

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA  
CÂMPUS DE BOTUCATU

EFICIÊNCIA DA CRESCENTE ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA DE MÉDIA VOLTAGEM  
EM MEIAS CARCAÇAS *BOS TAURUS INDICUS* NO FINAL DO ABATE NA  
QUALIDADE DO CONTRAFILÉ DURANTE A MATURAÇÃO

JANAINA PRIETO DE OLIVEIRA

Trabalho de Dissertação apresentado como parte das exigências para obtenção do título de Mestre do Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Zootecnia.

Botucatu, SP  
Julho de 2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA  
CÂMPUS DE BOTUCATU

EFICIÊNCIA DA CRESCENTE ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA DE MÉDIA VOLTAGEM  
EM MEIAS CARCAÇAS *BOS TAURUS INDICUS* NO FINAL DO ABATE NA  
QUALIDADE DO CONTRAFILÉ DURANTE A MATURAÇÃO

JANAINA PRIETO DE OLIVEIRA  
Zootecnista/Médica Veterinária

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Oliveira Roça.  
Co-orientador: Dr. Guilherme Sicca Lopes  
Sampaio.

Trabalho de Dissertação apresentado como parte  
das exigências para obtenção do título de Mestre  
do Curso de Mestrado do Programa de Pós-  
graduação em Zootecnia.

Botucatu, SP  
Julho de 2020

O48e Oliveira, Janaina Prieto  
Eficiência da crescente estimulação elétrica de média voltagem em meias carcaças  
Bos taurus indicus no final do abate na qualidade do contrafilé durante a maturação /  
Janaina Prieto Oliveira. -- Botucatu, 2020  
87 p. : il., tabs.  
  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de  
Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu  
Orientador: Roberto de Oliveira Roça  
Coorientador: Guilherme Sicca Lopes Sampaio  
  
1. Carne bovina. 2. Tecnologia de alimentos. 3. Estimulação elétrica. 4. Carne  
Indústria. 5. Carne Qualidade. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária e  
Zootecnia, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

## **BIOGRAFIA DA AUTORA**

JANAINA PRIETO DE OLIVEIRA, filha de Amilton de Oliveira e Maria de Lourdes Prieto de Oliveira, nasceu em Colorado, Paraná, Brasil, no dia 04 de 06 de 1988. Em janeiro de 2009, iniciou o curso de Zootecnia na Universidade Estadual de Maringá-UEM, graduando-se em Dezembro de 2013, posteriormente formou-se no curso de Medicina Veterinária no Centro Universitário de Maringá- UNICESUMAR, graduando-se em dezembro de 2017. Em março de 2018, iniciou no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, nível de Mestrado acadêmico, área de conhecimento-Tecnologia de Produtos de Origem Animal, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Botucatu. No dia 07 de fevereiro de 2020, submeteu-se à banca para a qualificação da Dissertação e no dia 10 de junho de 2020 realizou sua defesa.

Nome do Autor: Janaina Prieto de Oliveira

Título: EFICIÊNCIA DA CRESCENTE ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA DE MÉDIA VOLTAGEM EM MEIAS CARCAÇAS *BOS TAURUS INDICUS* NO FINAL DO ABATE NA QUALIDADE DO CONTRAFILÉ DURANTE A MATURAÇÃO

### **COMISSÃO EXAMINADORA**

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Roça (Presidente e orientador)

Departamento de Melhoramento Genético e Nutrição Animal-FMVZ

DMNA - UNESP - Botucatu, SP

Prof. Dr. Sérgio Bertelli Pflanze (Membro Titular)

Faculdade de Engenharia de Alimentos -Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP-

Campinas, SP

Prof. Dr. Ana Maria Bridi (Membro Titular)

Universidade Estadual de Londrina -UEL- Londrina, PR

## DEDICATÓRIA

*Ó Deus, minha família, minha avó  
em memória e a todas as pessoas que  
acreditaram que sou capaz.*

*Com carinho, dedico.*

*“Enquanto estiver vivo, sinta-se vivo.*

*Se sentir saudades do que fazia, volte a fazê-lo.*

*Não viva de fotografias amareladas.....*

*Continue, quando todos esperam que desistas.*

*Não deixe que enferruje o ferro que existe em você.*

*Faça com que em vez de pena, tenham respeito por você.*

*Quando não conseguir correr através dos anos, trote.*

*Quando não conseguir trotar, caminhe.*

*Quando não conseguir caminhar, use uma bengala.*

*Mas nunca se detenha”.*

*Madre Teresa de Calcutá<sup>†</sup>*

## AGRADECIMENTOS

### *A DEUS...*

À minha **mãe, Lourdes e meu pai Amilton** por sempre acreditarem nos meus sonhos, objetivos e escolhas.

Às minhas **irmãs Célia e Vitória** pela paciência nos momentos de dificuldades, conselhos, compreensão durante minha ausência.

Ao meu noivo **Thassio** pelo companheirismo, ensinamentos de resiliência, empatia e conselhos cheios de amor e sabedoria.

À minha **Tia Fátima**, segunda mãe, que mesmo distante sempre apoiou e sonhou este e muitos outros sonhos ao meu lado.

À minha **sogra e cunhados** que apoiam e compartilham boas energias, agradeço pelo carinho.

Às minhas amigas **Lara, Bruna, Nayara, Aline, Edilaine, Daniela e Francine** que sempre fizeram presentes.

Ao meu **orientador, Prof. Roberto de Oliveira Roça**, pelos ensinamentos, amizade, conselhos e acolhimento, por toda a resiliência e empatia nestes dois anos trabalhando juntos.

Ao meu **coorientador, Dr. Guilherme Sicca Lopes Sampaio**, pelo aprendizado profissional.

Aos colegas de grupo e estagiários **Luciana, Bruno, Letícia, Carolina, Nara, Evelyn, Bruna, Iasmin, Doze, Thais, Andressa, Beatriz** pela parceria, ensinamentos, amizade e conselhos nos momentos difíceis.

Ao professor, **Dr. Sérgio Bertelli Pflanzler** e sua equipe as queridas **Anas** (orientadas), pelo profissionalismo, compartilhando seu conhecimento com nossa equipe e incentivando a realização deste trabalho.

À **Profª. Dr. Priscila Veiga** pelos diversos conselhos e ensinamentos, paciência e por tornar os meus dias mais leves com suas palavras de carinho e amizade.

Ao **Prof. Dr. Eduardo Fracisque Delgado** e sua aluna de doutorado **Giuliana Micai** pela paciência e colaboração no trabalho.

A toda equipe de pós-graduação em Zootecnia, especial á **Cláudia**, pela gentileza e paciência durante toda permanência no programa.

Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, pela concessão da bolsa de mestrado processo **134368/2018-5**.

Aos colegas da **Igreja CCB** pelo acolhimento, amizade e espiritualidade.

À Dona **Cida, João e Nilton** pelos muitos cafezinhos, conversas e ajuda no desenvolvimento das atividades.

A **Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”** e seu corpo docente, discente e técnico, pelo apoio para realização dessa pesquisa.

A **CAPES**- O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos que passaram por minha vida durante essa jornada, em especial as pessoas difíceis que tive que enfrentar.

**Muito obrigada!**

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Monitoramento do pH e temperatura do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo <i>post-mortem</i> .....	71
Tabela 2. Desdobramento das interações oriundas do monitoramento do pH e temperatura do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo <i>post-mortem</i> .....	72
Tabela 3. Monitoramento da diferença do pH e temperatura do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo <i>post-mortem</i> .....	73
Tabela 4. Desdobramento das interações oriundas do monitoramento da diferença de pH do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo <i>post-mortem</i> .....	74
Tabela 5. Parâmetros de qualidade sensorial do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> avaliados com 2 dias de maturação.....	75
Tabela 6. Monitoramento da qualidade sensorial do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo de maturação.....	76
Tabela 7. Monitoramento da diferença de qualidade sensorial do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo de maturação.....	77
Tabela 8. Ocorrência percentual e Intervalo de Confiança 95% de carne macia ( $WBSF \leq 4,4$ kg) em relação ao tempo de maturação.....	78

## FIGURAS

<b>Capítulo 1</b> .....	<b>1</b>
Figura 1. Fluxograma dos efeitos da estimulação elétrica na qualidade da carne.....	12
Figura 2. Declínio ideal do pH e da temperatura após o abate.....	18
Figura 3. Etapas da ativação das calpaínas e maciez da carne. ....	25
<b>Capítulo 2*</b> .....	<b>44</b>
Figura 1. Relação entre pH e temperatura do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> , em relação às condições para ocorrência de “ <i>Cold Shortening</i> ” e “ <i>High Rigor Temperature</i> ” ( <i>Heat Toughening</i> ). ....	66
Figura 2. Temperatura <i>post-mortem</i> média das carcaças no pH muscular de 6,0.....	67
Figura 3. Tempo <i>post-mortem</i> médio para as carcaças atingir o pH 6,0.....	68
Figura 4. Equação linear com Intervalo de Confiança 95% da relação entre a área do gráfico $\Delta$ WBSF (Controle-Estimulado) e a área do gráfico $\Delta$ pH (Controle-Estimulado), em consideração ao tempo <i>post-mortem</i> .. ....	69
Figura 5. Monitoramento da diferença de maciez ( $\Delta$ WBSF) do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo de maturação.....	70

## SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 .....	1
CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	2
1. INTRODUÇÃO.....	2
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. CENÁRIO DA PRODUÇÃO DE CARNE NO BRASIL.....	4
2.2. QUALIDADE E MACIEZ DA CARNE DE ANIMAIS <i>BOS TAURUS INDICUS</i> E <i>BOS TAURUS TAURUS</i> .....	6
2.3. ESTABELECIMENTO DO <i>RIGOR MORTIS</i> E CONVERSÃO DO MÚSCULO EM CARNE .....	8
2.4. ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA.....	10
2.4.1. Tipos de estimulação elétrica.....	13
2.4.2. Estimulação elétrica e o encurtamento pelo frio “cold shortening” .....	14
2.4.3. Estimulação elétrica e o encurtamento pelo calor “heat shortening” .....	17
2.4.4. Efeitos da estimulação elétrica na capacidade de retenção de água da carne.....	19
2.4.5. Efeitos da estimulação elétrica na cor da carne .....	20
2.4.6. Efeitos da estimulação elétrica na maciez da carne .....	22
2.5. MACIEZ E MATURAÇÃO .....	24
3. OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	27
3.1. OBJETIVO GERAL.....	27
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
3.3. HIPÓTESES DO ESTUDO .....	27
4. REFERÊNCIAS .....	28
CAPÍTULO 2*.....	44
<b>Resumo</b> .....	45
<b>Abstract</b> .....	46
<b>1. Introdução</b> .....	47
<b>2. Material e Métodos</b> .....	49
2.1. <i>Delineamento experimental</i> .....	49
2.2. <i>Colheita das amostras</i> .....	50
2.3. <i>Processamento das amostras</i> .....	50

2.3.1. <i>Cor instrumental</i> .....	50
2.3.2. <i>Perda de peso por cozimento</i> .....	51
2.3.3. <i>Força de cisalhamento</i> .....	52
2.3.4. <i>Perda por gotejamento livre</i> .....	52
2.3.5. <i>Comprimento do sarcômero</i> .....	53
2.4. <i>Análise estatística</i> .....	54
<b>3. Resultados e Discussão</b> .....	57
3.1 <i>Monitoramento do pH e temperatura em relação ao tempo post-mortem, e seus efeitos nos parâmetros de qualidade do M. longissimus thoracis et lumborum durante a maturação</i> .....	57
<b>4. Conclusão</b> .....	65
<b>5. Referências</b> .....	79
CAPÍTULO 3 .....	85
1. IMPLICAÇÕES .....	86

## CAPÍTULO 1

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

### 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui importância mundial quanto a produção e exportação de carnes, com o segundo maior rebanho bovino mundial, possui destaque econômico para a cadeia produtiva da carne bovina, que abateu 32,44 milhões de cabeças no ano de 2019 (IBGE, 2020), com as exportações ultrapassando países como Austrália e Índia (USDA, 2019a). A pecuária de corte brasileira é caracterizada pela dependência quase que exclusiva de pastagens, principalmente para cria e recria dos bovinos, com predominância de carne proveniente de animais da raça *Bos indicus* (FERRAZ; FELÍCIO, 2010; OLIVEIRA; MILLEN, 2014), não castrados, que produzem carcaças magras, propensas ao endurecimento da carne devido ao encurtamento pelo frio, além de maturação lenta e com poucos efeitos na maciez, em comparação com os animais da raça *Bos taurus*. Este tipo de carcaça representa vários desafios tecnológicos para as indústrias da carne bovina, tanto para otimizar a produção e melhorar o retorno econômico, como evitar prejuízos às características sensoriais da carne *in natura* produzida (GURSANSKY et al., 2010; O'CONNOR et al., 1997).

Após o abate e durante o resfriamento das carcaças bovinas ocorre o processo de transformação do músculo em carne, este processo caracteriza-se pela glicólise anaeróbica e contração muscular *post-mortem*, que resultam na redução do pH muscular e no estabelecimento do *rigor mortis* (DEVINE, 2014). Entretanto, durante a contração *post-mortem* pode ocorrer o encurtamento do sarcômero muscular, que resultará no endurecimento da carne, condição conhecida como “encurtamento pelo frio”, ou *cold shortening* (HONIKEL, 2014). Este fenômeno ocorre durante o resfriamento, antes do estabelecimento do *rigor mortis*, principalmente quando a temperatura da carcaça está abaixo de 10 °C e o pH muscular acima de 6,0 (SAVELL et al., 2005).

Neste sentido, as indústrias processadoras de carne estão concentrando atenção em tecnologias que proporcionem maior qualidade aos produtos. Nesta perspectiva, a técnica de estimulação elétrica (EE) de carcaças bovinas durante o processo de abate tem sido utilizada pelas indústrias para minimizar os efeitos do *cold shortening* e promover as características sensoriais de maciez e coloração da carne (ADEYEMI; SAZILI, 2014; POLIDORI; VINCENZETTI, 2017; SIMMONS et al., 2008). Esta técnica consiste na propagação de corrente elétrica pela carcaça com o objetivo de aumentar a contração muscular e a taxa glicolítica, o que resulta no aumento da velocidade de redução do pH e antecipação da

instalação do *rigor mortis* (HWANG; THOMPSON, 2002; HOPKINS et al., 2014; LI et al., 2012).

Atualmente a indústria tem adotado três tipos de EE, uma consiste na EE de meias carcaças com alta voltagem (>300V), EE de baixa voltagem (<100V) (DEVINE et al., 2014) e a EE de média voltagem com picos entre 100V e 300V (ZHANG et al., 2019). Embora a EE de alta voltagem seja o tipo mais eficiente para promover a maciez da carne, este sistema apresenta alto custo de implantação e manutenção, uma vez que exige complexa infraestrutura e adoção de vários procedimentos de segurança devido a sua periculosidade, além disso, sistemas mal dimensionados e ajustados estão associados à depreciação da carcaça e cortes cárneos, assim como problemas na infraestrutura da indústria (BHAT et al., 2019; DEVINE et al., 2014; SIMMONS et al., 2008). O outro sistema consiste na EE de carcaças com baixa voltagem (<100V), utilizado imediatamente após a sangria, buscando utilizar a integridade do sistema nervoso para propagação da corrente elétrica pela carcaça (DEVINE et al., 2014; KIM et al., 2013; SIMMONS et al., 2008; STRYDOM; FRYLINCK, 2014). Recentemente uma nova geração de média tensão (100V a 300V) está sendo utilizada na indústria, estes sistemas demonstraram resultados efetivos em carcaças ovinas (PEARCE et al., 2009), no entanto há uma escassez de dados para carcaças bovinas (ZHANG et al., 2019), com estudos concluindo que esse novo sistema pode acelerar efetivamente a taxa de declínio do pH além de serem sistemas mais seguros em comparação aos sistemas de alta tensão (HOPKINS et al., 2014; ZHANG et al., 2019).

Inúmeros fatores intrínsecos e extrínsecos estão relacionados com a eficiência da EE em promover a maciez e coloração da carne, como tipo de músculo (oxidativo ou glicolítico), concentração pré-abate de glicogênio muscular, tamanho e composição das carcaças, parâmetros elétricos utilizados (corrente, tensão, frequência e forma do pulso), posição dos eletrodos na carcaça, duração da estimulação, intervalo entre o abate e a estimulação, assim como o sistema de resfriamento das carcaças (ADEYEMI; SAZILI, 2014; DEVINE et al., 2014; HOPKINS, 2012; POLIDORI; VINCENZETTI, 2017). Durante a maturação, a eficiência enzimática é o principal aspecto responsável pela maciez da carne bovina *in natura* (DRANSFIELD, 1993; KIM et al., 2013). Este também é o principal motivo da diferença de maciez entre as carnes de zebuínos e taurinos, uma vez que animais *Bos taurus indicus* apresentam menor e mais lenta atividade proteolítica muscular no *post-mortem* (CARVALHO et al., 2014; COUTINHO et al., 2017; RODRIGUES et al., 2017; ROSA et al., 2018). Nesse sentido, a aceleração nas transformações *post-mortem* de carcaças *Bos taurus indicus*

eletricamente estimuladas podem resultar em carnes mais macias por maior tempo em relação às não estimuladas.

Na prática industrial brasileira, observações empíricas (visual) sugerem que protocolos elétricos com tensão contínua (fixa) resultam na redução progressiva da intensidade da contração muscular das meias carcaças durante a estimulação elétrica realizada no final do abate, o que gera a teoria de que as meias carcaças gradativamente reduzem a capacidade de responder aos estímulos elétricos (dessensibilizam/fadigam). Portanto, hipotetiza-se que protocolos de estimulação elétrica de meias carcaças no final do abate utilizando tensões crescentes poderiam manter a intensidade da contração muscular e resultar na melhoria e otimização dos parâmetros de qualidade do contrafilé, em relação ao protocolo tradicional realizado com tensão contínua. Adicionalmente, também poderia resultar na obtenção de carne mais macia, mesmo com a realização da maturação comercial e, principalmente, em relação às meias carcaças não estimuladas, uma vez que se tratam de animais *Bos taurus indicus*.

Ademais, a velocidade de redução do pH tem sido o principal indicador de eficiência da estimulação elétrica de carcaças bovinas (HWANG; THOMPSON, 2001). Entretanto, a prática industrial com protocolos de estimulação elétrica sugere que a velocidade de redução do pH *post-mortem* e o incremento de maciez do contrafilé não são diretamente proporcionais. O incremento e a constância da maciez do contrafilé são o principal objetivo das indústrias brasileiras com o uso da tecnologia de estimulação elétrica em carcaças *Bos taurus indicus*. A partir do exposto, objetivou-se avaliar a eficiência do uso de tensões elétricas crescente de média voltagem em carcaças *Bos taurus indicus* no final do abate, na qualidade do contrafilé submetido a diferentes tempos de maturação.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. CENÁRIO DA PRODUÇÃO DE CARNE NO BRASIL**

A importância econômica da cadeia produtiva da carne bovina brasileira é muito conhecida e pode ser demonstrada pelos 32,44 milhões de cabeças abatidas no ano de 2019 (IBGE, 2020). O Brasil encerrou o ano de 2019 registrando crescimento de 1,3% acima do registrado em 2018 no PIB agropecuário (IBG, 2020), com as exportações de carne *in-natura* alcançando crescimento de 12,2%, comparado ao ano anterior (ABIEC, 2020). O Brasil é um dos mais importantes produtores de carne bovina, resultado de décadas de investimento em tecnologias que elevou não só a produtividade como também a qualidade do produto brasileiro, tornando-se competitivo, alcançando mercados em mais de 150 países (MCMANUS et al., 2016).

A ocupação do espaço geográfico e do território brasileiro é preocupação constante do agronegócio, sociedade e poder público e incentivos compatíveis com o desenvolvimento de políticas públicas de preservação e uso da terra de forma sustentável é apoiada por órgãos públicos e entidades do setor agropecuário para expansão da pecuária brasileira (CAMPOS; LINI, 2019). Nos últimos dez anos o rebanho brasileiro apresentou crescimento de 6,2% (ABIEC, 2019), consequência das expansões de regiões como norte e centro-oeste, onde a presença de vários elementos favoráveis como fatores geográficos e socioeconômicos serviram de impulso para esse crescimento, acompanhado do desenvolvimento do setor agropecuário, que possui destaque econômico para o país (BARCELLOS et al., 2013; MCALPINE et al., 2009; MCMANUS et al., 2016). O Brasil tem preços relativamente baixos para terra e mão-de-obra o que ajuda a compor o quadro competitivo para produtos agropecuários (BARCELLOS et al., 2013; FERRAZ; FELÍCIO, 2010; MCMANUS et al., 2016), com aproximadamente 25% da população brasileira (49 milhões de pessoas) trabalhando com agronegócio.

