfection shows promise**. 2007. Disponível em: <https://www.emauxgrou.com/products/disinfection-system/nano-tech-uv-c-disinfection-system.html>. Acesso em: 15 mar. 2020.

HUFF-LONERGAN, E. *et al.* Proteolysis of specific muscle structural proteins by mu-calpain at low pH and temperature is similar to degradation in postmortem bovine muscle. **Journal of Animal Science**, [Champaign], v. 74, n. 5, p. 993, May 1996. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8726731/>. Acesso em: 15 jan. 2020.

HUFF-LONERGAN, E.; LONERGAN, S. M. Postmortem mechanisms of meat tenderization. *In: Quality attributes of muscle foods*. Boston: Springer, 1999. p. 229-251.

HUGHES, J. M. *et al.* A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. **Meat Science**, [Oxford], v. 98, n. 3, p. 520–532, Nov. 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25034451/>. Acesso em: 22 jun. 2021.

HWANG, I. H.; THOMPSON, J. M. The interaction between pH and temperature decline early postmortem on the calpain system and objective tenderness in electrically stimulated beef longissimus dorsi muscle. **Meat Science**, [Oxford], v. 58, n. 2, p. 167–174, June 2001. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22062112/>. Acesso em: 12 jun. 2021.

HWAN, S-H.; BANDMAN, E. Studies of desmin and α -actinin degradation in bovine semitendinosus muscle. **Journal of Food Science**, [Malden], v. 54, n. 6, 1989. Disponível em: <https://ur.booksc.eu/book/9247170/9b588b>. Acesso em: 18 mar. 2021.

HWANG, I. H.; DEVINE, C. E.; HOPKINS, D. L. The biochemical and physical effects of electrical stimulation on beef and sheep meat tenderness. **Meat science**, [Oxford], v. 65, n. 2, p. 677-691, Oct. 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174002002711>. Acesso em: 15 fev. 2021.

INFRALIGHT. **Applications of ultraviolet light**. Disponível em: http://www.infralight.com.au/Ultraviolet_Technology.html. Acesso em: 26 dez. 2019.

INGOLFSSON, R.; DRANSFIELD, E. The effects of low voltage electrical stimulation and freezing on tenderisation, enzyme activities, drip losses and cooking losses of lamb. **Icelandic Agricultural Science**, [Keldnaholti], v. 5, p. 63-80, 1991. Disponível em: [http://www.landbunadur.is/landbunadur/wgsamvef.nsf/5ed2a07393fec5fa002569b300397c5a1bb5b464e8cab4b900256e1600467113/\\$FILE/gr-bu5-ri.PDF](http://www.landbunadur.is/landbunadur/wgsamvef.nsf/5ed2a07393fec5fa002569b300397c5a1bb5b464e8cab4b900256e1600467113/$FILE/gr-bu5-ri.PDF). Acesso em: 13 fev. 2021.

JONES, R. J. Observations on the succession dynamics of lactic acid bacteria populations in chill-stored vacuum-packaged beef. **International Journal of Food Microbiology**, [Amsterdam], v. 90, n. 3, p. 273–282, Feb. 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14751682/>. Acesso em: 18 nov. 2019.

KALCHAYANAND, N. *et al.* Spoilage of vacuum-packaged refrigerated beef by *Clostridium*. **Journal of Food Protection**, [United States], v. 52, n. 6, p. 424–426, June 1989. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Spoilage-of-Vacuum-Packaged-Refrigerated-Beef-by-Kalchayanand-Ray/71ab111e1bd3121bb07720f07b9b218f738ec0c0>. Acesso em: 15 out. 2019.

KIM, H.; LEE, Y.; EUN, J. Changes in the microbiological characteristics of Korean Native Cattle (Hanwoo) beef exposed to Ultraviolet (UV) irradiation prior to refrigeration. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, [South Korea], v. 34, n. 6, p. 815–821, Dec. 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26761679/>. Acesso em: 29 ago. 2019.