Na última década o Brasil melhorou sua competitividade, aumentou o volume de carne produzida de forma eficiente (ABIEC, 2019), com grande parte de seus animais em sistemas de pastagem e curtos períodos de confinamento. O rebanho brasileiro de gado de corte é constituído 80% por animais da raça Nelore e cruzamentos com outras raças zebuínas, com grande representatividade para o país (FERRAZ; FELÍCIO, 2010; MAZZETTO et al., 2015), apresentam características satisfatórias para as regiões tropicais, tornando-a uma boa alternativa para produção de carne no Brasil, que possui grandes extensões de terras em sistemas extensivos de pastagens (GIUSTI et al., 2013; RILEY et al., 2019).

O crescimento populacional acompanha a demanda por alimentos, espera-se nos próximos trinta anos aumento de dois bilhões na população mundial, crescimento do PIB de países subdesenvolvidos e maior demanda por alimento em todo o planeta (ENAHORO et al., 2019; SEARCHINGER et al., 2019; WICKS et al., 2019). Este crescimento acompanha a necessidade de atender grandes contingentes populacionais que não conseguem produzir seu próprio alimento em quantidades suficientes, a exemplo na produção de proteína animal, com a pressão colocada na indústria e na cadeia produtiva da carne para atender esses grandes contingentes, criando oportunidades para grandes produtores (SEARCHINGER et al., 2019). Diante da fragilidade de mercados importantes para o setor cárneo como Austrália no ano de 2019, países como o Brasil se destacou ainda mais na produção de proteína animal, com aumento de embarques de animais vivos e produtos cárneos processados e *in-natura*, criando um cenário interno de alta valorização do produto, impulsionado pela demanda interna estável e sólido crescimento das exportações para os principais mercados asiáticos, favorecida por

acordos políticos e crises sanitárias (ABIEC, 2020).

A busca por segurança e qualidade na produção de alimentos de origem animal acompanha o crescimento e a valorização da matéria prima na produção de carnes, e o conhecimento associado a atividades de desenvolvimento que incentivem as metas de intensificação na cadeia da carne cresceu nos últimos anos (BOWMAN et al., 2012; MCMANUS et al., 2016). A qualidade da carne ou de outro produto pode ser definida quando as expectativas de segurança e satisfação dos consumidores são atendidas, principalmente aos atributos sensoriais como cor, maciez, sabor e suculência, influenciando a decisão de compra e preferência (DEVLIN et al., 2017; JONGE; VAN, 2013).

No Brasil há predominância de carne proveniente de animais da raça *Bos taurus indicus* não castrados, que produzem carcaças magras (FERRAZ; FELÍCIO, 2010), propensas ao endurecimento da carne devido ao encurtamento pelo frio, além de maturação lenta e com poucos efeitos na maciez, em comparação com os animais da raça *Bos taurus*, representando vários desafios tecnológicos para as indústrias da carne bovina, tanto para otimizar a produção e melhorar o retorno econômico, como evitar prejuízos às características sensoriais da carne *in natura* produzida (GURSANSKY et al., 2010; O'CONNOR et al., 1997). Assim, o conhecimento de tecnologias que otimizem a produção de carnes oriundas de animais *Bos taurus indicus* pode aumentar a competitividade do Brasil entre países produtores de carne bovina, com a abertura e o estabelecimento de novos mercados, produção mais uniforme, implicando em maior aceitação pelos consumidores, permitindo agregar valor diferencial ao produto produzido.

## 2.2. QUALIDADE E MACIEZ DA CARNE DE ANIMAIS *BOS TAURUS INDICUS* E *BOS TAURUS TAURUS*

A maciez da carne bovina é considerada pelos consumidores um dos atributos qualitativos de maior importância, e a relação negativa entre a maciez e a porcentagem genética de zebrúinos nos cruzamentos estabelece um cenário desafiador (FERGUSON et al., 2000; GIUSTI et al., 2013; RILEY et al., 2019) para a bovinocultura de corte brasileira. O grau reduzido na maciez de carnes com participação de animais *Bos taurus indicus* em seus cruzamentos é relacionada ao elevado teor de calpastatina presente na composição genética desta raça, inibindo a ação de enzimas proteolíticas como as calpaínas, principais proteases envolvidas no processo de maturação e maciez da carne no *post-mortem* (DRANSFIELD, 1993; FERGUSON et al., 2000; GURSANSKY et al., 2010; RILEY et al., 2019). Estudos observaram relação positiva entre a maior porcentagem de genes *Bos taurus indicus* e diminuição na maciez da carne (FERGUSON

et al., 2000; GURSANSKY et al., 2010; GIUSTI et al., 2013; O'CONNOR et al., 1997; RILEY et al., 2019), comprovando que animais com menos de 25% de genes *Bos taurus indicus* apresentaram características de qualidade semelhante a *Bos taurus taurus* (FERGUSON et al., 2000). A carne de animais *Bos taurus taurus* segundo Ferguson et al., 2000, Gursansky et al., 2010 e Riley et al., 2019, já estaria passando por um processo de maturação nas primeiras horas *post-mortem*, enquanto a de *Bos taurus indicus* e seus mestiços teria um processo mais lento, com menor velocidade e extensão dos efeitos proteolíticos, dificultando a obtenção de produtos com características superiores no Brasil (CHARDULO et al., 2013).

A carne proveniente de animais *Bos taurus taurus* é considerada de qualidade superior quando comparada a de animais zebuínos, pela avaliação do sistema de qualidade norte-americano USDA Quality Grade, no qual há penalização principalmente pela ausência de gordura intramuscular nos bifés. Em estudos de cruzamentos com *Bos taurus indicus* (Brahman X Sahiwal), Koch et al. 1982, encontraram menores valores de gordura intramuscular e piores classificações de qualidade para todos os pontos de terminação avaliados. Outro sistema de classificação de padrões de qualidade da carne, mas que envolve avaliação dos animais com diferentes tipos biológicos, é o sistema australiano MSA-Meat Standard Australia. Neste sistema o desconto de pontos é feito pela presença do cupim nos animais, considerando assim uma característica intrínseca ao tipo biológico. Na avaliação de oito diferentes genótipos produzidos no cruzamento terminal entre diversos tipos biológicos com matrizes Brahman, os animais puros Brahman foram os únicos a não se enquadrar nos requisitos mínimos de qualidade propostos pela MSA-Meat Standard Australia, segundo Schutt et al. 2009.

No Brasil, a qualidade da carne ainda está muito atrelada a aspectos sanitários, apesar de existir um Sistema Brasileiro de Classificação de Carcaças Bovinas (BRASIL, 1989), a classificação de qualidade bem como a disponibilidade de marcas de carne que preconizam qualidade estão atreladas as raças bovinas com demanda para carne de qualidade, no entanto, baixa oferta. A grande produção de carne está baseada em animais com grande contribuição genética da raça zebuína Nelore, que é responsável pela formação da base do rebanho nacional (FERRAZ; FELÍCIO, 2010). Este tipo biológico foi escolhido pela alta adaptabilidade climática, bem como eficiência produtiva a pasto e resistência parasitária GIUSTI et al., 2013; POPPI et al., 2018. No entanto, a carne proveniente de animais desta raça apresenta menor efetividade no processo de amaciamento, exigindo longos períodos de maturação, para atingir valores de maciez considerados satisfatórios (GURSANSKY et al., 2010; O'CONNOR et al., 1997). Outra importante questão é a alta demanda de carne a custo baixo pelo mercado consumidor brasileiro, fato que dificulta a adoção pela indústria frigorífica, de técnicas simples

de amaciamento, como a maturação. Dessa forma, grande parte do produto que está à disposição dos consumidores, se não atrelado a marca de qualidade e custo maior, apresenta grande variação quanto a maciez, que é considerada insatisfatória. A qualidade da carne produzida nas condições brasileiras pode ser considerada como um ponto fraco para a indústria de carne nacional, sendo que existe percepção do mercado consumidor interno quanto às diferenças de maciez e há valorização de carnes macias (DELGADO et al., 2006), neste sentido o uso de tecnologias que melhore essas condições vem se destacando no cenário produtivo nos últimos anos (FERGUSON et al., 2000; GURSANSKY et al., 2010), buscando agregar valor ao produto produzido.

### 2.3. ESTABELECIMENTO DO *RIGOR MORTIS* E CONVERSÃO DO MÚSCULO EM CARNE

Após o abate e durante o resfriamento das carcaças ocorre o processo de transformação do músculo em carne. Este processo caracteriza-se pela glicólise anaeróbica e contrações musculares *post-mortem*, resultando na redução do pH devido ao acúmulo do produto final da glicólise no músculo e a falta de um mecanismo de eliminação eficaz (DEVINI, 2014; MATARNEH et al., 2017). A produção contínua de ATP no *post-mortem* a partir de ADP + fosfato ocorre através da degradação anaeróbica do glicogênio presente no músculo, com acúmulo de ácido láctico/lactato e diminuição no pH muscular.

A transformação do músculo em carne reúne eventos biofísicos e bioquímicos sucessivos que inicia com o estado fisiológico do animal ainda vivo, com fortes influências de fatores intrínsecos e extrínsecos como biologia da carne (músculo esquelético), sistema de produção, manejo, ambiente, genética, manejo pré-abate, armazenamento e manuseio *post-mortem*, aspectos esses relacionados as mudanças na qualidade da carne pós abate (BOTE, 2017). A taxa e extensão do metabolismo *post-mortem* influencia significativamente o desenvolvimento de atributos de qualidade na carne, o pH *post-mortem* pode apresentar declínio acelerado, estendido ou insuficiente, influenciando negativamente parâmetros de cor, textura, capacidade de retenção de água e suculência (MATARNEH et al., 2017).

A queda no pH influencia várias enzimas da via glicogenólica, além de diminuir a concentração de glicogênio para resíntese e homeostase do ATP (ÁLVAREZ et al., 2019). Os músculos são constituídos por uma série de proteínas, sendo que as principais são a actina (filamentos finos) e a miosina (filamentos grossos) que respondem por aproximadamente 75 a 80% do total das proteínas miofilamentares. Estes filamentos de actina e miosina apresentam uma alta afinidade eletrônica e ligações estáveis que recebe o nome de ponte cruzada, organizam-

se de tal forma que uma pode se deslizar sobre a outra, através da contração das células musculares, levando ao encurtando das miofibrilas com gasto energético e utilização de ATP (MATARNEH et al., 2017; BOTE, 2017).

Durante as contrações musculares o cálcio possui importante função ao expor um sítio de ligação da miosina a proteína actina, sem este íon não ocorre contração e a musculatura permanece no estado de relaxamento. A liberação de íons de cálcio no retículo sarcoplasmático aumenta *post-mortem* com o declínio do pH, e a bomba de íons (acionada por ATP) se torna ineficiente, com acúmulo de cálcio e início do rigor muscular e formação das pontes cruzadas de actina e miosina. As ligações do ATP à cabeça da miosina e a eficiência da bomba de íons na membrana retículo sarcoplasmático (SR) são fortemente reduzidas com acúmulo de cálcio intracelular (ÁLVAREZ et al., 2019; DEVINE, 2014; MATARNEH et al., 2017). O início do *rigor mortis* é um evento que envolve todo o músculo, mas ocorre sequencialmente à medida que cada fibra individual fica sem ATP, dependendo do conteúdo de glicogênio em uma célula muscular, assim, nem todas as possíveis pontes cruzadas de actomiosina no músculo se formam ao mesmo tempo (BOTE, 2017; MATARNEH et al., 2017). A transformação do músculo em carne encerra-se com a resolução do *rigor* e início da maturação, que consiste na proteólise muscular pela ação de enzimas endógenas e perda das propriedades elásticas ao se esgotarem totalmente as reservas de trifosfato de adenosina (ATP) (DEVINE, 2014; HONIKEL, 2014a, 2014b; PUOLANNE; IMMONEN, 2014).

O músculo estriado é constituído por miofilamentos dispostos longitudinalmente, os quais permitem a contração muscular e estão localizados no interior das células musculares. As fibras musculares são constituídas por uma membrana externa (sarcolema) e por um citoplasma diferenciado (sarcoplasma), tomado por miofibrilas constituídas por unidades menores contrátil, estrutural e repetitiva, os sarcômeros. Essas estruturas apresentam importante papel no ciclo de contração e relaxamento nos músculos, e quando submetidas a baixas temperaturas antes da resolução do *rigor mortis*, principalmente quando a temperatura está abaixo de 12 °C e o pH muscular ainda acima de 6,0 podem encurtar (SIMMONS et al., 2008). O encurtamento dos sarcômeros ocorre principalmente em carnes de carcaças leves e magras devido a maior taxa de resfriamento, principalmente em câmaras eficientes, resultando em carnes com padrões de maciez reduzido (FERNÁNDEZ; VIEIRA, 2012; MIGUEL et al., 2014).

Assim, entender os fatores que controlam a taxa e a extensão do metabolismo *post-mortem* e estabelecimento do rigor pode influenciar a qualidade de produtos cárneos. Neste sentido, a otimização na taxa de declínio do pH e a antecipação de processos bioquímicos na transformação do músculo em carne proporcionaria maior estabilidade dos eventos fisiológicos

que antecedem o *rigor mortis*, minimizando perdas de atributos qualitativos para carnes armazenadas em baixas temperaturas (MATARNEH et al., 2017). Neste sentido, uso da estimulação elétrica foi sugerido por vários estudiosos como uma alternativa para acelerar a taxa glicolítica (devido as contrações musculares) e queda do pH *post-mortem*, minimizando efeitos como o encurtamento das fibras musculares pelo excesso de frio através da antecipação do *rigor mortis*, sendo uma oportunidade para produção de carnes dentro do sistema de criação praticado no Brasil.

#### 2.4. ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA

Os primeiros estudos sobre a estimulação elétrica são relatados a partir do ano de 1749, por Benjamin Franklin, que descobriu maior maciez *post-mortem* em carne de peru com aplicação de estímulos elétricos nestes animais (DEVINE et al., 2014). Novas investigações foram realizadas na década de 40 nos Estados Unidos, no entanto, tais estudos não conseguiram obter resultados significativos (MOTA et al., 2012), apenas a partir de 1950 e 1951 relatos surgem sobre o principal efeito da estimulação elétrica utilizada na indústria a partir de 1970 (DEVINE et al., 2014). A estimulação elétrica envolve a passagem de uma corrente elétrica através de um corpo/carcaça, levando a contraturas musculares, simulando a ação potencial nervosa, fazendo com que os músculos entrem em um ciclo de contração e relaxamento após a morte do animal (DEVINE et al., 2014; SABOW et al., 2017; SIMMONS et al., 2008). Essas contrações esgotam o restante de energia (glicogênio) presente no músculo *post-mortem* rapidamente, com acúmulo de ácido lático e diminuição do pH muscular (DEVINE et al., 2014; SIMMONS et al., 2006; SIMMONS et al., 2008).

Na prática industrial os sistemas de estimulação elétrica podem ser classificados em, estimulação elétrica de alta voltagem (>110V), baixa voltagem (<100V) (DEVINE et al., 2014; HWANG et al., 2003; TROY; KERRY 2010) e sistemas de média voltagem (100V a 300V) (HOPKINS et al., 2014; ZHANG et al., 2019). Estes sistemas produzem estimulações eficazes e vantagens e desvantagens que variam de acordo com os custos na implantação, manutenção, tipo de animal, infraestrutura, mão de obra disponível, tempo para estimulação *post-mortem* e mercado consumidor (DEVINE et al., 2014; LÓPEZ-CAMPOS et al., 2017; SIMMONS et al., 2008).

O conhecimento dos parâmetros utilizados em um sistema de estimulação elétrica é importante para o funcionamento e conhecimento do comportamento destes nas características da carne. A tensão (ALI et al., 2007), corrente (LLONCH et al., 2015), frequência (SIMMONS et al., 2006), duração do estímulo (COOK et al., 1996), tipo e posição dos elétrodos, vias (por

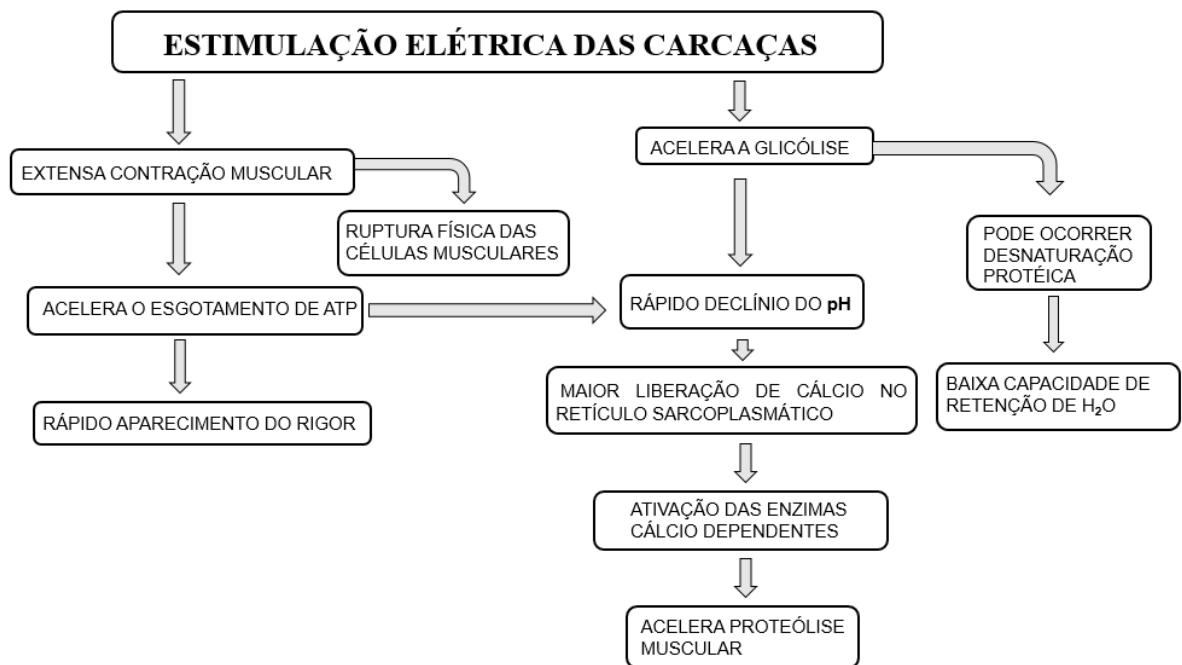
meio direta ou nervosa), forma de onda, largura do pulso, amplitude (DEVINE et al., 2014) e início de tempo entre o abate e a estimulação elétrica, podem ser fixos ou sofrer alta variabilidade dentro da indústria (BAHT et al., 2019; GURSANSKY et al., 2010). A variabilidade nos parâmetros descritos no uso comercial de estimuladores elétricos explica a discrepância nos trabalhos realizados sobre a eficácia desta tecnologia. Além disso outras variações como idade dos animais, espécies, raça, peso, categoria, condições de criação e transporte, assim como sistemas de resfriamento *post-mortem* das carcaças, influenciam na eficiência da estimulação elétrica, juntamente a quantidade de energia aplicada e a entregue as carcaças, relacionado a eficiência do equipamento e a padronização dos animais abatidos (HOCQUETTE et al., 2014; THOMPSON et al., 2006; WARNER et al., 2017b).

Algumas explicações possíveis são discutidas cientificamente sobre a capacidade da estimulação elétrica em otimizar a atividade de enzimas específicas como as calpaínas, associado ao rápido declínio do pH (HUGHES et al., 2014; WARNER et al., 2016). O baixo pH em temperatura elevada, foi discutido como o processo que governa a ativação e a inativação das proteases do sistema calpaína; ( $\mu$ -calpaína, m-calpaína e seu inibidor calpastatina); catepsinas lisossômicas (catepsina B, D, H e L) e complexo proteinase multicatalítica (BHAT et al., 2019; DRANSFIELD, 1993; WARNER et al., 2016). O aumento significativo do cálcio “livre” no sarcoplasma e a ativação de enzimas endógenas que degradam componentes da miofibrila são sugeridos como vantagens relacionadas a proteólise e uso da estimulação elétrica (DEVINE et al., 2014; KIM et al., 2012; ROEBER et al., 2000). Outros estudos associaram a melhora na maciez da carne com o uso da estimulação elétrica devido as rupturas físicas da matriz miofibrilar, facilitando a proteólise e a atividade enzimática, antecipando o processo de maturação (ROEBER et al., 2000; SABOW et al 2017; WARNER et al., 2017b).

A maior taxa de redução do pH resultante dos processos metabólicos *post-mortem* e o rompimento físico dos tecidos musculares, têm sido apontados como causas na melhoria significativa da qualidade de carnes estimuladas (DEVINE et al., 2014; ROEBER et al., 2000; SIMMONS et al., 2008). Após a queda do pH ocorre aceleração dependente da temperatura muscular na taxa glicolítica e subsequente desenvolvimento do *rigor mortis*, resultando da queda imediata do pH muscular que pode variar de 0,6 unidades de pH a 35 ° C a 0,018 unidades a 12 ° C, apresentando pH 6 antes que a temperatura atinja faixas de risco do encurtamento das fibras musculares ( $T\text{ }^{\circ}\text{C} < 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (BHAT et al., 2019; JUÁREZ et al., 2012; THOMPSON et al., 2006). Algumas evidências são observadas no uso padronizado da EE, ao contrário a ausência de padrões nos parâmetros pode estar limitando seu uso, consequência de uma possível visão de que a tecnologia é apenas um complemento no processamento, útil para evitar

encurtamento e endurecimento da carne pelo frio (BHAT et al., 2019; WARNER et al., 2017b). No entanto esta visão não é suportada na literatura pois há muitos casos em que ocorre melhorias significativas na qualidade da carne após estimulação elétrica, como estudado por Bhat et al. (2019); Devine, (2009); Devine et al. (2014); Warner et al. (2017b).

O uso da estimulação elétrica deve ser considerado como parte do processo total, desde do abate e resfriamento até a comercialização, aliado a controles de refrigeração e armazenamento durante o processamento. A combinação de estímulos elétricos e determinado período de maturação para atingir níveis de maciez desejados, sustenta o padrão de acondicionamento acelerado *post mortem*, demonstrado sua aplicabilidade para animais *Bos taurus indicus* (FERGUSON et al., 2000; WARNER et al., 2017b).



**Figura 1.** Fluxograma dos efeitos da estimulação elétrica na qualidade da carne. Adaptado de HENDRICK et al., (1989).

Atualmente a utilização da estimulação elétrica em plantas frigoríficas brasileiras faz parte do sistema de produção, seus benefícios na redução da dureza do produto final torna-se uma alternativa para a produção de carnes de animais *Bos taurus indicus*, elevando suas características ao de animais *Bos taurus taurus* segundo FERREIRA et al., 2006; FERGUSON et al., 2000; MOMBENI et al., 2013; SOARES; ARÊAS, 1995. O uso desta tecnologia para essa raça precisa ser mais explorado (GURSANSKY et al., 2010), o conhecimento dos parâmetros utilizados e a padronização podem tornar o sistema mais eficiente. Vários métodos

de estimulação é utilizado no mundo todo, elétrodos entre a 3ª e 4ª vértebra cervical, pinças no tendão do *Musculus gastrocnêmio* e pescoço, pinças nas narinas, barras acionadas mecanicamente sobre a região peitoral e outros (DEVINE et al., 2014).

No Brasil encontramos estruturas compostas por equipamentos isolados dentro de caixas, compostos por barras metálicas fixas subdivididas em zonas que servem como eletrodos, os estímulos elétricos são aplicados antes da entrada das carcaças nas câmaras de resfriamento, com intuito de evitar o *cold shortening* durante a refrigeração e armazenamento em baixas temperaturas. Esses equipamentos não possuem padronização de uso entre um local e outro e o conhecimento de receitas elétricas que proporcionem melhores características a carnes de animais *Bos taurus indicus* pode ser replicada para outras localidades do país, diminuindo a variabilidade nas características qualitativas do produto.

#### **2.4.1. Tipos de estimulação elétrica**

A caracterização de sistemas industriais de EE podem ser classificados nas categorias de alta, média ou baixa tensão. A base desta distinção é de acordo com a tensão/amplitude entregue as carcaças ao entrarem em contato com eletrodos do equipamento. Normalmente a baixa é realizada com tensões não superiores a 100 V, enquanto a alta requer valores superiores a 300 V e a média picos entre 100 V e 300 V. (ADEYEMI, SAZILI, 2014; DEVINE et al., 2014; TROY; KERRY 2010).

A estimulação elétrica de baixa voltagem é indicada logo após a sangria do animal, com curto intervalo de tempo após a morte. O objetivo é utilizar a integridade do sistema nervoso para propagação da corrente elétrica, uma vez que após a degradação do sistema nervoso ocorre baixa condutibilidade de impulsos devido a mudanças na excitabilidade da membrana celular do tecido muscular, sendo necessário o uso de tensões maiores para estimulação eficaz (THOMPSON, 2002). Embora a estimulação elétrica de baixa voltagem seja mais segura, sua consistência é menor do que as de alta, necessário mais estudos (AGBENIGA, 2018). A estimulação elétrica de alta voltagem permite maior tempo de atraso entre a sangria e a estimulação, no entanto, requer maiores cuidados operacionais, alto investimento em segurança, instalações e gastos com energia elétrica (O'DOWD et al., 2013; SAVELL, 1982). Recentemente, um sistema de estimulação de média voltagem (picos de 100 V a 300 V) foi projetado na Austrália, com padrões mais seguros ao trabalhador em comparação aos sistemas de alta tensão (ZHANG et al., 2019). Esses sistemas demonstraram resultados efetivos em carcaças ovinas, no entanto, há uma escassez de dados sobre sua aplicação em carcaças bovinas, os únicos relatórios até o momento demonstraram que esse novo sistema pode efetivamente

acelerar a taxa de declínio do pH (HOPKINS et al., 2014; ZHANG et al., 2019), e várias combinações de parâmetros elétricos podem ser usadas, com a necessidade de mais pesquisas para estabelecer a combinação ideal para carne bovina segundo Zhang et al. (2019).

Atualmente a literatura relata diversos valores para parâmetros incluindo corrente, frequência, largura de pulso, duração e tempo de aplicação *post-mortem*. O tipo e a posição dos eletrodos pode ser classificado de acordo com o equipamento utilizado (BHAT et al., 2019; DEVINE et al., 2014). Vários modelos de equipamentos são compostos por estruturas metálicas que se estende de uma entrada a uma saída, com eletrodos de fricção estacionários aplicando corrente em fluxo horizontal sobre as carcaças em estruturas isoladas, variando em vários aspectos tecnológicos, segundo o fabricante e país de origem (ROEBER et al., 2000). Esses fatores devem ser considerados para obter resultados satisfatórios no uso desta tecnologia, independentemente do sistema de EE utilizado, o conhecimento de seus efeitos, associado ao tipo de estimulação é de extrema importância dentro de um cenário produtivo, com animais apresentando características específicas daquela região e lugar, pois como já relatado o conhecimento de características como gordura subcutânea, superfície de contato (inteira, lados ou músculos), tempo de estimulação, temperatura e manejo pré-abate são alguns fatores que determinam a eficácia do tratamento elétrico em carcaças de animais destinados ao consumo (ADEYEMI; SAZILI, 2014; DEVINE et al., 2014; ROEBER et al., 2000; WARNER et al., 2017b).

#### **2.4.2. Estimulação elétrica e o encurtamento pelo frio “cold shortening”**

No Brasil prevalece o abate de animais não castrados, tardios e peso vivo entre 450 e 500 kg (MCMANUS et al., 2016; PAULINO; DUARTE, 2014), o que resulta na produção predominante de carcaças *Bos taurus indicus* magras, acabamento de gordura ausente ou escasso. Esse tipo de carcaça representa vários desafios tecnológicos para a indústria da carne bovina, tanto em otimizar a produção e melhorar o retorno econômico, evitar prejuízos às características sensoriais da carne *in natura* produzida, como alterações na cor, maciez e validade comercial do produto (FERRAZ et al., 2015; HOLLOWAY; WU, 2019).

Entre os fatores *ante-mortem* que comprovadamente atuam sobre a maciez da carne destacam-se raça ou genótipo, alimentação, idade, sexo e manejo pré-abate (ENGLAND et al., 2017; LÓPEZ- CAMPOS et al., 2017; MATARNEH et al., 2017). Entre os fatores *post-mortem* destacam-se aqueles inerentes ao abate industrial, como resfriamento e velocidade na redução do pH muscular, uma vez que o frio interfere diretamente nos processos bioquímicos, responsáveis pela transformação do músculo em carne (SIONEK; PRZYBYLSKI, 2016;

WARNER et al., 2016). O resfriamento das carcaças pós abate é empregado para assegurar a segurança alimentar com comprometimento da taxa de crescimento bacteriano, além de maximizar a validade comercial do produto, preservação do alimento associado a aspectos higiênicos e sanitários (ZYBERT et al., 2019).

A remoção de calor de carcaças no *post-mortem*, depende de muitos fatores como, tamanho, gordura subcutânea, distância entre carcaças, diferença da temperatura na superfície da carcaça/ meio e velocidade de resfriamento que circula sobre elas ainda quentes (ZYBERT et al., 2019). Atualmente dois meios de resfriamento são utilizados rotineiramente para remoção de calor das carcaças na indústria, sendo eles água e ar. Os sistemas de resfriamento por spray envolvem a pulverização de água fria nas carcaças durante o resfriamento, já o resfriamento convencional usa temperaturas de 1 a 4 °C com velocidade do ar de 0,1 a 0,8 m/s (ZYBERT et al., 2019). Durante o resfriamento muitos processos bioquímicos e eventos estruturais ocorrem nas primeiras 24 horas *post-mortem*, quando o músculo é transformado em carne (DEVINE, 2014), neste período ocorre forte impacto do pH na maciez e coloração (específicas de cada espécie), resultando em efeitos negativos ou positivos na qualidade da carne (CHAUHAN et al., 2019; WARNER et al., 2017a). No início do desenvolvimento do *rigor mortis* uma queda mais acentuada na temperatura dos músculos pode provocar o endurecimento da carne (COOMBS et al., 2017; MILIOS et al., 2014; ZHOU; LIU, 2010), devido a rapidez no resfriamento *post-mortem* e a presença residual de contrações musculares, levando ao aparecimento do “cold shortening” (ERTBJERG; PUOLANNE, 2017; SIKES et al., 2017).

A contração no musculo estriado ocorre com a participação de estruturas básicas constituintes desses, os sarcômeros. Cada sarcômero é constituído por um complexo de proteínas dentre as quais estão actina e miosina (WARNER et al., 2017a), essas estruturas encontram-se alinhadas em série para formar uma estrutura cilíndrica designada miofibrila, no interior das células musculares, permitindo a contração. O encurtamento destas estruturas durante o “cold shortening” pode chegar a 30% ou mais em relação ao comprimento de repouso no músculo (2,5 µm a 1,8 µm) levando a diminuição da maciez na carne (ERTBJERG; PUOLANNE, 2017; HONIKEL et al., 2014b; MATARNEH et al., 2017). A capacidade do músculo para contrair declina com o passar do tempo *post-mortem*, os filamentos contráteis de actina e miosina formam um agrupamento irreversível (actomiosina), após resolução do *rigor mortis*. Assim uma solução para evitar o “cold shortening”, seria deixar as carcaças a temperaturas acima de 12 °C até o estabelecimento do *rigor mortis* (50% do ATP inicial consumido, pH  $\leq 6,0$  a  $\pm 10$  horas após o abate) e então reduzir rapidamente a temperatura, evitando perdas nas características do produto (ERTBJERG; PUOLANNE, 2017; ENGLAND

et al., 2017; SIKES et al., 2017).

O tempo necessário para a carne atingir o pH final varia de acordo com a espécie animal, o nível de acabamento da carcaça, a temperatura, velocidade de resfriamento e os níveis de glicogênio (CHAUHAN et al., 2019; LI et al., 2006; WARNER et al., 2017a). O pH muscular decresce de 7,2 logo após o abate até aproximadamente 5,4 a 5,8 após o resfriamento (HONIKEL, 2014a), de modo que a redução ocorre entre 6 e 12 horas e completa-se até 18 e 48 horas *post-mortem*, em condições normais. Essa redução no pH se deve à utilização das reservas de glicogênio e à sua transformação em ácido lático, por meio do processo de glicólise anaeróbica, resultando no estabelecimento do *rigor mortis* (GARDNER et al., 2014; KUFFI et al., 2018; SHANGE et al., 2018). Quando a temperatura muscular é reduzida para valores inferiores a 12 °C, antes do início da fase de *rigor*, o retículo sarcoplasmático não desempenha sua atividade adequadamente, resultando no acúmulo de cálcio livre no sarcoplasma, neste momento muito ATP é deixado no músculo, ocorrendo várias contrações simultâneas e conseqüentemente o encurtamento dos sarcômeros (KIM et al., 2012; STRYDOM et al., 2014). Neste sentido o uso da estimulação elétrica nas indústrias objetiva acelerar o metabolismo *post-mortem* e a taxa de redução do pH, permitindo que as carcaças sejam refrigeradas em baixas temperaturas logo após o abate devido a antecipação do *rigor mortis* (GEESINK et al., 2001; KIM et al., 2013; STRYDOM et al., 2014).

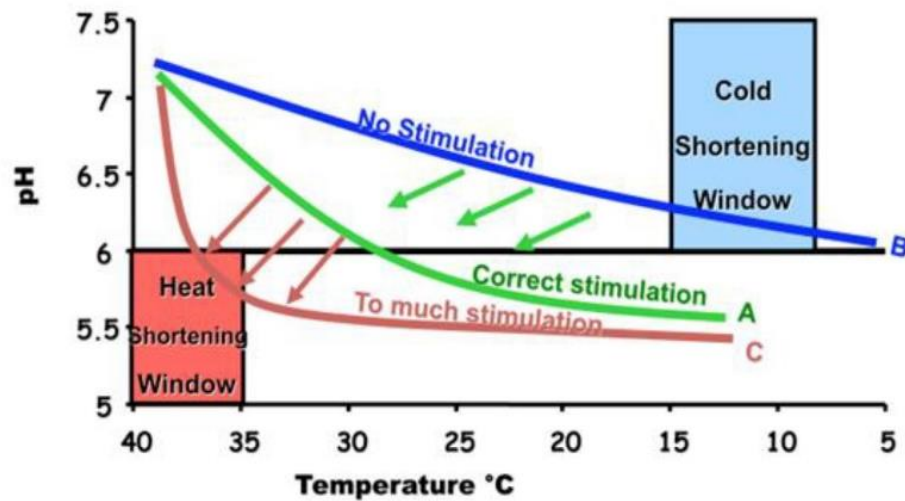
O significado econômico do encurtamento/endurecimento induzido pelo frio em relação à maciez é relevante quando o músculo encurta mais de 20% do seu comprimento inicial, para isso níveis significativos de ATP e glicogênio no início do *rigor mortis* são requeridos (FAUSTO et al., 2017), condições menos prováveis em carcaças estimuladas eletricamente (KIM et al., 2012; SAVELL et al., 2005). De maneira semelhante, o encurtamento é impedido em cortes congelados no pré-*rigor* de animais estimulados eletricamente, a depleção do glicogênio e ATP pela estimulação elétrica antes do congelamento muscular inibe contrações excessivas que acompanha o encurtamento e que continua no degelo (BALAN et al., 2019), além disso as fibras musculares submetidas à extensas contrações induzidas pela estimulação elétrica permanecem estendidas, o que pode impedir em certo grau o encurtamento (HWANG et al., 2003; SIMMONS et al., 2008, THOMPSON et al., 2006; WARNER et al., 2014b). Assim a otimização de estímulos elétricos associado a parâmetros elétricos eficientes, torna-se uma alternativa para carcaças de bovinos *Bos taurus indicus* jovens com acabamento de gordura escasso ou ausente, produzidos em algumas regiões brasileiras.

### 2.4.3. Estimulação elétrica e o encurtamento pelo calor “high rigor temperature”

Com o objetivo de acelerar o processo de proteólise muscular e conseqüentemente a maciez, a estimulação elétrica ganha destaque nas indústrias processadoras de carnes, com o intuito de evitar efeitos negativos como o encurtamento pelo frio durante o processo de resfriamento das carcaças (BHAT et al., 2019; DEVINE et al., 2014; KIM et al., 2013).

A relação entre pH e temperatura do músculo *pré-rigor* tem um papel importante nas características da carne, modulando atividades de proteases, particularmente o sistema calpaínas (BHAT et al., 2019; DRANSFIELD, 1993; KIM et al., 2012; KIM et al., 2013). O incorreto e excessivo uso da estimulação pode resultar em rápido declínio do pH e problemas na qualidade da carne, principalmente quando o início do *rigor mortis* ( $\approx$  pH 6,0) ocorre em temperaturas elevadas, superiores a 35 °C (SIMMONS et al., 2008; STRYDOM, 2017). Nessas condições também podem ocorrer contrações irreversíveis devido a intensidade dos estímulos com diminuição na maciez devido ao encurtamento dos sarcômeros (WARNER et al., 2014a). Porém outras alterações são mais comuns, como a desnaturação de proteínas e enzimas responsáveis pela maturação e maciez da carne, devido aos efeitos das altas temperaturas e baixo pH *post-mortem* no músculo, resultando em perda excessiva de água (CRA), menor estabilidade na cor e diminuição da maciez (KIM et al., 2012). Esta condição tem recebido várias designações pelos pesquisadores, tais como, *Heat Shortening*, *Heat Toughening* e *High Rigor Temperature* (KIM et al., 2012).

O pH 6,0 da carcaça deve ocorrer com a temperatura muscular entre 12 e 35°C, com o objetivo de prevenir a ocorrência de *Cold Shortening* e *High Rigor Temperature*, conforme demonstrado na (Figura 2).



**Figura 2.** Declínio ideal do pH e da temperatura após o abate (A). *Cold shortening* das carcaças ao alcançar a temperatura abaixo de 12 °C antes de atingir o pH atinja 6,0 (B). *Heat shortening* das carcaças ao alcançar temperatura acima de 35 °C com pH abaixo de 6,0 (C), (AMPC, 2015a).

O efeito e influência da alta temperatura muscular em combinação com baixo pH *post-mortem* é estudado por vários autores, os quais demonstraram interferência de componentes combinados incluindo o conteúdo do tecido conjuntivo (colágeno), extensão do encurtamento nas estruturas musculares e proteólise das proteínas miofibrilares específicas, durante a maturação e maciez, com o objetivo de determinar condições pré-rigor na carne (particularmente declínio do pH/temperatura), relacionados ao potencial de maturação/maciez do músculo *pós-mortem* (GEESINK et al., 2001; HWANG et al., 2004; KIM et al., 2012; ZYWICA et al., 2018).

Alguns estudos utilizando a estimulação elétrica e altas temperaturas pré-rigor, com resfriamento limitado das carcaças no *post-mortem*, encontraram diminuição na capacidade de retenção de água (CRA) e maciez da carne (KIM et al., 2012; WARNER et al., 2017c). Outros autores concluíram que a redução na maciez com temperatura muscular pré-rigor de 35 °C não foi consequência do encurtamento das estruturas miofibrilares no início do *rigor-mortis*, mas sim do potencial de maturação limitado devido a inibição do sistema calpaínas em especial a  $\mu$ -calpaína, enzimas responsáveis pelo processo de degradação das proteínas miofibrilares no *post-mortem* (BEKHIT et al., 2007; DEVINE et al., 1999; DEVINE et al., 2002). Kim et al. (2010b), estudando esta condição muscular pós abate observaram efeitos adversos da alta temperatura pré-rigor, na atividade das calpaínas, e constataram aumento na desnaturação e

autólise dessa proteína, resultante da alta temperatura muscular e declínio acelerado do pH *post-mortem*, com diminuição na proteólise e maciez.