KIM, S. Y. *et al.* Application of high temperature (14 °C) aging of beef *M. semimembranosus* with low-dose electron beam and X-ray irradiation. **Meat Science**, [Oxford], v. 136, p. 85–92, Feb. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174017309373>. Acesso em: 22 jan. 2021.

KINSELLA, K. J. *et al.* The survival of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium DT104 and total viable counts on beef surfaces at different relative humidities and temperatures. **Journal of Applied Microbiology**, [Malden], v. 106, n. 1, p. 171–180, Jan. 2009. Disponível em: <https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2672.2008.03989.x>. Acesso em: 12 jun. 2021.

KOOHMARAIE, M. Effect of pH, temperature, and inhibitor on autolysis and catalytic activity of bovine skeletal muscle μ -calpain. **Journal of Animal Science**, [Champaign], v. 70, n. 10, p. 3071-3080, July 1992. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/MohammadKoohmaraie/publication/21726999_Effect_of_pH_temperature_and_inhibitors_on_autolysis_and_catalytic_activity_of_bovine_skeletal_muscle_mu-calpain/links/004635254452ddc13c000000/Effect-of-pH-temperature-and-inhibitors-on-autolysis-and-catalytic-activity-of-bovine-skeletal-muscle-mu-calpain.pdf. Acesso em: 27 jun. 2019.

KOOHMARAIE, M. *et al.* Effects of postmortem storage on muscle protein degradation: Analysis by SDS-polyacrylamide gel electrophoresis. **Journal of Food Science**, [Malden], v. 49, n. 1, p. 292-293, Jan. 1984. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1984.tb13732.x>. Acesso em: 28 jul. 2019.

KOOHMARAIE, M. *et al.* Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? **Meat Science**, [Oxford], v. 62, n. 3, p. 345–352, Nov. 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22061610/>. Acesso em: 25 maio 2019.

KOOHMARAIE, M. Muscle proteinases and meat aging. **Meat Science**, [Oxford], v. 36, n. 1–2, p. 93–104, Jan. 1994. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22061455/>. Acesso em: 15 abr. 2019.

KOOHMARAIE, M. Quantification of Ca^{2+} -dependent protease activities by hydrophobic and ion-exchange chromatography. **Journal of Animal Science**, [Champaign], v. 68, n. 3, p. 659–665, Apr. 1990. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/20974930_Quantification_of_Ca2dependent_protease_activities_by_hydrophobic_and_ion-exchange_chromatography. Acesso em: 15 jan. 2021.

KOUTCHMA, T. Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. **Food and Bioprocess Technology**, [New York], v. 2, n. 2, p. 138–155, Jan. 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-008-0178-3>. Acesso em: 22 dez. 2020.

KOUTCHMA, T.; ORLOWSKA, M.; ZHU, Y. UV light for fruits and fruit products. *In*: **Advances in Fruit Processing Technologies**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. Disponível em: <https://pdfroom.com/books/uv-light-for-fruits-and-fruit-products/qXgenXjY26P>. Acesso em: 25 out. 2020.

KOUTSOUMANIS, K. *et al.* Development of a microbial model for the combined effect of temperature and pH on spoilage of ground meat, and validation of the model under dynamic temperature conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, [Washington], v. 72, n. 1, p. 124–134, Jan. 2006. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16391034/>. Acesso em: 25 nov. 2020.