A aplicação de estímulos elétricos com o acondicionamento de carcaças em diferentes taxas de resfriamento após o início do *rigor-mortis* pode resultar em alterações bioquímicas e físicas nos músculos com diferentes graus na maciez e cor (KIM et al., 2013, 2012; ZYWICA et al., 2018). Neste sentido a relação direta entre a extensão do encurtamento, maciez e temperaturas de pré-rigor tem sido discutida por vários autores (BALAN et al., 2019; BEKHIT et al., 2007; KIM et al. 2013, 2012; ZYWICA et al., 2018) justificando a necessidade de sistemas de estimulação elétrica com parâmetros ajustados, taxas de resfriamento pré-rigor adequada para evitar perdas de características qualitativas durante o processo.

#### **2.4.4. Efeitos da estimulação elétrica na capacidade de retenção de água da carne**

A água é o componente mais abundante na carne, e uma das principais responsáveis pelas características de suculência, maciez e aspectos visuais do produto, determinando a aceitação dos consumidores durante a compra (KERTH; MILLER, 2015; JAYASENA et al., 2013; RAMALINGAM et al., 2019). A água representa 65 a 80% da composição do tecido muscular e influencia diretamente os aspectos sensoriais de produtos cárneos (JAYASENA et al., 2013; RAMALINGAM et al., 2019; WARNER, 2017c).

A capacidade de retenção de água (CRA) é uma propriedade de importância fundamental em termos de qualidade, tanto para carne destinada ao consumo direto, como à industrialização (HOU et al., 2014; ZHANG et al., 2017). A CRA pode ser definida como a capacidade da carne de reter sua umidade ou água durante a aplicação de forças externas, como corte, aquecimento, trituração e prensagem (BREWER et al., 2014; WARNER, 2017c). A CRA do tecido muscular é muito importante durante o armazenamento, pois ela determina perdas, ou seja, uma baixa CRA ocasiona aumento de umidade e conseqüentemente formação de exsudado, influenciando diretamente o rendimento de cortes e produtos à base de carnes, perdas de peso nas carcaças, peças e principalmente nos cortes expostos durante a estocagem no varejo (HOU et al., 2014; LEE et al., 2018; WANG et al., 2019).

A queda no pH com formação de ácido lático e diminuição do ATP no *post mortem* influenciam a CRA da carne segundo Ramalingam et al. (2019) e Wiklund et al. (2001). A desnaturação e perda da solubilidade de proteínas musculares diminui o número de cargas negativas e a capacidade de atração da água em pH menores que 5,2 e 5,3, devido sua influência na distribuição dos grupos carregados na superfície dos miofilamentos, não atraindo água, pois somente os grupos hidrofílicos carregados negativamente possuem esta capacidade (KIM et al.,

2016; HUFF-LONERGAN; LONERGAN, 2005). O efeito do pH na capacidade de retenção de água é denominado de efeito de carga neutral, com CRA menor no ponto isoelétrico (pI) da maior parte das proteínas musculares. O (pI) é o valor de pH onde uma molécula apresenta carga elétrica líquida igual a zero, com equilíbrio entre as cargas negativas e positivas dos grupamentos iônicos (SANTOS et al., 2016).

Após a instalação do *rigor-mortis* certos íons, especialmente cátions divalentes como o cálcio e o magnésio tem a propriedade de combinar-se com os grupos relativos das proteínas carregadas negativamente, aproximando as cadeias proteicas entre si e impedindo que os grupos hidrofílicos liguem a água. A falta de espaço para as moléculas de água na estrutura proteica é conhecida como efeito estérico da retenção de água, produzido pelas proteínas musculares em proporções ligadas a degradação do ATP e queda no pH (SANTOS et al., 2016; WARNER et al., 2014b). Em geral existem poucos estudos demonstrando efeitos prejudicial da estimulação elétrica sobre a CRA do músculo de bovinos, a maioria dos estudos analisou o *M. longissimus thoracis et lumborum* e *lombo*. Estes músculos apresentam taxa de resfriamento lenta (mais profundos) e são mais suscetíveis a exibir carne pálida e exudativa (WARNER et al., 2017c). O uso de estímulos elétricos contínuos de alta tensão por períodos prolongados induz a queda elevada do pH e esgotamento do ATP *post-mortem* com carcaças ainda em altas temperaturas, sendo uma das principais causas para a baixa CRA aparecer, segundo Kim et al. (2012) e WARNER et al. (2014c). Assim músculos profundos onde a taxa de resfriamento é lenta a ocorrência de carne pálida e exudativa pode ser mais comum com uso de estímulos elétricos, e o conhecimento dos parâmetros utilizados, tipo de músculo e condições pré rigor devem ser conhecidos e explorados para evitar efeitos adversos com o uso dessa tecnologia (WARNER et al., 2014c).

#### **2.4.5. Efeitos da estimulação elétrica na cor da carne**

A aparência dos cortes cárneos no varejo durante a exibição apresenta relação com o primeiro estágio de satisfação do consumidor e interfere nas decisões de compra (CHAUHAN et al., 2019; CALNAN et al., 2014; MOMBENI et al., 2013; WARNER et al., 2017a;). A cor vermelho brilhante da carne é associada a integridade do produto e influencia a escolha do consumidor durante a compra (HOCQUETTE et al., 2012). A cor vermelha brilhante é relacionada a aspectos de qualidade na carne (HOCQUETTE et al., 2012; SHANGE et al., 2018; WARNER et al., 2017a), já a descoloração visual indicativo de alimento inadequado para o consumo e ações de fontes deteriorantes (SHANGE et al., 2018). Neste contexto a indústria concentra esforços em melhorar atributos de cor e sua estabilidade no varejo (SUMAN et al.,

2014; WARNER et al., 2017a).

O pigmento responsável pela cor vermelho brilhante da carne é a mioglobina, a mioglobina pode ser encontrada em três formas básicas, desoximioglobina, oximioglobina e metamioglobina, correspondendo respectivamente as formas oxidativas desse pigmento ( $O_2$  reduzido) (CHAUHAN et al., 2019; FAUSTMAN et al., 2010). Na ausência de oxigênio, a mioglobina permanece em seu estado reduzido, ao entrar em contato com oxigênio manifesta reações oxidativas dando à carne a coloração vermelha brilhante (WARNER et al., 2017a). A exposição prolongada da carne ao oxigênio promove a oxidação progressiva da mioglobina, escurecimento da carne e perda de sua aparência atraente, com formação de metamioglobina, tornando-se um problema para preservação da cor vermelha brilhante durante a exposição no varejo (GAGAOUA et al., 2015; MOMBENI et al., 2013; HUNT; KING, 2012). Um de cada dois consumidores rejeita o produto quando a proporção de metamioglobina (marrom) atinge 20% da superfície na carne, elevando esse grau de rejeição ao atingir 50%, devido a menor atração visual associado aos aspectos de coloração (CHAUHAN et al., 2019; WARNER et al., 2010; WARNER et al., 2017b).

A estimulação elétrica é utilizada na indústria com o principal objetivo de otimizar a maciez da carne e evitar efeitos estruturais de encurtamento dos sarcomêros, durante a transformação do músculo em carne de carcaças refrigeradas em baixas temperaturas no *post-mortem* (BALAN et al., 2019; DEVINE et al., 2014; SIMMONS et al., 2008, FERGUSON et al., 2000; ZYWICA et al., 2018; WARNER et al., 2017a;). O mecanismo pelo qual a estimulação elétrica melhora a cor não é totalmente esclarecido na literatura (HUGHES et al., 2014; SÁNCHEZ et al., 2016). Trabalhos iniciais realizados, Devine et al. (1979), Devine et al. (1984), Buts et al. (1986), Hertzman et al. (1993), Ferguson et al. (2000), Hwang et al. (2003) e Smith et al. (1985), encontraram melhoria em avaliações qualitativas nos aspectos de classificação na cor de carnes eletricamente estimuladas no *post-mortem*. No entanto, melhorias foram sugeridas com o uso da estimulação elétrica em carnes bovinas resultante da queda acelerada na taxa de pH *post-mortem* (BALAN et al., 2019; DEVINE et al., 2014; KIM et al., 2013; SÁNCHEZ et al., 2016).

O declínio rápido do pH enquanto a temperatura muscular permanece alta pode resultar em desnaturação proteica, o que altera as propriedades de absorção e refletância da luz na carne, associadas as perdas de água (CRA) e cor mais pálida (KIM et al., 2010b; LI et al., 2011; MCKENNA et al., 2003; PAGE et al., 2001; SIMMONS et al., 2008). Alguns estudos não encontraram diferenças na estabilidade da cor entre grupos estimulados e não estimulados (MOMBENI et al., 2013; TIMAR, 2007; ZHANG et al., 2018), enquanto outros demonstraram

que a EE reduziu  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  quando cortes cárneos de carcaças estimuladas foram expostos ao varejo (FRANCO et al., 2009; LI et al., 2015, 2017; POULIOT et al., 2012; WIKLUND et al., 2001). A variabilidade nos resultados relacionados a cor de carnes estimuladas pode surgir das diferenças nos delineamentos experimentais utilizados em cada trabalho, entre outros fatores intrínsecos e extrínsecos ligado ao animal e manejo pré-abate (BALAN et al., 2019; FERREIRA et al., 2006; KIM et al., 2012). No entanto outros fatores podem afetar a cor e qualidade, como o excesso de tensões utilizadas em um sistema elétrico (BHAT et al., 2019; GEESINK et al., 2001; SIMMONS et al., 2008).

A capacidade da estimulação elétrica no aperfeiçoamento de cores na carne bovina, foi associada a sua capacidade em reduzir precocemente o metabolismo oxidativo da via muscular, resultando no declínio acelerado do pH. Essas alterações musculares *post-mortem* reflete no ponto isoelétrico de proteínas miofibrilares estruturais, causando um desarranjo dessas estruturas (LAWRIE; LEDWARD, 2006). Esses desarranjos miofibrilares associado a ação de enzimas proteolíticas, diminuem a concentração de oxigênio que penetra nos músculos, facilitando a oxigenação superficial da mioglobina (LI et al., 2011). Warris, 2010, afirmou que a cor vermelho brilhante exibido por carcaças eletricamente estimulada pode ser devido a rápida acidificação muscular e desnaturação de proteínas, resultando em maior refletância da luz na superfície de carnes estimuladas. Nazli et al. 2010 relataram que quando a estimulação elétrica de alta tensão era aplicado às carcaças bovinas, padrões de cores mais atrativos eram observados, em comparação a carnes não estimuladas. Neste sentido, o conhecimento dos parâmetros e a busca por melhores resultados com o uso desta tecnologia pode identificar diferentes respostas em carnes estimuladas, objetivando produtos com aspectos visuais aprimorados e diminuição das perdas/desperdícios, aumentando o fluxo no varejo (CASTILLO et al., 2016; GEESINK et al., 2001; SÁCHEZ et al., 2016; TROY; KERRY, 2010).

#### **2.4.6. Efeitos da estimulação elétrica na maciez da carne**

A maciez é uma das características mais apreciada pelos consumidores de carne bovina, considerada um importante atributo de qualidade. Pode ser quantificada através de painéis sensoriais treinados ou medições objetivas como a força de cisalhamento (força necessária para romper as fibras de um pedaço de carne após o cozimento (GRUNERT et al., 2004; JEONG et al., 2010; LEE et al., 2018; TATUM et al., 2007). A maciez pode ser influenciada pela raça (porcentagem de *Bos taurus taurus/indicus* nos cruzamentos) (FERREIRA et al., 2006; FERGUSON et al., 2000; GAGAOUA et al., 2015), idade, sexo, conformação da carcaça, gordura intramuscular, tipo e teor de colágeno, tipo de fibra muscular

além do manejo pré e pós-abate (GAGAOUA et al., 2015; NAIR et al., 2019; WEGLARZ, 2010).

Durante o manejo pré-abate alterações fisiológicas influenciam a transformação do músculo em carne, associados aos processos de resfriamento (ENGLAND et al., 2017; FERREIRA et al., 2006; MATARNEH et al., 2017). Após o abate as carcaças armazenadas em câmaras com sistemas eficientes de refrigeração podem atingir temperaturas menores que 12 °C ainda com pH muscular acima de 6,0, fase de pré-rigidez, levando ao encurtamento das estruturas miofibrilares pelo frio e proteólise muscular retardada (ERTBJERG; PUOLANNE, 2017; SIKES et al., 2017), neste sentido o uso da estimulação elétrica na indústria processadora de carnes atua como ferramenta no controle de impactos negativos, causados durante o armazenamento das carcaças (BHAT et al., 2019; DEVINE et al., 2014; WARNER et al., 2017b).

Estudando os efeitos da estimulação elétrica e o acondicionamento no pré-rigor, relacionando o potencial de temperatura e maturação da carne, Balan et al. (2019) encontraram que o uso da estimulação elétrica de baixa voltagem acelerou o pH *post-mortem* (até 3 horas), valores maiores para comprimento de sarcômero e proteólise antecipada, resultando em carnes mais macias, avaliando o *M. longissimus thoracis et lumborum* de três genótipos de *Bos taurus* (100% Hereford, 50% Brahman-Hereford e 100% Brahman) e carnes maturadas durante 1 a 30 dias e uso da estimulação elétrica. Ferguson et al. (2000) encontraram valores de maciez menores para animais com porcentagem maiores de *Bos taurus indicus*, no entanto esse efeito foi minimizado com o uso da estimulação elétrica para essa raça, com melhoria na força de cisalhamento após a maturação em comparação aos controles (não estimuladas).

Muitos estudos demonstraram que uma redução rápida no pH no músculo em ovinos (DEVINE et al., 2002; HWANG et al., 2003; LLONCH et al., 2015; SIMMONS et al., 2006) bovinos (CASTILLO et al., 2016; KIM et al., 2013; SABOW et al., 2017; ROEBER et al., 2000) e bubalinos (SOARES; ARÊAS 1995) pode evitar prejuízos em maciez, melhorando os aspectos qualitativos da carne destes animais. A queda do pH enquanto a temperatura do músculo é relativamente alta, define os principais efeitos da estimulação elétrica na melhoria da maciez segundo Balan et al., 2019, Geesink et al., 2001 e Kim et al 2012, 2013. O efeito do pH danifica as membranas lisossomais e as catepsinas são liberadas, antecipando a atuação de enzimas proteolíticas no processo de maturação subsequente (HONIKEL, 2014a; KIM et al., 2012; ZYWICA et al., 2018). A liberação dos íons cálcio no sistema sarcotubular influencia diretamente a proteólise, principalmente as proteases do sistema calpaínas, dependentes de cálcio (Castillo et al., 2016; Devine et al 2014; Li et al 2004).

Em um estudo com touros da raça Angus, Castillo et al. (2016) determinaram o efeito da estimulação elétrica e do pH inicial, intermediário e final na força de cisalhamento, degradação, desnaturação e concentração de proteínas miofibrilares no *M.longissimus lumborum* (LL), os resultados deste estudo constataram que a aplicação direta de estímulos elétricos de baixa tensão não afetou significativamente a taxa de maciez da carne em grupos de pH avaliados durante a maturação, por 28 dias *post mortem*, contudo os níveis de maciez foram antecipados, acompanhados de taxas de degradação das proteínas miofibrilares como titina, desmina e troponina-T mais rápido no pH inicial no *post-mortem*.

Vários fatores como raça, variabilidade na eficácia da estimulação elétrica, processos de maturação, temperatura e outros fatores em vários projetos experimentais e avaliações comerciais podem esconder as vantagens da estimulação elétrica na carne (BALAN et al., 2019; BEKHIT et al., 2014). Balan et al. (2019), Kim et al. (2012) e Rosenvold et al. (2008) mostraram que a estimulação elétrica foi eficiente mesmo na presença de fatores que poderiam reduzir a qualidade como temperaturas elevadas no pré- rigor, composição genética, categoria animal e níveis de glicogênio muscular, resultando em maior maciez para carnes estimuladas, reforçando seus efeitos e sugerindo a importância do conhecimento de seus parâmetros em diferentes cenários produtivos.

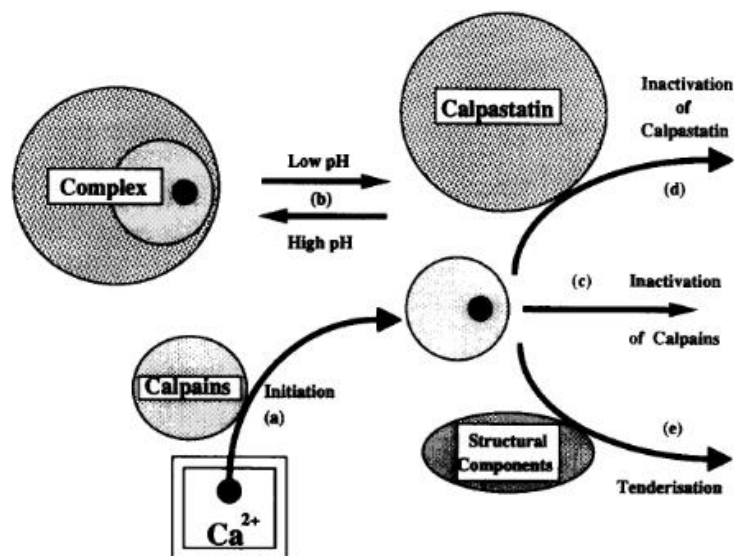
## 2.5. MACIEZ E MATURAÇÃO

A maciez da carne é um importante atributo de qualidade que influencia diretamente a satisfação, aceitação e decisão de compra dos consumidores, agregando valor ao produto comercializado (CHAUHAN et al., 2019; KIM et al., 2012, 2013; SHACKELFORD et al., 2001; TATUM et al., 2007). Os músculos de uma carcaça bovina diferem em suas propriedades bioquímicas e podem responder diferentemente aos processos de maturação/armazenamento no *post-mortem* (HUFF-LONERGAN et al., 2010; NAIR et al., 2019). A maturação é um processo natural de maciez da carne que inicia logo após o abate, com a transformação do músculo em carne (BERGER et al., 2018). Durante a maturação estruturas miofibrilares dos músculos sofrem degradações através de um complexo enzimático (calpaínas, catepsinas, caspases) produzidas pelo próprio músculo, resultando em mudanças no sabor e maciez (BHAT et al., 2018; BEKHIT et al., 2017; HUFF-LONERGAN et al., 2010).

A maturação comercial de carnes no *post-mortem* é uma prática comum na indústria, que busca melhorias em maciez e palatabilidade (NAIR et al., 2019). A maturação por via úmida de cortes cárneos com a utilização de embalagens a vácuo é o método mais comum, conhecido como “*Wet aging*”, esse método consiste no acondicionamento de cortes desossados

embalados a vácuo (com barreira contra vapor d'água e oxigênio) mantidas sobre refrigeração (2 a 6 °C) (NAIR et al., 2019; SMITH et al., 2008).

Os mecanismos celulares e bioquímicos que governam os atributos de qualidade da carne sofrem alterações durante a maturação *post-mortem*, como as proteases endógenas nos músculos, levando a proteólise de proteínas estruturais específicas durante a maturação (BEKHIT et al., 2017; HOPKINS; THOMPSON, 2002; HUFF-LONERGAN et al., 2010). Durante o processo proteolítico, complexos enzimáticos atuam no desarranjo de subunidades miofibrilares proveniente da fragmentação da linha-Z e degradação de proteínas estruturais como titina, nebulina, desmina e troponina-T, levando a um aumento na maciez da carne (ERTBJERG; PUOLANNE, 2017). As calpaínas ( $\mu$  e  $m$ ) são ativadas pelo aumento da concentração de íons de cálcio no sarcoplásma e inicia suas atividades proteolíticas no sistema de maciez, logo após a morte do animal e declínio do pH, estendendo-se após a desossa e armazenamento dos cortes como demonstrado na Figura 3 (DRANSFIELD,1993).



**Figura 3.** Etapas da ativação das calpaínas e maciez da carne.

Iniciação (a): As calpaínas são ativadas pelo aumento da concentração de íons de cálcio. Ligação (b): O equilíbrio da ligação das calpaínas à calpastatinas determina o nível de calpaínas livres ativas que aumenta à medida que o pH declina. Inativação das calpaínas ativas livres (c): Degradação das calpaínas livres ativas por autólise. Inativação da calpastatina (d): O modelo não faz distinção entre proteólise por calpaínas do complexo e da calpastatina livre, mas, para maior clareza, somente a inativação da **calpastatina livre** é exibida. Maciez (e): A proteólise dos componentes estruturais pelas calpaínas provoca o amaciamento da carne (DRANSFIELD,1993).

O sistema calpaína foi considerado o principal mecanismo envolvido na maciez da carne (BHAT et al., 2018; DRANSFIELD, 1993). Este sistema consiste em três proteases

dependentes de cálcio ( $\mu$ -calpaina ou calpaína I, m-calpaina ou calpaína II, calpaina III) um polipeptídeo a calpastatina com funções inibitórias sob as calpaínas (DRANSFIELD, 1993; CAMPBELL; DAVIES, 2012). A capacidade da estimulação elétrica em otimizar a atividade desse sistema foi associado ao rápido declínio do pH com o uso de estímulos elétricos (HUGHES et al., 2014; WARNER et al., 2016). O baixo pH em temperaturas elevadas, foram discutidos como os processos que governam a ativação e a inativação das proteases- sistema de calpaínas; ( $\mu$ -calpaina, m-calpaína e seu inibidor calpastatina); catepsinas lisossômicas (catepsina B, D, H e L) e complexo proteinase multicatalítica em carnes estimuladas no *post-mortem* (BHAT et al., 2019; DRANSFIELD, 1993; WARNER et al., 2016). O aumento significativo do cálcio “livre” no sarcoplasma e a ativação de enzimas endógenas que degradam componentes da miofibrila são sugeridos como vantagens relacionadas a proteólise e uso da estimulação elétrica (DEVINE et al., 2014; KIM et al., 2012; ROEBER et al., 2000), com o início do processo de maturação e intensificação de características sensoriais da carne como sabor, odor e principalmente a maciez (BHAT et al., 2018).

Desta forma, o processo de maturação da carne aparece como alternativa eficaz na melhoria de carnes oriundas de animais zebuínos associado ao uso de estímulos elétricos (GURSANSKY et al., 2010). Esses animais produz carne com níveis de maciez inferior quando comparado aos animais *Bos taurus taurus*, associado a fatores intrínsecos e extrínsecos como abate tardio, níveis maiores de calpastatina (anteprotease das calpaínas), proporções elevadas de colágeno no músculos esquelético e menor deposição de gordura intramuscular (GIUSTI et al., 2013). Em geral à medida que a porcentagem de *Bos taurus indicus* aumenta, o grau de variabilidade na maciez apresenta-se maior quando comparado a outras raças produtoras de carne (FERGUSON et al., 2000; GEESINK et al., 2001; GIUSTI et al., 2013), neste sentido, a melhoria na maciez da carne se torna importante para o cenário brasileiro e o uso de ferramentas alternativas como a maturação e o uso da estimulação elétrica no *post-mortem*, podem otimizar processos bioquímicos, desencadeando fatores de melhoria para a carne como a maciez, otimizando processos proteolíticos de maturação, contribuindo para menor variabilidades nos padrões de carnes produzidas oriundas de *Bos taurus indicus* (FERGUSON et al., 2000; GEESINK et al., 2001; GURSANSKY et al., 2010; RILEY et al., 2019) com diminuição no tempo de armazenamento.

### 3.1.OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência do uso de tensões elétricas crescente de média voltagem em carcaças *Bos taurus indicus* no final do abate na qualidade do contrafilé, submetido a diferentes tempos de maturação.

### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 3.2.1. Comparar estímulos elétricos com tensões crescente com tensões contínuas (constante) em carcaças *Bos taurus indicus* no final do abate, sob a taxa de declínio do pH e características quantitativas do contrafilé em diferentes tempos de maturação.
- 3.2.2. Determinar as características quantitativas do contrafilé, em diferentes tempos de maturação, de carcaças *Bos taurus indicus* eletricamente estimuladas em relação às não estimuladas.

### 3.3. HIPÓTESES DO ESTUDO

- 3.3.1. O protocolo de estimulação elétrica com tensões crescentes é mais eficiente que o protocolo com tensão contínua.
- 3.3.2. A carne do contrafilé obtida de carcaças estimuladas será mais macia em relação às não estimuladas, mesmo após maturação de 28 dias.
- 3.3.3. A força da estimulação ( $\Delta$ pH) tem efeito proporcional em relação a maciez.

#### 4. REFERÊNCIAS

- ADEYEMI, K. D.; SAZILI, A. Q. Efficacy of carcass electrical stimulation in meat quality enhancement: A review. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v. 27, n. 3, p. 447, 2014.
- AGBENIGA, B.; WEBB, E. C. Influence of carcass weight on meat quality of commercial feedlot steers with similar feedlot, slaughter and post-mortem management. **Food Research International**, v. 105, p. 793-800, 2018.
- ALI, A. S. A.; LAWSON, A. M.; TAUSON, H. A.; JENSEN, F. J.; CHWALIBOG, A. Influence of electrical stunning voltages on bleed out and carcass quality in slaughtered broiler chickens. **Archiv für Geflügelkd**, Stuttgart, v. 71, n. 1, p. 35-40, 2007.
- ALLEN, D. M., MILLER, M. F., HILTON, G. G., DOLEZAL JR, H. G. & GROSE, D. **Method for processing an animal carcass and apparatus for providing electrical stimulation**. U.S. Patent n. 6,290,592, 18 set. 2001.
- ÁLVAREZ, C.; MORÁN, L.; KEENAN, D. F.; MULLEN, A. M.; DELGADO-PANDO, G. Métodos mechanical and biochemical methods for rigor measurement: relationship with eating quality. **Journal of Food Quality**, v. 2019, p. 1-14. 2019.
- APAOLAZA, A.; GALAZ, A.; STROBEL, P.; RAMÍREZ, R. A.; JERÉZ, T.N.; GALLO, C. Glycolytic potential and activity of adenosine monophosphate kinase (AMPK), glycogen phosphorylase (GP) and glycogen debranching enzyme (GDE) in steer carcasses with normal (< 5.8) or high (> 5.9) 24 h pH determined in *M. longissimus dorsi*. **Meat science**, v. 101, p. 83-89, 2015.
- ABIEC. (2019). Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **ABIEC 2019: Perfil da pecuária no Brasil**. São Paulo: ABIEC, 2019. <http://abiec.siteoficial.ws/control/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>
- ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **ABIEC 2020: Estatística- Exportações -ABIEC, 2020**. <http://abiec.com.br/exportacoes/>
- ASSOCIAÇÃO Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **Sumário ABIEC 2018: Perfil da pecuária no Brasil**. São Paulo: ABIEC, 2018.
- BALAN, P.; FAROUK, M. M.; STUART, A. D.; KEMP, R.; STAINCLIFFE, M.; CRAIGE, C.; KIM, Y. B. Effects of electrical stimulation and pre-rigor conditioning temperature on aging potential of hot-boned beef *M. longissimus lumborum*. **Animal Science Journal**, v. 90, p. 1050–1059, 2019.
- BARCELLOS, J.O.J.; CANOZZI, M.E.A.; MCMANUS, C.; OLIVEIRA, T.E.; OAIGEN, R.P.; CANELLAS, L.C. A reconfiguração dos sistemas de produção de bovinos de corte para a próxima década. **Anais do VIII Jornada NESPRO / I Simpósio Internacional sobre Sistemas de Produção de Bovinos de Corte e Cadeia Produtiva**; 24 a 26 de setembro de 2013; Porto Alegre, RS, Brasil.
- BEKHIT, A. E. D. A; CARNE, A.; RYDER, K.; HA, M.; KONG, L. Manipulation of meat

structure: Use of exogenous proteases. *In*: BEKHIT, A. E. D. A. **Advances in meat processing technology**, Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2017. cap. 4, p. 65-120.

BEKHIT, A. E.-D. A., CARNE, A., HA, M.; FRANKS, P. Physical Interventions to Manipulate Texture and Tenderness of Fresh Meat: A Review. **International Journal of Food Properties**, v. 17, p. 433-453, 2014.

BEKHIT, A.; FAROUK, M.; CASSIDY, L.; GILBERT, K. Effects of rigor temperature and electrical stimulation on venison quality. **Meat Science**, v. 75, n. 4, p. 564-574, 2007.

BHAT, Z. F.; MORTON, J. D.; MASON, S. L.; BEKHIT, A. E. A. Current and future prospects for the use of pulsed electric field in the meat industry. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 10, p. 1660-1674, 2019.

BERGER, J., KIM, YHB, LEGAKO, JF, MARTINI, S., LEE, J., EBNER, P., & ZUELLY, SMS. Dry-aging improves meat quality attributes of grass-fed beef loins. **Meat Science**, v. 145, p. 285-291. 2018 doi: 10.1016 / j.meatsci.2018.07.004

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

BOTE, C. L. Chemical and biochemical constitution of muscle. *In*: TOLDA, F. **Lawrie's Meat Science**. 8. ed. Woodhead Publishing, 2017. p. 99-158.

BUTS, B.; CASTEELS, M.; CLAEYS, E.; DEMEYER, D. Effects of electrical stimulation, followed by moderate cooling, on meat quality characteristics of veal Longissimus dorsi. **Meat Science**, v. 18, n. 4, p. 271-279, 1986.

BOWMAN, M.S.; SOARES-FILHO, B.S.; MERRY, F.D.; NEPSTAD, D.C.; RODRIGUES, H.; ALMEIDA, O.T.; Persistência da pecuária na Amazônia brasileira: uma análise espacial da lógica da produção de carne bovina. **Política de Uso da Terra**. V. 29, p. 558-568, 2012.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. PORTARIA Nº 612, DE 05 DE OUTUBRO DE 1989. Sistema Nacional de Tipificação de Carcaças Bovinas, 1989.

BREWER, M.S. Chemical and physical characteristics of meat water-holding capacity. *In*: Dikeman, M., Devine, C. (Eds.), **Encyclopedia of Meat Sciences**, 2 ed. Academic Press, Oxford. 2014.

CALNAN, H. B.; JACOB, R. H.; PETHICK, D. W.; GARDNER, G. E. Factors affecting the colour of lamb meat from the longissimus muscle during display: The influence of muscle weight and muscle oxidative capacity. **Meat Science**, v. 96, n. 2, p. 1049-1057, 2014.

CARVALHO, M.E.; GASPARIN, G.; POLETI, M.D.; ROSA, A.F.; BALIEIRO, J.C.C.; LABATE, C.A.; NASSU, R.T.; TULLIO, R.R.; REGITANO, L.C.A.; MOURÃO, G.B.; COUTINHO, L.L. (2014). Heat shock and structural proteins associated with meat tenderness in Nellore beef cattle, a *Bos taurus indicus* breed. **Meat science**, 96, (3), 1318-1324.

CASTILLO, C. J.; LOMIWES, D.; WU, G.; FROST, D.; FAROUK, M. M. The effect of

electrical stimulation on *post mortem* myofibrillar protein degradation and small heat shock protein kinetics in bull beef. **Meat Science**, v. 113; p. 65-72, 2016.

CAMPBELL, R.L.; DAVIES, P.L. Structure–function relationships in calpains, **Biochem.** V. 447; p. 335–351, 2012.

CAMPOS, J. R. F.; LINI, P. Extrafiscalidade tributária como incentivo à sustentabilidade na pecuária bovina do estado do mato grosso do sul. *In: III Encontro internacional de gestão, desenvolvimento e inovação*, 2019, Naviraí. **Revisão**. Naviraí, 2019. p.1-15.

CHANNON, H.; BAUD, S.; WALKER, P. Modified atmosphere packaging improves retail display life of lamb cuts with variation between loin and knuckle. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 45, n. 5, 585-592, 2005.

CHARDULO, L. A. L.; SILVEIRA, A. C.; VIANELLO, F. Analytical aspects for tropical meat quality assessment. *In: LIMA, G. P.P.; VIANELLO, F. Food Quality, Safety and Technology*. São Paulo: Springer-Verlag, p. 52. 2013.

CHAUHAN, S. S.; PONNAMPALAM, E. N.; DUNSHEA, F. R.; WARNER, R. D. Breed and Nutrition Effects on Meat Quality and Retail Color after Lamb Pre-Slaughter Stress. **Meat and Muscle Biology**, v. 3, n. 1, p. 147-157, 2019.

COOK, J. C.; MAASLAND, A. S.; DEVINE, E. C.; GILBERT, V. K.; BLACKMORE, K. D. Changes in the release of amino acid neurotransmitters in the brains of calves and sheep after head-only electrical stunning and throat cutting. **Research in Veterinary Science**, v. 60, n. 3, p. 255-261, 1996.

COOMBS, O. E. C.; HOLMAN, B.W. B.; FRIEND, A. M.; HOPKINS, L. D. Long-term red meat preservcombinations: A review. **Meat Science**, v. 125, p. 84-94, 2017.

COUTINHO, M.A.S.; RAMOS, P.M.; SILVA, S.D.L.; MARTELLO, L.S.; PEREIRA, A.S.C.; DELGADO, E.F. Divergent temperaments are associated with beef tenderness and the inhibitory activity of calpastatin. **Meat Science**, v. 134, p. 61-67, 2017.

DAS, A. K.; NANDA, P. K.; DAS, A.; BISWAS, S. Hazards and safety issues of meat and meat products. *In: SINGH, R. L.; MONDAL, S. Food Safety and human health*. Academic Press 2019. cap. 6, p.145-168.

DELGADO, E. F.; AGUIAR, A. P, ORTEGA, E. M. M.; SPOTO, M. H. F, CASTILLO, C. J. C. Brazilian consumers' perception of tenderness of beef steaks classified by shear force and taste. **Scientia Agrícola**, v. 63, p. 232-239, 2006.

EVINE, C. E.; PAYNE, S. R.; PEACHEY, B. M.; LOWE, T. E.; INGRAM, J. R.; COOK, C. J. High and low rigor temperature effects on sheep meat tenderness and ageing, **Meat Science**, v. 60, p. 141-146, 2002.

DEVINE, C.E. Conversion of muscle to meat – Aging. *In: Encyclopedia of Meat Sciences*. 2. ed. Elsevier, p.329-338, 2014.

- DEVINE, C. E.; HOPKINS, D. L.; HWANG, I. H.; FERGUSON, D. M.; RICHARDS, I. Electrical Stimulation. *In: Encyclopedia of Meat Sciences*, 2. ed. Elsevier, p.486-496, 2014.
- DEVINE, C. E.; HOPKINS, D.L.; HWANG, I.H.; FERGUSON, D.M.; ERICHARDS, I. Electrical stimulation. *In: JENSEN, W. J.; DEVINE, C. E.; DIKEMAN, M. Meat Science Encyclopedia*. Oxford: Academic Press, p. 413-423, 2004.
- DEVINE, C. E; WAHLGREN, N. M; TORNBERG, E. Effect of rigor temperature on muscle shortening and tenderisation of restrained and unrestrained beef m. longissimus thoracicus et lumborum. **Meat Science**, v. 51, p. 61-72, 1999.
- DEVINE, C. E.; ELLERY, S.; AVERILL, S. Responses of different types of ox muscle to electrical stimulation. **Meat Science**, v. 10, n. 1, p. 35-5, 1984.
- DEVINE, C. Advantages of electrical stimulation. **Meat Science**, v. 83, n. 3, p. 584-585, 2009.
- DEVLIN, D.J.; GAULT, N.F.S.; MOSS, B.W.; TOLLAND, E.; TOLLERTON, J.; FARMER, L.J.; GORDON, A.W. Factors affecting eating quality of beef. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, n. 1, p. 2-5, 2017.
- DJIMSA, B. A.; WOERNER, D. R.; NAIR, M. N.; MARTIN, J. N.; DELMORE, R. J.; BELK, K. E. Effects of Electrical Stimulation, Chilling Rate, and Carcass Size on Rates of Temperature Decline and pH Decline, and Beef Quality. **Meat and Muscle Biology**, v. 2, n. 2, p. 87-87, 2019.
- DRANSFIELD, E. Modelling Post-mortem Tenderisation IV: Role of Calpains and Calpastatin in Conditioning. **Meat Science**, v. 34, n. 217-234, 1993.
- ENAHOROA, D.; MASON-D'CROZ, D.; MUL, M.; RICH, K. M.; ROBINSON, T. P.; THORNTON, P.; STAAL, S. S. Supporting sustainable expansion of livestock production in South Asia and Sub-Saharan Africa: Scenario analysis of investment options. **Global Food Security**, v.20, p.114-121, 2019.
- ENGLAND, E. M.; MATARNEH, S. K.; SCHEFFLER, T. L.; GERRARD, D. E. Perimortal muscle metabolism and its effects on meat quality. *In: New Aspects of Meat Quality: From Genes to Ethics*. Woodhead Publishing, 2017. v. 1, cap. 4, p 63-89.
- ENGLAND, E.M.; MATARNEH, S.K.; SCHEFFLER, T.L.; WACHET, C.; GERRARD, D.E. pH inactivation of phosphofructokinase arrests postmortem glycolysis. **Meat science**, v. 98, n. 4, p. 850-857, 2014.
- ERTBJERG, P.; PUOLANNE; E Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. **Meat science**, v. 132, p. 139-152, 2017.
- FAUSTMAN, C.; SUN, Q.; MANCINI, R.; SUMAN, S. P. Myoglobin and lipid oxidation interactions: mechanistic bases and control. **Meat Science**, v. 86, p. 86-94, 2010.
- FAUSTO, D. A.; LIMA, M. A.; RAMOS, P. M.; PERTILE, S. F. N.; SUSIN, I.; DELGADO,

E. F. Cold shortening decreases the tenderization of Biceps femoris muscle from lambs. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.18, n.1, p.16-25, 2017.

FERGUSON, D. M.; JIANG, S. T.; HEARNshaw, H.; RYMILL, S. R.; THOMPSON, J. M. Effect of electrical stimulation on M. Longissimus protease activity and tenderness in cattle with different proportions of *Bos taurus indicus* content. **Meat Science**, v. 55, p. 265-272, 2000.

FERNÁNDEZ, A.M.; VIEIRA, C. Effect of chilling applied to suckling lamb carcasses on hygienic, physicochemical and sensory meat quality. **Meat Science**, v. 92, p. 569-574, 2012.

FERRAZ, A. P. C. R.; MALHEIROS, J. M.; CAMPOS C. R. M. G.; CHARDULO, L. A. L. Nutritional and qualitative values of bovine beef (*Longissimus thoracis*) from organic and conventional production systems. **Food, nutrition & health**, v. 10, n. 1, p. 61-75, 2015.

FERRAZ, J. B. S.; FELICIO, P. E.; Production systems –An example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.

FERREIRA, G. B.; ANDRADE, C. L.; COSTA, F.; FREITAS, M. Q.; SILVA, T. J. P.; SANTOS, I. F. Effects of transport time and rest period on the quality of electrically stimulated male cattle carcasses. **Meat science**, v. 74, n. 3, p. 459-466, 2006.

FONT-I-FURNOLS, M.; GUERRERO, L. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview. **Meat science**, v. 98, n. 3, p. 361-371, 2014.

FRANCO, J., G. BIANCHI, O. FEED, G. GARIBOTTO, F. BALLESTEROS, O. BENTANCUR, M. CARRERE, J. CHIRUCHI Effect Effect of carcass electrical stimulation on meat quality of grazing cattle. **ITEA**, v. 105, n. 4, p. 313-323, 2009.

GAGAOUA, M.; TERLOUW, E. M.; MICOL, D.; BOUDJELLAL, A.; HOCQUETTE, J. F.; PICARD, B. Understanding Early Post-Mortem Biochemical Processes Underlying Meat Color and pH Decline in the *Longissimus thoracis* Muscle of Young Blond d'Aquitaine Bulls Using Protein Biomarkers. **Journal Agricultural and Food Chemistry**. v. 63, p. 6799–6809, 2015.

GARDNER, E.G.; MCGILCHRIST, P.; PETHICK, W.D. Ruminant glycogen metabolism. **Animal Production Science**, v. 54, p. 1575–1583, 2014.

GEESINK, G. H.; MAREKO, M. H. D.; MORTON, J. D.; BICKERSTAFFE, R. Electrical stimulation - when more is less. **Meat Science**, v. 57, p. 145-151, 2001.