- KRUGER, M.; WRIGHT, J.; WANG, K. Nebulin as a length regulator of thin filaments of vertebrate skeletal muscles: correlation of thin filament length, nebulin size, and epitope profile. **Journal of Cell Biology**, [New York], v. 115, n. 1, p. 97–107, Oct. 1991. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1717482/>. Acesso em: 22 out. 2020.
- KWOLEK, W. P.; BOOKWALTER, G. N. Predicting storage stability from time-temperature data. **Food Technology**, [Chicago], v. 25, n. 10, p. 51-63, 1971. Disponível em: <https://pubag.nal.usda.gov/download/31530/PDF>. Acesso em: 18 mar. 2021.
- LABUZA, T. P. A theoretical comparison of losses in foods under fluctuating temperature sequences. **Journal of Food Science**, [Malden], v. 44, n. 4, p. 1162–1168, July 1979. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1979.tb03472.x>. Acesso em: 17 jun. 2021.
- LAGERSTEDT, Å. *et al.* Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef *M. longissimus dorsi*. **Meat Science**, [Oxford], v. 80, n. 2, p. 457–461, Oct. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030917400800020X>. Acesso em: 19 set. 2020.
- LAMETSCH, R. *et al.* Identification of myofibrillar substrates for μ -calpain. **Meat Science**, [Oxford], v. 68, n. 4, p. 515–521, Dec. 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22062527/>. Acesso em: 16 ago. 2020.
- LAMETSCH, R.; ROEPSTORFF, P.; BENDIXEN, E. Identification of protein degradation during post-mortem storage of pig meat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [Washington], v. 50, n. 20, p. 5508–5512, Sept. 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12236671/>. Acesso em: 15 jul. 2020.
- LANARI, M. C.; BEVILACQUA, A. E.; ZARITZKY, N. E. Changes in tenderness during aging of vacuum-packaged beef. **Journal of Food Processing and Preservation**, [Malden], v. 11, n. 2, p. 95-109, June 1987. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-4549.1987.tb00040.x>. Acesso em: 22 abr. 2021.
- LAWRIE, R. A. **Ciência da carne**. 6. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2005. 386 p.
- LEE, M.; SEBRANEK, J.; PARRISH JÚNIOR., F. C. Accelerated postmortem aging of beef utilizing electron- beam irradiation and modified atmosphere packaging. **Journal of Food Science**, [Malden], v. 61, n. 1, p. 133–136, Jan. 1996. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1996.tb14742.x>. Acesso em: 18 jul. 2021.
- LEYGONIE, C.; BRITZ, T. J.; HOFFMAN, L. C. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. **Meat Science**, [Oxford], v. 91, n. 2, p. 93–98, June 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174012000149>. Acesso em: 19 jun. 2020.
- LIMA, L. S. Radiação gama. **Revista de Ciência Elementar**, [Porto], v. 2, n. 4, p. 1-2, dez. 2014. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/pdf/2014/084/>. Acesso em: 16 maio 2020.

LOO, D. T.; KANNER, S. B.; ARUFFO, A. Filamin binds to the cytoplasmic domain of the β 1-integrin. **Journal of Biological Chemistry**, [Bethesda], v. 273, n. 36, p. 23304–23312, Sept. 1998. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9722563/>. Acesso em: 17 abr. 2020.

LOPEZ-MALO, A.; PALOU, E. Ultraviolet light and food preservation. *In*: PILAR CANO, M.; TAPIA, M.; BARBOSA-CANOVAS, G. (orgs.). **Novel food processing technologies**. Boca Raton: CRC Press, 2004. p. 405–421.

MAN, C. M. D.; JONES, A. A. **Shelf life evaluation of foods**. 1st ed. United States: Springer, 1994.

MARSHALL, D. L.; BAL'A, M. F. A. Microbiology of meats. *In*: HUI, Y. H. *et al.* (eds.). **Meat science and applications**. New York: Marcel Dekker, 2001. p. 159-163.

MCLEOD, A. *et al.* Chicken fillets subjected to UV-C and pulsed UV light: Reduction of pathogenic and spoilage bacteria, and changes in sensory quality. **Journal of Food Safety**, [Malden], v. 38, n. 1, Feb. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jfs.12421>. Acesso em: 26 jun. 2021.

MELODY, J. L. *et al.* Early postmortem biochemical factors influence tenderness and water-holding capacity of three porcine muscles. **Journal of Animal Science**, [Champaign], v. 82, n. 4, p. 1195–1205, Apr. 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15080343/>. Acesso em: 18 mar. 2020.

MORAIS, M. V. T.; AZEVEDO, P. Fatores extrínsecos que influenciam no amaciamento da carne. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, v. 27, n. 321, p. 68-80, jan. 2003. Disponível em: http://www.dipemar.com.br/carne/321/materia_estudo_carne.htm. Acesso em: 15 jan. 2020.

MUROYA, S. *et al.* Postmortem changes in bovine troponin T isoforms on two-dimensional electrophoretic gel analyzed using mass spectrometry and western blotting: The limited fragmentation into basic polypeptides. **Meat Science**, [Oxford], v. 75, n. 3, p. 506–514, Mar. 2007. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22063808/>. Acesso em: 22 dez. 2019.

NETI, G. *et al.* Properties of easily releasable myofilaments: are they the first step in myofibrillar protein turnover? **American Journal of Physiology-Cell Physiology**, [Bethesda], v. 296, n. 6, p. C1383–C1390, June 2009. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19321741/>. Acesso em: 19 nov. 2019.

NICOLAU, P. B. **Microrganismos e crescimento microbiano**. 2014. 26 p. Disponível em: https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/6137/1/UT2_Microrganismos%20e%20crescimento%20microbiano_PBN.pdf. Acesso em: 13 jul. 2021.

NYCHAS, G. J. E. *et al.* Meat spoilage during distribution. **Meat Science**, [Oxford], v. 78, n. 1–2, p. 77–89, Jan./Feb. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174007002185>. Acesso em: 17 out. 2019.

OLIVEIRA, L. B.; SOARES, G. J. D.; ANTUNES, P. L. Influência da maturação da carne bovina na solubilidade do colágeno e perdas por cozimento. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 4, n. 3, p. 166-171, set./dez. 1998. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/view/217>. Acesso em: 18 set. 2019.

OLIVERA, D. F. *et al.* Kinetics of colour and texture changes of beef during storage. **Journal of Food Science and Technology**, [New Delhi], v. 50, n. 4, p. 821–825, Aug. 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3671049/>. Acesso em: 23 maio 2021.

OLSON, D. G. *et al.* Effect of postmortem storage and calcium activated factor on the myofibrillar proteins of bovine skeletal muscle. **Journal of Food Science**, [Malden], v. 42, n. 1, p. 117-124, Jan. 1977. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1977.tb01233.x>. Acesso em: 15 ago. 2019.

PARDI, M. C. *et al.* **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. 3. ed. Goiânia: UFG, 2006. 624 p.

PARDI, M. C.; SANTOS, I. F.; SOUZA, E. R. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. 2. ed. Goiânia: UFG, 2001. 623 p.

PELEG, M. **Advanced quantitative microbiology for foods and biosystems: models for predicting growth and inactivation**. 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. 456 p.

PENNY, I. F.; DRANSFIELD, E. Relationship between toughness and troponin T in conditioned beef. **Meat Science**, [Oxford], v. 3, n. 2, p. 135-141, Apr. 1979. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22055268/>. Acesso em: 18 jun. 2021.

PENNY, I. F.; FERGUSON-PRYCE, R. Measurement of autolysis in beef muscle homogenates. **Meat Science**, [Oxford], v. 3, n. 2, p. 121-134, Apr. 1979. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0309174079900147>. Acesso em: 19 jul. 2021.

PETZOLD, G.; AGUILERA J. M. Ice Morphology: Fundamentals and Technological Applications in Foods. **Food Biophysics**, n. 4, p. 378-96, 2009.

PHILIPS. **Ultraviolet purification application information**. 2006. p. 1-30. Disponível em: <https://www.assets.signify.com/is/content/PhilipsLighting/Assets/philipslighting/global/20200504-philips-uv-purification-application-information.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2020.

PIN, C. *et al.* Analysing the lag–growth rate relationship of *Yersinia enterocolitica*. **International Journal of Food Microbiology**, [Amsterdam], v. 73, n. 2–3, p. 197–201, Mar. 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11934027/>. Acesso em: 13 jul. 2019.