GIUSTI, J.; CASTAN, E.; DAL-PAI, M.; ARRIGONI, M. B.; BALDIN, S. R.; OLIVEIRA, H. N. Expression of genes related to quality of *Longissimus dorsi* muscle meat in Nellore (*Bos indicus*) and Canchim ( $5/8$  *Bos taurus* ×  $3/8$  *Bos indicus*) cattle. **Meat Science**, v.94, p.247-252, 2013.

GRUNERT, K. G.; BREDAHL, L.; BRUNSO, K. Consumer perception of meat quality and implications for product development in the meat sector—a review. **Meat science**, v. 66, n. 2, p. 259-272, 2004.

GURSANSKY, B.; O'HALLORAN, J. M.; EGAN, A.; DEVINE, C. E. Tenderness enhancement of beef from *Bos taurus indicus* and *Bos taurus taurus* cattle following electrical stimulation. **Meat Science**, v. 86, p. 635-641, 2010.8

HENCHION, M.M.; MCCARTHY, M.; RESCONI, V.C. Beef quality attributes: A systematic review of consumer perspectives. **Meat science**, v.128, p.1-7, 2017.

HEDRICK, H.B.; ABERLE E.D.; FORREST, J.C.; JUDGE, M.D.; MERKEL, R. A. **Principles of Meat Science**. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, IA. 354p, 1989.

HERTZMAN, C.; OLSSON, U.; TORNBERG, E. the influence of high temperature, type of muscle and electrical stimulation on the course of rigor, ageing and tenderness of beef muscles. **Meat Science**, v. 35, p. 119-141, 1993.

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

HOCQUETTE, J. F.; BOTREAU, R.; LEGRAND, I.; POLKINGHORNE, R.; PETHICK, D.W.; LHERM, M.; PICARD, B.; DOREAU, M; TERLOUW, E. M. C. Win-win strategies for high beef quality, consumer satisfaction, and farm efficiency, low environmental impacts and improved animal welfare. **Animal Production Science**, v. 54, n. 10, p. 1537-1548. 2014.

HOLLOWAY, J. W.; WU, J. Tenderness Intrinsic Character. In: **Red Meat Science and Production**. Springer, Singapore, 2019. p. 39-141.

HONIKEL, K.O. Conversion of muscle to meat – Glycolysis. In: **Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition)**, Elsevier, p.353-357, 2014a.

HONIKEL, K.O. Conversion of muscle to meat – Rigor Mortis, Cold, and Rigor Shortening. In: **Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition)**, Elsevier, p.358-365, 2014b.

HOPKINS, D.L. Pretreatments for Meats I (Tenderization, Electrical Stimulation, and Portioning). In: **Operations in food refrigeration**, CRC Press, p.113-134, 2012.

HOPKINS, D. L.; PONNAMPALAM, E. N.; VAN DE VEN, R. J.; WARNER, R. D. The effect of pH decline rate on the meat and eating quality of beef carcasses. **Animal Production Science**, v. 54, n. 4, p. 407-413, 2014.

HOU, X.; LIANG, R.; MAO, Y.; ZHANG, Y.; NIU, L.; WANG, R.; LIU, C.; LIU, Y.; LUO, X. Effect of suspension method and aging time on meat quality of chinese fattened cattle *M. Longissimus dorsi*. **Meat Science**, v. 96, p. 640-645, 2014.

HUGHES, J. M.; KEARNEY, G.; WARNER, R. D. Improving beef meat colour scores at carcass grading. **Animal Production Science**, v. 54, n. 4, p. 422-429, 2014.

HUGHES, J.; CLARKE, F.; PURSLOW, P.; WARNER, R.; A high rigor temperature, not sarcomere length, determines light scattering properties and muscle colour in beef *M. sternomandibularis* meat and muscle fibres. **Meat science**, v. 145, p. 1-8, 2018.

HUFF-LONERGAN, E.; LONERGAN, S.M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. **Meat Science**, v.71, p. 194-204, 2005.

HUFF LONERGAN, E., ZHANG, W. & LONERGAN, S. M. Biochemistry of postmortem muscle -Lessons on mechanisms of meat tenderization. **Meat Science**, v. 86, p. 184-195, 2010.

HUNT, M. C.; KING, A. J. AMSA Meat color measurement guidelines. **American Meat Science Association, Champaign, Illinois USA**, v. 61820, p. 1-135, 2012.

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**, v.65, p.677- 691, 2003.

HWANG, I. H.; PARK, B. Y.; CHO, S. H.; LEE, J. M. Effects of muscle shortening and proteolysis on Warner–Bratzler shear force in beef Longissimus and semitendinosus. **Meat Science**, v. 68, p. 497–505, 2004.

HWANG, I. H.; THOMPSON, J. M. The effect of time and type of electrical stimulation on the calpain system and meat tenderness in beef longissimus dorsi muscle. **Meat Science**, v. 58, p.135-144, 2001.

HWANG, I.H.; THOMPSON, J.M.; A technique to quantify the extent of postmortem degradation of meat ultrastructure. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 15, n. 1, p. 111-116, 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Indicadores IBGE - Estatística da Produção Pecuária**. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=72380&view=detalhes>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

JAYASENA, D. D.; AHN, D. U.; NAM, K. C.; JO, C. Flavour Chemistry of Chicken Meat: A Review. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 26, n. 5, p. 732- 724, 2013.

JEONG, D. W.; CHOI, Y. M.; LEE, S. H.; CHOE, J. H.; HONG, K. C.; PARK, H. C.; KIM, B. C. Correlations of trained panel sensory values of cooked pork with fatty acid composition, muscle fiber type, and pork quality characteristics in Berkshire pigs. **Meat Science**, v. 86, p. 607–615, 2010.

JONGE J.D.; VAN, T.H. Meeting heterogeneity in consumer demand for animal welfare: A reflection on existing knowledge and implications for the meat sector. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v. 26, n. 3, p. 629-661, 2013.

JOHNSON, D. D.; HUFFMAN, R. D.; WILLIAMS, S. E.; HARGROVE, D. D. Effect of percentage Brahman and Angus breeding age- season of feeding and slaughter and point on meat palatability and muscle characteristics. **Journal of Animal Science**, v. 68, n. 7, p. 1980-1986, 1990.

- JUÁREZ, M.; BASARAB, J. A.; BARON, V. S.; VALERA, M.; LARSEN, I. L.; AALHUS, J. L. Quantifying the relative contribution of ante- and post-mortem factors to the variability in beef texture. **Animal**, v. 6, p.1878-1887, 2012.
- KENT, E. V.; PEDERSEN, M. E.; RONNING, S. B.; RODBOTTEN, R. Can postmortem proteolysis explain tenderness differences in various bovine muscles. **Meat Science**, v. 137, p. 114-122, 2018.
- KERTH, C. R.; MILLER, R. K. Beef flavor: a review from chemistry to consumer. **Journal of Food Science and Agriculture**, v. 95, n. 14, p. 2783 – 2798, 2015.
- KIM, Y. H.; LONERGAN, S. M.; HUFF-LONERGAN, E. Protein denaturing conditions in beef deep semimembranosus muscle results in limited  $\mu$ -calpain activation and protein degradation. **Meat Science**. v. 86, p. 883-887, 2010b.
- KIM, Y. H. B.; STUART, A.; NYGAARD, G.; ROSENVOLD, K.; High pre rigor temperature limits the ageing potential of beef that is not completely overcome by electrical stimulation and muscle restraining. **Meat Science**, v. 91, n. 1, p. 62-68, 2012.
- KIM, Y. H. B.; LONERGAN, S. M.; GRUBBS, J. K.; CRUZEN, S. M.; FRITCHEN, A. N.; DELLA MALVA, A.; MARINO, R.; HUFF-LONERGAN, E. Effect of low voltage electrical stimulation on protein and quality changes in bovine muscles during postmortem aging. **Meat science**, v. 94, n. 3, p. 289-296, 2013.
- KIM, Y.H.B.; WARNER, R.D.; ROSENVOLD, K. Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: a review. **Animal Production Science**, v. 54, n. 4, p. 375-395, 2014.
- KIM, T. W.; KIM, C. W.; KWON, S. G.; HWANG, J. H.; PARK, D. H.; KANG, D. G.; HA, J.; YANG, M. R.; KIM, S. W.; KIM, I. pH as Analytical Indicator for Managing Pork Meat Quality. **Sains Malaysiana**. v. 45, n. 7, p. 1097–1103, 2016.
- KIM, Y.H.B.; MA, D.; SETYABRATA, D.; FAROUK, M.M.; LONERGAN, S.M.; HUFF-LONERGAN, E.; HUNT, M.C. Understanding postmortem biochemical processes and post-harvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. **Meat science**, 2018.
- KOCH, R. M.; DIKEMAN, M. E.; CROUSE, J. D. Characterization of biological types of cattle (cycle III). III Carcass composition, quality and palatability. **Journal of Animal Science**, v. 54, n. 1, p. 35-45
- KUFFI, K. D; LESCOUHIER, S.; NICOLAI, B. M.; SMET, S.; GEERAERD, A.; VERBOVEN, P. Modelling postmortem evolution of pH in beef M. biceps femoris under two different cooling regimes. **Journal of Food Science and Technology**. v.55, n.1, p.233-243, 2018.
- LAGE, J. F.; PAULINO, P. V. R.; SOUZA, E. J. O.; DUARTE, M. S.; BENEDETI, P. D. B.; SOUZA, N. K. P.; COX, R. B. Influence of genetic type and level of concentrate in the finishing diet on carcass and meat quality traits in beef heifers. **Meat Science**, v. 90, n. 3, p. 770-774, 2012.

- LEE, Y.; LEE, B.; KIM, H. K.; YUN, Y. K.; KANG, S. J.; KIM, K. T.; KIM, B. D.; KIM, E. J.; CHOI, Y. M. Sensory quality characteristics with different beef quality grades and surface texture features assessed by dented area and firmness, and the relation to muscle fiber and bundle characteristics. **Meat Science**, v. 145, p. 195–201, 2018.
- LI, C.; ZHOU, G. H.; XU, X.-L.; ZHANG, J.; XU, S.; JI, Y. Effects of marbling on meat quality characteristics and intramuscular connective tissue of beef longissimus muscle. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 19, n. 12, p. 1799-1808, 2006.
- LI, H., THOMPSON, V. F. & GOLL, D. E. Effects of autolysis on properties of  $\mu$ - and mcalpain. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research*, 1691(2-3), 91103, 2004.
- LI, C.; LI, J.; LI, X.; HVIID, M.; LUNDSTRÖM, K. Effect of low-voltage electrical stimulation after dressing on color stability and water holding capacity of bovine longissimus muscle. **Meat science**, v. 88, n. 3, p. 559-565, 2011.
- LI, C. B.; LI, J.; ZHOU, G. H.; LAMETSCH, R.; ERTBJERG, P.; BRÜGGEMANN, D.A.; HUANG, H.G.; KARLSSON, A.H.; HVIID, M.; LUNDSTRÖM, K. Electrical stimulation affects metabolic enzyme phosphorylation, protease activation, and meat tenderization in beef. **Journal of animal science**, v. 90, n. 5, p. 1638-1649, 2012.
- LI, C.; ZHOU, G.; XU, X.; LUNDSTRÖM, K.; KARLSSON, A.; LAMETSCH, R. Phosphoproteome analysis of sarcoplasmic and myofibrillar proteins in bovine longissimus muscle in response to postmortem electrical stimulation. **Food chemistry**, v. 175, p. 197-202, 2015.
- LI, M.; LI, X.; XIN, J.; LI, Z.; LI, G.; ZHANG, Y.; DU, M.; SHEN, Q.W.; ZHANG, D. Effects of protein phosphorylation on color stability of ground meat. **Food chemistry**, v. 219, p. 304-310, 2017.
- LLONCH, P.; RODRÍGUEZ, P.; CASAL, N.; CARRERAS, R.; MUÑOZ, I.; DALMAU, A.; VELARDE, A. Electrical stunning effectiveness with current levels lower than 1 A in lambs and kid goats. **Research in Veterinary Science**, v. 98, p. 154–161, 2015.
- LÓPEZ-CAMPOS, Ó.; ROBERTSON, W. M.; DUGAN, M. E. R.; LARSEN, I. L.; ROBERTS, J. C.; AALHUS, J. L. Effect of growth-promoting implants and high-voltage electrical stimulation on quality characteristics of finished steers. **Canadian journal of animal science**, v. 98, n. 1, p. 166-176, 2017.
- LAWRIE, R. & D. A. LEDWARD. The storage and preservation of meat: Temperature control. **In: Lawrie's Meat Science**. 7th ed. Boca Raton New York Washington, DC: CRC. pp. 192-202.
- MATARNEH, S. K.; ENGLAND, E. M.; SCHEFFLER, T. L.; GERRARD, D. E. The Conversion of Muscle to Meat. *In: TOLDRA, F. Lawrie's Meat Science*, v. 8. ed. 2017. Cap.5.

- MAZZETTO, A. M.; FEIGL, B. J.; SCHILS, R. L. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. **Livestock Science**, v. 175, p. 101-112, 2015.
- McALPINE, C.A.; ETTER, A.; FEARNESIDE, P.M.; SEABROOK, L.; LAURANCE, W.F.; Aumento do consumo mundial de carne bovina como motor de mudanças regionais e globais: Um apelo à ação política baseada em evidências de Queensland (Austrália), Colômbia e Brasil. **Ambiente global Chang**, v. 19, p.21-33, 2009.
- McKENNA, D. R.; MADDOCK, T. D.; SAVELL, J. W. Water-holding and color characteristics of beef from electrically stimulated carcasses. **Journal of Muscle Foods**, v. 14, n. 1, p. 33-43, 2003.
- McMANUS, C.; BARCELLOS, J. O. J.; FORMENTON, B. K.; HERMUCHE, P. M.; MLA- AMPC. Australian Meat Processor Corporation. Fact sheet – **What is electrical stimulation?** Program: food safety, product integrity and meat science. 2016a.
- AMPC-2015a. Australian Meat Processor Corporation. Fact sheet – **What is electrical stimulation?** Program: food safety, product integrity and meat science.
- MIGUEL, G.Z.; FARIA, M.H.; ROÇA, R.O.; SANTOS, C.T.; SUMAN, S.P.; FAITARONE, A.B.G.; DELBEM, N.L.C.; GIRÃO, L.V.C.; HOMEM, J.M.; BARBOSA, E.K.; SU, L.S.; RESENDE, F.D.; SIQUEIRA, G.R.; MOREIRA, A.D.; SAVIAN, T.V. Immunocastration improves carcass traits and beef color attributes in Nellore and Nellore X Aberdeen Angus crossbred animals finished in feedlot. **Meat Science**, v. 96, p. 884-891, 2014
- MILIOS, K.T.; DROSINOS, E.H.; ZOIPOULOS, P.E. Food Safety Management System validation and verification in meat industry: Carcass sampling methods for microbiological hygiene criteria–A review. **Food Control**, v. 43, p. 74-81, 2014.
- MOMBENI, E. G.; MOMBEINI, M. G.; FIGUEIREDO, L. C.; SIQUEIRA, L. S. J.; DIAS, D. T. Effects of high voltage electrical stimulation on the rate of pH decline, meat quality and color stability in chilled beef carcasses. **Asian Pac J Trop Biomed**, v. 3, n. 9, p. 716-719, 2013.
- MOTA, D.R.; ROLDÁN, P.S.; GUERRERO, I.L. Electrical Stimulation in Meat Processing. **Meat and Meat Processing Handbook**. 2<sup>a</sup> ed. 323-329, 2012.
- NAIR, M. N.; CANTO, A. C. V. C. S.; RENTFROW, G.; SUMAN, S. P. Muscle-specific effect of aging on beef tenderness. **LWT - Food Science and Technology**, v.100, p. 250–252, 2019.
- NAZLI, B.; CETIN, O.; BINGOL, E. B.; KAHRAMAN, T. & ERGUN, O. Effects of high voltage electrical stimulation on meat quality of beef carcasses. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 9, n. 3, p. 556-560.
- O'CONNOR, S. F., TATUM, J. D., WULF, D. M., GREEN, R. D., & SMITH, G. C. Genetic effects on beef tenderness in *Bos taurus indicus* composite and *Bos taurus* cattle. **Journal of Animal Science**, v.75(7), p.1822-1830, 1997.

O'DOWD, L.O., ARIMI, J.M., NOCI, F., CRONIN, D.A., & LYNG, J.G. Na assessment of the effect of pulsed electrical fields on tenderness and selected quality attributes of post rigour beef muscle. **Meat Science**, v. 93, cap. 2, p. 303-309- 2013.

OLIVEIRA, C.A; MILLEN, D.D. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. **Animal Feed Science and Technology**, v.197, p.64-75, 2014.

PAGE, J. K.; WULF, D. M.; SCHWOTZER, T. R. A survey of beef muscle color and pH. **Journal Animal Science**, v. 79, n.3, p. 678-87, 2001.

PAULINO, P.; DUARTE, M. Brazilian beef production. In: **Beef cattle production and trade**, p.107-120, 2014.

PEREIRA, A.S.C.; BALDI, F.; SAINZ, R.D.; UTEMBERGUE, B.L.; CHIAIA, H.L.J.; MAGNABOSCO, C.U.; MANICARDI, F.R.; ARAUJO, F.R.C.; GUEDES, C.F.; MARGARIDO, R.C.; LEME, P.R.; SOBRAL, P.J.A. Growth performance, and carcass and meat quality traits in progeny of Poll Nellore, Angus and Brahman sires under tropical conditions. **Animal Production Science**, v. 55, n. 10, p. 1295-1302, 2015.

PEARCE, K. L., HOPKINS, D. L., WILLIAMS, A., JACOB, R. H., PETHICK, D. W., & PHILLIPS, J. K. Alternating frequency to increase the response to stimulation from medium voltage electrical stimulation and the effect on objective meat quality. **Meat Science**, 81, 188–195, (2009).

POLIDORI, P.; VINCENZETTI, S. The use of electrical stimulation in meat production. In: **Meat and Meat Processing**, Nova Science Publishers, p.133-154, 2017.

POPPI, D.P.; SIMON, P. Q.; SILVA, C.C.A.T.; STUART, R. M. Desafios da produção de gado de corte de pastagens tropicais". **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, 2018.

POULIOT, E.; GARIÉPY, C.; THÉRIAULT, M.; AVEZARD, C.; FORTIN, J.; SIMMONS, N. J.; CASTONGUAY, F. W. Effects of low-voltage electrical stimulation and aging on lamb meat quality. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 92, n.1, p.59-66, 2012.

PUOLANNE, E.; IMMONEN, K. Conversion of muscle to meat – Glycogen. In: **Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition)**, Elsevier, p.346-352, 2014.

RAMALINGAM, V.; ZHEN, S.; HWANG, I. The potential role of secondary metabolites in modulating the flavor and taste of the meat. **Food Research International**. v. 122, p. 174-182, 2019.

RILEY, D. G.; MILLER, R. K.; NICHOLSON, K. L.; GILL, C.A.; HERRING, A. D.; RIGGS, P. K.; SAWYER, J. E.; SAVELL, J.W.; SANDERS, J.O. Genome association of carcass and palatability traits from *Bos indicus*-*Bos taurus* crossbred steers within electrical stimulation status and correspondence with steer temperament 1. Carcass. **Livestock Science**, v.229, p. 150-158, 2019.

RODRIGUES, R.T.S.; CHIZZOTTI, M.L.; VITAL, C.E.; BARACAT-PEREIRA, M.C.; BARROS, E.; BUSATO, K. C.; GOMES, R.A.; LADEIRA, M.M.; MARTINS, T.S.

Differences in beef quality between Angus (*Bos taurus taurus*) and Nellore (*Bos taurus indicus*) cattle through a proteomic and phosphoproteomic approach. **PloS ONE**, v. 12, n. 1, p. e0170294, 2017.

ROEBER, D. L.; CANNELL, R. C.; BELK, K. E.; TATUM, J. D.; G. C. SMITH, G. C. Effects of a unique application of electrical stimulation on tenderness, color, and quality attributes of the beef longissimus muscle. **Journal of Animal Science**, v. 78, p.1504-1509, 2000.

ROSA, A.F.; MONCAU, C.T.; POLETI, M.D.; FONSECA, L.D.; BALIEIRO, J.C.; SILVA, S.L.; ELER, J.P. Proteome changes of beef in Nellore cattle with different genotypes for tenderness. **Meat science**, v. 138, p. 1-9, 2018.

ROSENVOLD, K.; NORTH, M.; DEVINE, C.; MICKLANDER, E; HANSEN, P.; DOBBIE, P.; WELLS, R. The protective effect of electrical stimulation and wrapping on beef tenderness at high pre rigor temperatures. **Meat Science**, v. 79, p. 299–306, 2008.

SHACKELFORD, S. D.; WHEELER, T. L.; MEADE, M. K.; REAGAN, J. O.; BYRNES, B. L.; KOOHMARAIE, M. Consumer impressions of tender select beef. **Journal of animal science**, v. 79, n. 10, p. 2605-2614, 2001.

SABOW, A. B.; NAKYINSIGE, K.; ADEYEMI, K. D.; SAZILI, A. Q.; JOHNSON, C. B.; WEBSTER, J.; FAROUK, M. M. High frequency pre-slaughter electrical stunning in ruminants and poultry for halal meat production: A review. **Livestock Science**, v. 202, p. 124–134, 2017.

SAMPAIO, G. S. L.; PFLANZER-JÚNIOR, S. B.; ROÇA, R. O.; CASAGRANDE, L.; BEDESCHI, E. A.; PADOVANI, C. R.; MIGUEL, G. Z.; SANTOS, C. T.; GIRÃO, L. V. C.; MIRANDA, Z. B.; FRANCO, R. M. Effects of polyethylene film wrap on cooler shrink and the microbial status of beef carcasses, **Meat Science**, v.100, p.164-170, 2015.

SÁNCHEZ, E.; PÉREZ, C.; BARRERAS, A.; FIGUEROA, F.; HERRERA, B. Quantifying the differential effect that the electrical stimulation of bovine carcasses has on pH, and color. **Veterinarski Arhiv**, v. 86, n. 1, p. 149-158, 2016.

SANTOS, C.; MONIZ, C.; ROSEIRO, C.; TAVARES, M.; MEDEIROS, V.; AFONSO, I.; DIAS, M. A.; PONTE, D. J. B. Effects of early post-mortem rate of pH fall and aging on tenderness and water holding capacity of meat from cull dairy holstein-friesian cows. **Journal of Food Research**, v. 5, n. 2, p. 1- 12, 2016.

SAVELL, J.W.; MUELLER, S.L.; BAIRD, B.E. The chilling of carcasses. **Meat Science**, v.70, p.449-459, 2005.

SAVELL, J. W.; McKEITH, F. K.; MURPHEY, C. E.; SMITH, G. C.; CARPENTER, Z. L. Singular and combined effects of electrical stimulation, post-mortem ageing and blade tenderisation on the palatability attributes of beef from young bulls. **Meat Science**, v. 6, n.2, p. 97-109, 1982.

SCHEFFLER, T.L.; MATARNEH, S.K.; ENGLAND, E.M.; GERRARD, D.E. Mitochondria influence postmortem metabolism and pH in an in vitro model. **Meat science**, v. 110, p. 118-

125, 2015.

SCHEFFLER, T.L.; SCHEFFLER, J.M.; KASTEN, S.C.; SOSNICKI, A.A.; GERRARD, D.E. High glycolytic potential does not predict low ultimate pH in pork. **Meat Science**, v. 95, n. 1, p. 85-91, 2013.

SCHUTT, K. M.; BURROW, H. M.; THOMPSON, J. M.; BINDON, B. M. Brahman and Brahman crossbred cattle grown on pasture and in feedlots in subtropical and temperate Australia. 2. Meat quality na palatability. **Animal Production Science**, v. 49, p. 439-451

SEARCHINGER, T.; WAITE, R.; HANSON, C.; RANGANATHAN, J. Criando um futuro sustentável dos alimentos: um menu de soluções para alimentar quase 10 bilhões de pessoas até 2050. **World Resources Institute**, July 2019.

SHANGE, N.; MAKASI, N. T.; GOUWS, A. P.; HOFFMAN, C. L. The influence of normal and high ultimate muscle pH on the microbiology and colour stability of previously frozen black wildebeest (*Connochaetes gnou*) meat. **Meat science**, v. 135, p. 14-19, 2018.

SIKES, L. A.; JACOB, R.; D'ARCY, B.; WARNER, R. Very fast chilling modifies the structure of muscle fibres in hot-boned beef loin. **Food Research International**, v. 93, p. 75-86, 2017.

SIMMONS, J. N.; DALY, C. C.; MUDFORD, R. C.; RICHARDS, I.; JARVIS, G.; PLEITER, H. Integrated technologies to enhance meat quality - An Australasian perspective. **Meat Science**, v.74, n. 1, p. 172-179, 2006.

SIMMONS, N. J.; DALY, C. C.; CUMMINGS, T. L.; MORGAN, S. K.; JOHNSON, N. V.; LOMBARD, A. Reassessing the principles of electrical stimulation. **Meat Science**, v. 80, n. 1, p. 110-122, 2008.

SIONEK, B.; PRZYBYLSKI, W. The impact of ante- and post-mortem factors on the incidence of pork defective meat – a review. **Annals of Animal Science**, v. 16, n. 2, p.333–345, 2016.

SMITH, G. C. Effects of Electrical Stimulation on Meat Quality, Color, Grade, Heat Ring, and Palatability. *In*: Pearson, A. M. **Advances in Meat Research**, 1985.

SMITH, D. R., NICHOLSON, L. K., NICHOLSON, W. D. J., HARRIS, B. K., MILLER, K. R., GRIFFIN, B. D., SAVELL, W. J. Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer palatability evaluations of steaks from US Choice and US Select shortm loins. **Meat Science**, v. 79, p. 631-639, 2008.

SOARES, G. J. D.; ARÊAS, J. A. G. Effect of electrical stimulation on post mortem biochemical characteristics and quality of longissimus dorsi thoracis muscle from buffalo (*bubalus bubalis*). **Meat Science**, v. 41, n. 3, p.369-319, 1995.

SUMAN, S. P.; HUNT, M. C.; NAIR, M. N.; RENTFROW, G. Improving beef color stability: Practical strategies and underlying mechanisms. **Meat Science**, v. 98, n. 3, p. 490-504, 2014.

STRYDOM, P. E. The effects of carcass chilling and electrical stimulation on visual beef quality and palatability. In: **Ensuring safety and quality in the production of beef**. Michael Dikeman (2 ed.) Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2017. cap. 8, p. 203-228.

STRYDOM, P. E.; FRYLINCK, L. Minimal electrical stimulation is effective in low stressed and well fed cattle. **Meat Science**, v. 96, n. 2, p. 790-798, 2014.

TATUM, J. D.; GRUBER, S. L.; SCHNEIDER, B. A. Pre-Harvest Factors Affecting Beef Tenderness in Heifers: **National Cattlemen's Beef Association**, 2007.

THOMPSON, J. M.; PERRY, D.; DALY, B.; GARDNER, G. E.; JOHNSTON, D. J.; PETHICK, D. W. Genetic and environmental effects on postmortem muscle structure response. **Meat Science**, v.74, p.59-65, 2006.

THOMPSON, J. Managing meat tenderness. **Meat Science**. v. 62, p. 295–308, 2002.

THOMPSON, JM; HOPKINS, DL; SOUZA, DND'; WALKER, PJ; BAUD, SR; PETHICK, DW. Impacto do processamento nas propriedades sensoriais e medidas objetivas da carne de ovelha qualidade alimentar. **Australian Journal of Agricultura Experimental**, v.45, p.561.

TIMAR, A. **Electrical stimulation in cold shortening**. Analele Universității din Oradea, Fascicula: Protecția Mediului XII, p. 174-186, 2007.

TROY, D. J.; KERRY, J. P. Consumer perception and the role of science in the meat industry. **Meat Science**, v. 86, p. 214-226, 2010.

USDA. United States of America. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Global Agricultural Information Network (GAIN). **Brazil - Livestock and Products Semi-annual - 2019 Semi-Annual Livestock Report (GAIN Report Number: BR 1924)**, 2019a. 17p. May 9, 2019a.

WANG, C. E.; WANG, H.; LI, X.; ZHANG, C. Effects of oxygen concentration in modified atmosphere packaging on water holding capacity of pork steaks. **Meat Science**, v. 148, p.189-197, 2019.

WARNER, R.D., DUNSHEA, F.R., GUTZKE, D., LAU J, KEARNEY, G. Factors influencing the incidence of high rigor temperature in beef carcasses in Australia. **Animal Production Science**, v. 54, p. 363–374, 2014 doi:10.1071/AN13455.

WARNER, R.D., THOMPSON, J.M., POLKINGHORNE, R., GUTZKE, D., KEARNEY, G.A. A consumer sensory study of the influence of rigor temperature on eating quality and ageing potential of beef striploin and rump. **Animal Production Science**, v. 54, p. 396–406, 2014b. doi:10.1071/AN12226

WARNER, R. D.; KERR, M.; KIM, Y. H. B.; GEESINK, G. Pre-rigor carcass stretching counteracts the negative effects of high rigor temperature on tenderness and water-holding capacity – using lamb muscles as a model. **Animal Production Science**, v. 54, p. 494–503, 2014c.

- WARNER, R. D., GREENWOOD, P. L., PETHICK, D. W., & FERGUSON, D. M. Genetic and environmental effects on meat quality. **Meat Science**, v. 86, p. 171–183, 2010.
- WARNER, R., FINGLAS, P. M., & TOLDRÁ, F. Meat: Conversion of Muscle into Meat In. **Encyclopedia of Food and Health**, pg. 677-684, 2016.
- WARNER, R. D.; KEARNEY, G.; HOPKINS, D. L.; JACOB, R. H. Retail colour stability of lamb meat is influenced by breed type, muscle, packaging and iron concentration. **Meat Science**. v. 129, p. 28-37, 2017a.
- WARNER, R. D.; MCDONNELL, C. K.; BEKHIT, A. E. D.; CLAUS, J.; VASKOSKA, R.; SIKES, A.; DUNSHEA, F. R.; HA, M. Systematic review of emerging and innovative technologies for meat tenderisation. **Meat science**, v. 132, p. 72-89, 2017b.
- WARRISS, P.D. Ciência da carne: um texto introdutório. 2nd Ed. Publicação CABI; pp. 117-122, 2010. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Meat+science:+An+Introductory+Text&author=PD+Warriss&publication\\_year=2010&](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Meat+science:+An+Introductory+Text&author=PD+Warriss&publication_year=2010&)
- WARNER, R. D. The Eating Quality of Meat -IV Water-Holding Capacity and Juiciness. **Meat Science**, cap. 14, p. 419-459, 2017c.
- WEGLARZ, A. Quality of beef from semi-intensively fattened heifers and bulls. **Animal Science Papers and Reports**, v. 28, n. 3, 207-218, 2010.
- WICKS, J.; BELINE, M.; GOMEZ, J. F. M.; LUZARDO, S.; SILVA, S. L.; GERRARD, D. Muscle Energy Metabolism, Growth, and Meat Quality in Beef Cattle. **Agriculture**, v. 9, n. 9, p. 1-10. 2019.
- WIKLUND, E.; STEVENSON-BARRY, J. M.; DUNCAN, S. J.; LITTLEJOHN, R. P. Electrical stimulation of red deer (*Cervus elaphus*) carcasses - effects on rate of pH-decline, meat tenderness, colour stability and water-holding capacity. **Meat Science**, v. 59, p. 211–220, 2001.
- ZHANG, W.; NAVEENA, B. M.; JO, C.; SAKATA, R.; ZHOU, G.; BENERJEE, R.; NISHIUMI, T. Technological demands of meat processing-An Asian perspective. **Meat Science**, v. 132, p. 35-44, 2017.
- ZHANG, Y. M., HOPKINS, D. L., ZHAO, X. X., VAN DE VEN, R., MAO, Y. W., ZHU, L. X., ... & XIN, L. U. O. Characterisation of pH decline and meat color development of beef carcasses during the early postmortem period in a Chinese beef cattle abattoir. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17(7), p. 1691-1695, 2018.
- ZHANG, Y.; JI, X.; MAO, Y.; LUO, X.; ZHU, L.; HOPKINS, D. L. Effect of new generation medium voltage electrical stimulation on the meat quality of beef slaughtered in a Chinese abattoir. **Meat Science**, v. 149, p. 47-54, 2019.
- ZHOU, G. H.; XU, X. L.; LIU, Y. Preservation technologies for fresh meat – A review. **Meat Science**, v.86, n.1, p.119-128, 2010.

ZYBERT, A.; TARCZYŃSKI, K.; SIECZKOWSKA, H. Meta-analysis of the effect of chilling on selected attributes of fresh pork. **Journal of Food Processing and Preservation**, p. e14061, 2019.

ZYWICA, R.; MODZELEWSKA-KAPITUŁA, M.; BANACH, J. K.; TKACZ, K. Linear correlation between pH value of stimulated beef and electrical current intensity, **International Journal of Food Properties**, n. 21, v.1, p. 1386-1394, 2018.

## CAPÍTULO 2\*

**“Eficiência da crescente estimulação elétrica de média voltagem em meias carcaças *Bos taurus indicus* no final do abate na qualidade do contrafilé durante a maturação”**

\*Artigo científico elaborado de acordo com as normas do periódico Meat Science - <https://www.journals.elsevier.com/meat-science>.  
Guia de Formatação da APA (7ª Edição)

## Resumo

Esse estudo objetivou avaliar a eficiência de estímulos elétricos com tensões crescentes durante a estimulação de meias carcaças no final do abate na qualidade do contrafilé até 28 dias de maturação. Metade das meias carcaças esquerdas de 40 novilhos Nelore (*Bos taurus indicus*), não castrados, com predomínio de cobertura de gordura mediana, foram submetidas ao Protocolo A (20, 40, 60 e 80 V<sub>RMS</sub>) e a outra metade foi submetida ao Protocolo B (50 V<sub>RMS</sub>). Ambos os protocolos com 12,5 Hz durante 52 segundos. As respectivas meias carcaças direitas não foram estimuladas (Controle A e Controle B). O pH e a temperatura das meias carcaças foram monitorados durante as 40 horas de resfriamento (1, 3, 6, 9, 12, 24 e 40 horas) e os respectivos contrafilés foram maturados por 2, 7, 14, 21 e 28 dias *post-mortem*. As duas combinações de estimulação elétrica de média voltagem aceleraram a taxa de declínio do pH (refletido na temperatura e no tempo que o pH cai para 6), resultando em valores médios para força de cisalhamento de 4,66 kgf pra o Protocolo A e 4,62 kg para o Protocolo B com diferença entre seus controles os quais apresentaram 5,36 kg e 5,29 kg respectivamente, mantendo essa característica durante a maturação. O comprimento dos sarcômeros não foi diferente ( $P>0,05$ ) entre os protocolos e seus controles. O uso da estimulação elétrica com tensões crescentes não resultou em melhores características qualitativas da carne em relação a estimulação elétrica de tensão contínua. A força da estimulação elétrica, contrações visuais e área de diferença do pH ( $\Delta\text{pH}$ ) não apresentaram efeito proporcional em relação a maciez. O presente estudo não encontrou diferença entre os protocolos de estimulação elétrica A e B. Entretanto, foi observada maior ocorrência de carne macia ( $\text{WBSF} \leq 4,4 \text{ kg}$ ) ao longo da maturação para carcaças estimuladas, quando comparadas a carcaças não estimuladas, independente do tempo de maturação.

**Palavras-chave:** Encurtamento pelo frio, Maciez, Nelore, Queda do pH

## **Abstract**

This study was aimed to evaluate the efficiency of electrical stimulation with increasing voltage during the stimulation of bovine half carcasses on the quality of 28 days aged strip loins. Half of the left half carcasses from 40 Nellore steers (*Bos taurus indicus*), intact, from the same feedlot, with median fat coverage, were submitted to Protocol A (20, 40, 60 and 80 V<sub>RMS</sub>) and the other half to Protocol B (50 V<sub>RMS</sub>). Both protocols with 12.5 Hz for 52 seconds. The respective right half carcasses were not stimulated (Control A and Control B). The pH and temperature were monitored during 40 hours of cooling (1, 3, 6, 9, 12, 24 and 40 hours) and the strip loins were aged for 2, 7, 14, 21, and 28 days *post-mortem*. Both combinations of medium voltage electrical stimulation accelerated the pH decline rate (reflected in temperature and the time that pH drop to 6), resulting in lower values for shear force 4.66 kgf for Protocol A, and 4.62 for Protocol B, with 5.36 kgf and 5,29 kgf for its respectively controls, maintaining this characteristic during aging time. The length of the sarcomere was not different ( $P>0.05$ ) between the protocols and their controls. The use of an electrical stimulation with increasing tensions did not result in better qualitative characteristics of the meat in comparison to the continuous tension electrical stimulation. The strength of the electrical stimulation, the visual contractions, and the pH difference area ( $\Delta\text{pH}$ ) did not have a proportional effect on tenderness. From the present study, there were no difference between the protocols A and B for electrical stimulation. However, it was observed a higher occurrence of tender meat ( $\text{WBSF} \leq 4.4$  kg) in stimulated carcasses when compared to unstimulated carcasses, regardless of the aging time.

**Keywords:** cold shortening, Nellore, pH drop, tenderness.

## 1 Introdução

O Brasil possui importância mundial quanto a produção e exportação de carnes, com o segundo maior rebanho bovino mundial e destaque econômico para a cadeia produtiva de carne bovina, abateu 32,43 milhões de cabeças no ano de 2019 (IBGE, 2020). A pecuária de corte brasileira é caracterizada pela dependência quase que exclusiva de pastagens, prevalecendo o abate de animais mais velhos não castrados com o predomínio de carne proveniente de animais *Bos taurus indicus*, principalmente da raça Nelore (Ferraz & Felício, 2010; Oliveira & Millen, 2014). Este tipo de carcaça representa vários desafios tecnológicos para as indústrias da carne bovina, tanto para otimizar a produção e melhorar o retorno econômico, como evitar prejuízos às características sensoriais da carne *in natura* produzida (Gursansky et al., 2010; O'Connor et al., 1997).

Após o abate e durante o resfriamento das carcaças ocorre o processo de transformação do músculo em carne, caracterizado pela glicólise anaeróbica e contrações musculares *post-mortem* (Devine, 2014; Honikel, 2014a, 2014b; Puolanne & Immonen, 2014). O resfriamento rápido e a manutenção da cadeia do frio *post-mortem*, estão entre as principais condutas para controlar o crescimento microbiano, retardar a deterioração e estender a validade comercial de carnes (Miliotis, Drosinos, & Zoiopoulou, 2014; Zhou & Liu, 2010). Entretanto, durante a contração *post-mortem* pode ocorrer o encurtamento do sarcômero muscular, que resultará no endurecimento da carne, condição conhecida como “encurtamento pelo frio” ou *cold shortening* (Savell, Mueller, & Baird, 2005).

A eficiência da maturação enzimática *post-mortem* é o principal aspecto responsável pela maciez da carne bovina *in natura* (Devine, 2014; Dransfield, 1993; Kim et al., 2018). Este também é o principal motivo da diferença de maciez entre as carnes de zebuínos e taurinos, uma vez que animais *Bos taurus indicus* apresentam menor e retardada atividade proteolítica muscular, quando comparado aos *Bos taurus taurus*

(Coutinho et al., 2017; Rodrigues et al., 2017; Rosa et al., 2018). Neste sentido, a técnica de estimulação elétrica (EE) de carcaças bovinas durante o processo de abate tem sido utilizada pelas indústrias para minimizar os efeitos do *cold shortening* e melhorar as características de maciez e coloração da carne (Adeyemi & Sazili, 2014; Devine et al., 2014; Hopkins, 2012; Polidori & Vincenzetti, 2017; Simmons et al., 2008). Esta técnica consiste na propagação de uma corrente elétrica pela carcaça com o objetivo de aumentar a contração muscular e a taxa glicolítica com inúmeros fatores intrínsecos e extrínsecos relacionados a sua eficiência (Devine et al., 2014; Hopkins, 2012; Polidori & Vincenzetti, 2017).