PINTO, U. M.; LANDGRAF, M.; FRANCO, B. D. G. de M. Deterioração microbiana dos alimentos. In: **Microbiologia e higiene de alimentos: teoria e prática**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Rubio, 2019. 277 p.

- RAHMAN, M. H. *et al.* Effect of repeated freeze-thaw cycles on beef quality and safety. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, [South Korea], v. 34, n. 4, p. 482-495, Aug. 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26761286/>. Acesso em: 12 maio 2021.
- RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. Viçosa: UFV, 2007. p. 599.
- REICHEL, J.; KEHRENBERG, C.; KRISCHEK, C. Inactivation of *Yersinia enterocolitica* and *Brochothrix thermosphacta* on pork by UV-C irradiation. **Meat Science**, [Oxford], v. 158, Dec. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174019303195>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- RENAND, G. *et al.* Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young *Charolais* bulls. **Meat Science**, [Oxford], v. 59, n. 1, p. 49–60, Sept. 2001. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22062505/>. Acesso em: 27 maio 2019.
- RINGKOB, T. P.; MARSH, B. B.; GREASER, M. L. Change in Titin position in postmortem bovine muscle. **Journal of Food Science**, [Malden], v. 53, n. 1, p. 276–277, Jan. 1988. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1988.tb10228.x>. Acesso em: 23 abr. 2019.
- RODRIGUES, L. M. *et al.* Efeito do congelamento prévio a maturação sobre a maciez da carne bovina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 25, 2016, Gramado. **Anais [...]**. FAUGS: Gramado, 2016.
- RODRIGUES, L. M. **Efeitos da radiação gama e do congelamento prévios à maturação na maciez da carne bovina**. 2017. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- RODRIGUES, L. M. *et al.* Combined effects of gamma irradiation and aging on tenderness and quality of beef from Nellore cattle. **Food Chemistry**, [Oxford], v. 313, May 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814619322897>. Acesso em: 23 jun. 2020.
- SAGUY, I.; KAREL, M. Modeling of quality deterioration during food processing and storage. **Food Technology**, [United States], v. 32, n. 2, p. 78-85, Jan. 1980. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8045873>. Acesso em: 19 maio 2021.
- SCHWIMMER, S.; INGRAHAM, L. L.; HUGHES, H. M. Temperature tolerance in frozen food processing. **Industrial & Engineering Chemistry**, [Washington], v. 47, n. 6, p. 1149-1151, June 1955. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie50546a018>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- SHANKS, B. C.; WULF, D. M.; MADDOCK, R. J. Technical note: the effect of freezing on Warner-Bratzler shear force values of beef longissimus steaks across several postmortem aging periods. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, n. 8, p. 2122-2125, Aug. 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12211381/>. Acesso em: 13 mar. 2021.

SHECHMEISTER, I. L. Desinfection, sterilization and preservation. *In: Sterilization by ultraviolet irradiation*. 4th ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1991. p. 553-569.

SILVA, D. R. G. *et al.* Reducing the safety risk of low nitrite restructured sliced cooked ham by gamma radiation. **Journal of Food Processing and Preservation**, [Malden], v. 45, n. 1, p. 1-8, Jan. 2021. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jfpp.15071>. Acesso em: 15 maio 2021.

SILVA, J. C. J. Tópicos em Métodos Espectroquímicos. Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). **Revisão Conceitos Fundamentais**, [Juiz de Fora], 2015. Disponível em: https://www.ufjf.br/baccan/files/2010/10/Aula-2-Introdu%C3%A7%C3%A3o_UV-Vis-2015.pdf. Acesso em: 18 jul. 2021.

SIQUEIRA, A. A. *et al.* MicroFit: um software gratuito para desenvolvimento e ajuste de modelos matemáticos de crescimento bacteriano. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 329-339, out./dez. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/pgCXxQKHnNvDYTDJYfN5pxC/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 18 jun. 2021.

SITZ, B. M. *et al.* Consumer sensory acceptance and value of wet-aged and dry-aged beef steaks. **Journal of Animal Science**, [Champaign], v. 84, n. 5, p. 1221–1226, May 2006. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16612025/>. Acesso em: 16 dez. 2019.

SOUZA, F. A. **Processos fermentativos em resíduos agroindustriais utilizando a levedura *Yarrowia lipolytica* QU69**. 2018. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2018.

STUBY, M. A.; LAMKEY, J. W.; DOLEZAL, H. G. **The effect of freezing on aging of beef animal science research report**. Oklahoma: Stillwater, 1993. p. 55-59.

SUZUKI, K. The structure of calpains and the calpain gene. *In: MELLGREN, R. L.; MURACHI, T. (eds.). Intracellular calcium-dependent proteolysis*. Boca Raton: CRC press, 1990. p. 25-35.

TAYLOR, R. G. *et al.* Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization? **Journal of Animal Science**, [Champaign], v. 73, n. 5, p. 1351–1367, May 1995. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7665364/>. Acesso em: 22 jul. 2019.

UTRERA, M.; MORCUENDE, D.; ESTÉVEZ, M. Temperature of frozen storage affects the nature and consequences of protein oxidation in beef patties. **Meat Science**, [Oxford], v. 96, n. 3, p. 1250-1257, Mar. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174013005901>. Acesso em: 24 jul. 2021.

VARNAM, A.; SHUTERLAND, J. P. Carne e produtos cárnicos. *In: Carne cocida y productos cárnicos cocidos*. Zaragoza: Editorial Acribia, 1998. cap.5, p. 219-270.

WEAVER, A. D.; BOWKER, B. C.; GERRARD, D. E. Sarcomere length influences postmortem proteolysis of excised bovine semitendinosus muscle. **Journal of Animal Science**, [Champaign], v. 86, n. 8, p. 1925–1932, Aug. 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18375664/>. Acesso em: 15 maio 2019.

WHIPPLE, G. *et al.* Predicting beef-longissimus tenderness from various biochemical and histological muscle traits. **Journal of Animal Science**, [Champaign], v. 68, n. 12, p. 4193–4199, Dec. 1990. Disponível em: <https://academic.oup.com/jas/article-abstract/68/12/4193/4705673?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 22 abr. 2019.

WHIPPLE, G.; KOOHMARAIE, M. Freezing and calcium chloride marination effects on beef tenderness and calpastatin activity. **Journal of Animal Science**, [Champaign], v. 70, n. 10, p. 3081–3085, Oct. 1992. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1429284/>. Acesso em: 14 maio 2021.

YIM, D.-G. *et al.* Combined effect of aging and irradiation on physicochemical quality of pork shoulder. **Food Science of Animal Resources**, [New York], v. 39, n. 3, p. 510–519, June 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31304478/>. Acesso em: 25 maio 2020.

YIM, D.-G. *et al.* Combined effect of irradiation and ageing condition on physicochemical and microbial quality of hanwoo eye of round. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, [South Korea], v. 35, n. 3, p. 406–412, June 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4662364/>. Acesso em: 22 jun. 2020.

YOUNG, O. A.; GRAAFHUIS, A. E.; DAVEY, C. L. Post-mortem changes in cytoskeletal proteins of muscle. **Meat Science**, [Oxford], v. 5, n. 1, p. 41–55, Dec. 1980. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0309174080900078>. Acesso em: 24 set. 2019.

ZHANG, W. G. *et al.* Contribution of postmortem changes of integrin, desmin and μ -calpain to variation in water holding capacity of pork. **Meat Science**, [Oxford], v. 74, n. 3, p. 578–585, Nov. 2006. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22063062/>. Acesso em: 21 dez. 2019.

ZIMMERMANN, M. **Resistência de esporos de *Byssochamys fulva* e *Bacillus coagulans* em polpa de tomate sob condições isotérmicas, não isotérmicas e de altas pressões hidrostáticas**. 2012. 154 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.