Na prática industrial tem sido adotado três tipos de EE, uma consiste na EE de meias carcaças com alta voltagem (>300V), usualmente empregado antes do resfriamento, o outro sistema consiste na EE de carcaças com baixa voltagem (<100V) utilizado logo após a morte do animal (Bhat et al., 2019; Devine et al., 2014) e os sistemas de média voltagem com picos entre 100V e 300V (Zhang et al., 2019). Observações empíricas (visual) em unidades brasileiras, sugerem que protocolos elétricos com tensão contínua (fixa) resultam na redução progressiva da intensidade da contração muscular das meias carcaças durante a estimulação elétrica, realizada no final do abate antes do resfriamento, o que gera a teoria de que as meias carcaças gradativamente reduzem a capacidade de responder aos estímulos elétricos (dessensibilizam/fadigam), hipotetizando que protocolos de estimulação elétrica de meias carcaças no final do abate utilizando tensões elétricas crescentes poderiam manter a intensidade da contração muscular com a otimização de parâmetros elétricos, resultando na melhoria da qualidade de carnes estimuladas. A partir do exposto, objetivou-se avaliar a eficiência de estímulos elétricos de média voltagem com tensões crescentes em carcaças *Bos taurus indicus* no final do abate na qualidade do contrafilé submetido a diferentes tempos de maturação.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Delineamento experimental

Os procedimentos adotados neste experimento foram previamente aprovados pelo Comitê de Ética no Uso Animal (CEUA) da Universidade Estadual Paulista, campus de Botucatu (FMVZ-UNESP), conforme Protocolo nº 0211/2018.

O presente estudo foi realizado em abatedouro comercial de bovinos, sob fiscalização federal (BRASIL, 2017), localizado no Estado de Mato Grosso do Sul. Quarenta animais *Bos taurus indicus*, com características da raça Nelore, machos não castrados, com 18 meses de idade, foram selecionados do mesmo lote de confinamento de uma propriedade rural, localizada 24 km do estabelecimento de abate (24 km). As carcaças destes bovinos apresentaram peso médio de  $266,58 \pm 15,44$  kg e cobertura de gordura predominantemente mediana (82,5%), conforme classificação brasileira (BRASIL, 1989).

Metade das meias carcaças esquerdas (n=20) foram submetidas ao Protocolo A e suas respectivas direitas não foram estimuladas (Controle A). A outra metade das meias carcaças esquerdas (n=20) foi submetida ao Protocolo B e suas respectivas direitas não foram estimuladas (Controle B). O Protocolo A foi constituído por tensões crescentes de 20, 40, 60 e 80  $V_{RMS}$  (*root-mean-square voltage*), com 13 segundos de estimulação em cada. O Protocolo B foi constituído por tensão constante de 50  $V_{RMS}$  e tempo de estimulação de 52 segundos. Os parâmetros elétricos foram obtidos com *digital phosphor oscilloscope* (DPO 2014 - Tektronix). Ambos protocolos foram constituídos por frequência regular de 12,5 Hz e amplitude entre 200 a 500 V. As meias carcaças foram estimuladas por 4 pares de elétrodos, sendo um na paleta e outro no garrão, em um intervalo de tempo de 10 minutos após a morte do animal, antes do resfriamento das carcaças.

## 2.2 Colheita de amostras

O pH e a temperatura das carcaças foram medidos simultaneamente no *M. longissimus thoracis et lomborum* com 5 cm de profundidade, entre a 12<sup>a</sup> e 13<sup>a</sup> costelas, com termômetro de penetração Testo (Testo do Brasil) e peagômetro Hanna® (Hanna® Instruments Brasil, modelo HI98163), nos tempos 1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 e 40 horas. Os valores de pH também foram obtidos para as subamostras nos tempos de maturação 2, 7, 14, 21 e 28 dias. O *M. longissimus thoracis et lomborum* foi removido entre a 13<sup>a</sup> vértebra torácica e a 6<sup>a</sup> vértebra lombar após 40 horas do abate. Cada amostra (25 cm) foi dividida em 5 subamostras (bifes) com 3,0 cm cada e distribuídas aleatoriamente (sorteio) para os cinco tempos de maturação avaliados: 2, 7, 14, 21 e 28 dias *post-mortem*. Após identificação, essas cinco subamostras foram individualmente embaladas à vácuo, totalizando 400 subamostras. As subamostras de 2 dias de maturação (n=80) foram congeladas e mantidas a -20°C as outras foram mantidas em câmara de resfriamento com temperatura de 2 a 4 °C, completado os períodos de maturação foram congeladas, até a realização das análises.

## 2.3 Processamento das amostras

O descongelamento foi realizado em ambiente refrigerado Incubadora B.O.D (M4 415 - Marconi) em 4 °C por 24 horas, conforme recomendações AMSA (2016). Cada rodada de análises foi constituída por amostras de todos os tratamentos em todos os cinco tempo de maturação, totalizando 20 amostras por período de análises (manhã e tarde).

### 2.3.1 Cor instrumental

Amostras de *M. longissimus thoracis et lomborum* descongeladas, foram padronizadas com 2,54 cm de espessura transversal com exposição da superfície fresca

por 30 minutos a 4°C para oxigenação. A cor instrumental foi avaliada em três pontos não sobrepostos da superfície de corte, utilizando colorímetro portátil Konica Minolta® (CR-410), com acessório de proteção contra umidade, previamente calibrado com padrão cerâmico branco. As especificações SCI-especular incluída, iluminante D65, abertura de 8 mm de diâmetro e ângulo de observação de 10 foram utilizadas. Os três resultados de cada subamostra foram convertidos para iluminante A, utilizando o *software* do fabricante, e as médias expressas em parâmetros CIE L\*, a\* e b\* (Commission Internationale de l'Eclairage – CIE, 1976), saturação ou *chroma*  $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  e ângulo de tonalidade ou *hue angle*  $hab = \arctan b^*/a^*$ , conforme AMSA (2012).

### 2.3.2 Perda de peso por cozimento

A perda por cozimento foi determinada conforme recomendações de McKenna, King, & Savell (2004). As subamostras descongeladas na temperatura de 2 a 4 °C e padronizadas com 2,54 cm de espessura transversal, foram pesadas para obtenção do peso inicial. Estas subamostras foram acondicionadas em bandeja de alumínio com grelha e assadas em forno elétrico Modelo Grill Mega 2N (Britania), pré-aquecido e regulado para 170°C. Durante o cozimento, a temperatura do centro geométrico da subamostra foi monitorada com termômetro de penetração Simpla TEO7-AKLA26248. Quando o centro geométrico da amostra alcançou a temperatura de 40 °C, inverteu-se a subamostra em relação à grelha, e com 71 °C, encerrou-se a cocção e retirou-se a subamostra do forno. As subamostras foram mantidas em temperatura ambiente até atingirem a temperatura superficial de 25°C, e pesadas novamente para determinação do peso final. A temperatura foi monitorada utilizando termômetro digital infravermelho laser Incoterm -7662.02.0.00. A perda de peso por cozimento foi calculada individualmente pela diferença percentual entre os pesos inicial e final como mostra a equação abaixo:

$$\text{Perda de peso durante a cocção (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

### 2.3.3 Força de cisalhamento

As subamostras cozidas foram submetidas a análise de força de cisalhamento (Savell et al., 1994). Logo após a determinação do peso final (cozimento), cada subamostra foi individualmente embaladas, identificadas e mantidas sob refrigeração de 2 a 4 °C por 12 horas. Oito cilindros de aproximadamente 2,5 cm de comprimento e 1,27 cm de diâmetro foram obtidos no sentido das fibras com auxílio da guia de corte (furadeira de bancada Chiaperini - CH FB-13 -350W). Esses cilindros com temperatura entre 2 a 4° C foram avaliados em texturômetro Brookfield (modelo 15W- CT3 25K), equipado com lâmina Warner-Bratzler de 1 mm de espessura, com capacidade de 25 kg, velocidade do seccionador de 200 mm por minuto e distância do mesmo da plataforma de 25,0 mm. Os resultados foram expressos em Kg, com a média dos oitos cilindros. A ocorrência percentual para carne macia foi calculada considerando a carne macia quando WBSF ≤ 4,4 kg, conforme ASTM (2018).

### 2.3.4 Perda por gotejamento livre

A análise foi realizada com as subamostras após 2 dias de maturação, utilizando o método EZ-DripLoss (EZ) adaptado por Kilgannon et al. (2018) para carne bovina. A preparação dos núcleos de carne com diâmetro de 2,5 cm e altura de 1,5 cm foram realizados com cortador circular no sentido das fibras musculares. Foram preparados dois núcleos para cada subamostra. Os pesos dos núcleos foram registrados à medida que foram colocados nos tubos EZ-DripLoss® - Danish Meat Research Instituten (2018). Todos os tubos contendo os núcleos foram mantidos em grades suspensas verticalmente sob refrigeração média  $1,7 \pm 0,6$  °C, durante um período total de 24 horas. A perda por

gotejamento livre foi expressa como a perda de peso da amostra durante o período definido, como mostra a equação abaixo:

$$EZ - Driploss = \frac{(W1 - Wc) * 100}{(Wt - Wc)}$$

Onde:

- \* Wc é o peso do recipiente EZ-DripLoss vazio
- \* Wt é o peso do recipiente EZ-DripLoss com carne e exsudado
- \* W1 é o peso do recipiente EZ-DripLoss com exsudado

### 2.3.5 Comprimento do sarcômero

As subamostras com 2 dias *post-mortem* foram descongeladas (n=80), e submetidas a medida indireta do comprimento de sarcômero, utilizando método de difração de raio laser (Cross, West, & Dutson, 1981). Com o auxílio de uma pinça e bisturi, em cada subamostra foi seccionado uma porção com dimensões de 2x2x1cm no sentido das fibras musculares e colocadas individualmente em frascos Falcon® de 15 mL, devidamente identificados. Foi adicionada solução de 5% de glutaraldeído, contendo 0,1M de Na<sub>2</sub>HP0<sub>4</sub> com pH 7,2 até cobrir a porção da subamostra. Após fixação durante 4 horas em temperatura de 10 °C, a solução foi removida e a amostra lavada em solução de sacarose 0,2M em pH 7,2 na temperatura de 10 °C. Com auxílio de uma pinça, fragmentos das fibras musculares foram removidos de cada frasco, colocados sobre uma lâmina de microscopia (26x76 mm) e separados até obtenção de 10 fragmentos menores. Uma gota da solução de sacarose foi adicionada sobre estes fragmentos menores, cobertos com uma lamínula de vidro. Para leitura das lâminas e medições dos sarcômeros, utilizou-se equipamento de feixe de laser de hélio e neônio 117A (Spectra Physics Inc), com comprimento de onda de 633 nm. As miofibrilas foram posicionadas sob a luz do laser

para a formação do padrão de difração. Os padrões de difração de 10 miofibrilas por lâmina foram medidos com auxílio de paquímetro digital 150mm/6" CD-6" CSX-B - Mitutoyo, e os valores em milímetros, utilizados para calcular o comprimento dos sarcômeros em micrômetros ( $\mu$ ), conforme equação abaixo: “ $D$ ” é a distância (mm) entre a lâmina e o local de medição e “ $T$ ” é a distância medida entre 2 bandas de difração (mm), para cada amostra foram realizadas 10 medições, e o valor final expresso pela média das medições.

$$\text{Comprimento do sarcômero } (\mu\text{m}) = \frac{0,0006328 \times D \times \sqrt{\frac{T^2}{D^2} + 1}}{T} \times 100$$

#### 2.4 Análise estatística

O cálculo do tamanho amostral foi realizado considerando 5% de probabilidade para o erro tipo I ( $\alpha = 0,05$ ) e de 20% para o erro tipo II ( $\beta = 0,2$ ), de modo a permitir detecção de diferença estatística entre dois grupos comparados, desde que os valores de desvio padrão destes grupos não excedam 1,11 vezes o valor da diferença obtida entre as médias destes grupos. O processamento estatístico dos dados foi realizado no software estatístico SAS<sup>®</sup> 9.4 TS1M2 (SAS<sup>®</sup> Institute, Cary, NC, USA), considerando nível de significância de 5%. As carcaças esquerdas foram submetidas a estimulação elétrica e as respectivas direitas não foram estimuladas (controles), o que permitiu o cálculo individual da diferença (resultado do controle menos resultado do estimulado). Os parâmetros quantitativos (Tabela 6) foram submetidos a análise de variância para dois fatores (2-way) utilizando o procedimento *Proc Mixed*, com “tipo de estimulação”, “tempo de maturação” e sua interação como efeitos fixos e “animal” como unidade experimental. O “tempo de maturação” também foi considerado medida repetida, sendo utilizado a estrutura de covariância que apresentou menores critérios de informação (Akaike (AIC), Akaike

corrigido (AIC) e bayesiano (BIC)).

A aproximação dos graus de liberdade foi realizada com o método Kenward-Roger. O teste de Tukey-Kramer foi utilizado para ajustar as comparações múltiplas das variáveis que não apresentaram efeito de interação significativo (valor  $P \geq 0,05$ ). Entretanto, nas variáveis com efeito significativo da interação (valor  $P < 0,05$ ), o ajuste das comparações múltiplas foi realizado a partir da multiplicação dos valores  $P$  dos testes  $t$  de Student pelo número de comparações válidas entre os efeitos fixos, sendo 25, 126, 49 e 70 comparações válidas respectivamente para os esquemas fatoriais  $4 \times 7$  (4 tratamentos e 7 tempos de resfriamento),  $2 \times 7$  (2 tratamentos e 7 tempos de resfriamento),  $4 \times 5$  (4 tratamentos e 7 tempos de maturação) e  $2 \times 5$  (2 tratamentos e 7 tempos de maturação). Os resultados das análises foram expressos em média dos mínimos quadrados (MMQ) e erro padrão (EP). A diferença do pH ( $\Delta\text{pH}$ ) foi calculado entre os tratamentos durante o tempo *post-mortem*, subtraindo os valores dos grupos controles de seus respectivos protocolos, com desdobramento das interações oriundas da diferença.

As curvas de decaimento do pH realizadas para cada meia carcaça utilizada nos diferentes tratamentos, foi ajustada com uma função de decaimento do pH em função do tempo. Foram avaliadas diversas funções, porém a que apresentou melhor ajuste representa um modelo logístico com curva representada por:  $y = \frac{A_1 - A_2}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^p} + A_2$  Onde:  $y$ : pH;  $A_1$ : valor inicial;  $A_2$ : valor final;  $x$ : momento;  $x_0$ : centro;  $p$ : expoente. Os parâmetros ajustados foram  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $x_0$  e  $p$ . O ajuste foi realizado com auxílio do software ORIGIN® 8.0 (Lab Corporation - Northampton, MA, USA). Assim, após o ajuste de uma função para cada meia carcaça, calculou-se o tempo necessário para atingir o  $\text{pH}=6$ , substituindo-se  $y$  por 6 e resolvendo-se a equação para  $x$ . A partir dos diferentes tempos, para cada meia carcaça em cada tratamento calculou-se o tempo médio e respectivo intervalo de confiança ( $\bar{x} \pm 1,96EP$ ).

Para determinação da temperatura da carcaça ao atingir o pH 6,0, foram obtidos os dados de temperatura ao longo do tempo. Do mesmo modo que para a variável pH, foi realizado o ajuste de uma função que representasse o decaimento da temperatura com o tempo. Nesse caso, a função com melhor ajuste foi um modelo exponencial representado pela seguinte equação:  $y = y_0 + A_1 e^{-x/t_1}$  Onde: y: temperatura; A1: amplitude; x: momento; 1/t1: taxa de decaimento; y0: limite inferior. Assim após o ajuste para cada meia carcaça, substituiu-se o tempo (x) pelo tempo necessário para a respectiva meia carcaça atingir o pH6, dado pelo modelo anterior. Desse modo, obtivemos a estimativa da temperatura de cada meia carcaça no momento que o pH seria igual a 6. Computou-se a temperatura média e respectivo erro-padrão para cada tratamento, obtendo-se o intervalo de 95% de confiança.

Para análise do percentual e IC WBSF  $\leq 4,4$  kg, estimou-se a proporção de meias carcaças que apresentaram WBSF  $\leq 4,4$  kg segundo o momento de avaliação e tratamento aplicado. Os intervalos de confiança foram estimados com auxílio do software MINITAB® (Minitab LLC). O diagrama de dispersão dos valores de diferença de pH e de WBSF (Figura 4), foi ajustado com uma reta pelo método dos mínimos quadrados e o intervalo de predição com 95% de confiança, apresentado em cinza, com auxílio do software MINITAB® (Minitab LLC).

### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Monitoramento do pH e temperatura em relação ao tempo *post-mortem*, e seus efeitos nos parâmetros de qualidade do *M. longissimus thoracis et lumborum* durante a maturação

As taxas de declínio do pH e temperatura são apresentadas na Tabela 1. As meias carcaças *Bos taurus indicus* submetidas ao Protocolo A em relação ao Protocolo B, não apresentaram diferenças para o valor médio do pH do *M. longissimus thoracis et lumborum*, independente do tempo *post-mortem*, com diferenças ( $P < 0,05$ ) apenas entre seus controles. O pH final estabeleceu em 6 horas para o Protocolo A, 3 horas para o Protocolo B e 12 horas *post-mortem* nos grupos controles, considerado quando não encontrado diferenças ( $P > 0,05$ ) entre os tempos avaliados para cada tratamento (Tabela 2). Comparando o uso da estimulação elétrica de média voltagem crescente - Protocolo A e contínua - Protocolo B e seus efeitos no declínio do pH de carnes de *Bos taurus indicus*, o estudo encontrou rápido declínio na taxa de redução do pH *post-mortem* e antecipação do pH final, demonstrando a capacidade dos estímulos elétricos de média voltagem na aceleração e depleção das reservas musculares de glicogênio. Esses resultados sugerem aceleração da glicólise anaeróbica e consumo do ATP *post-mortem*, consequência das contrações musculares causadas durante o processo de estimulação elétrica, com acúmulo de ácido láctico pré-rigor, diminuição do pH muscular e antecipação do *rigor-mortis*. Os mesmos efeitos na queda acelerada do pH em carcaças bovinas e o uso de estímulos elétricos no *post-mortem*, foram encontrados por vários autores, Hertzman, Olsson, & Tornberg (1993); Juárez et al. (2016); Kim et al. (2013); Zhang et al. (2019) e Zywicki et al. (2018).

A aplicação de estímulos elétricos foi sugerida por Simmons et al. (2008) e Mota, Roldán, & Guerrero (2012), responsáveis por impedir o “*cold shortening*” no *post-*

*mortem*, em carcaças armazenadas a baixas temperaturas. A Figura 1 deste estudo ilustra a relação entre pH e temperatura do *M. longissimus thoracis et lumborum* e as condições para ocorrência do *cold shortening* e *High Temperature*. Avaliando descritivamente os dados dentro da “janela ideal” do pH, os animais dos grupos controles encontravam-se na faixa do *cold shortening*, propondo efeitos negativos na qualidade da carne destes animais, principalmente em maciez. A “janela ideal” é uma especificação usada para descrever a relação entre pH e queda de temperatura durante o resfriamento, e o objetivo é manipular a queda de pH que passa pela janela de  $12 \geq \text{pH}6 \leq 35 \text{ }^\circ\text{C}$  (Hopkins et al., 2014; Thompson, 2002; Warner et al., 2014a). Neste sentido, as carcaças estimuladas apresentaram adequada taxa de redução no pH, com pH de 6,0 na temperatura muscular de  $29 \text{ }^\circ\text{C}$  enquanto seus controles apresentaram pH 6,0 em temperaturas inferiores a  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  (Tabela 2, Figura 2), esse dados colaboram com Hwang & Thompson (2001). Ambos Protocolos foram eficientes na redução do *cold shortening*, sem diferença entre eles. O tempo *post-mortem* médio para as carcaças estimuladas atingir o pH 6,0 também não diferiu ( $P>0,05$ ) entre os Protocolos A e B, apenas entre seus respectivos controles (Tabela 2, Figura 3), as carcaças estimuladas apresentaram pH muscular médio de 6,0 em até 2 horas *post-mortem*, enquanto as não estimuladas entre 7 a 9 horas *post-mortem*, esses valores colaboram com os estudos de Gursansky et al. (2010), Hwang & Thompson (2001), e Zhang et al. (2019).

As carcaças submetidas ao Protocolo B apresentaram maior taxa ( $\Delta\text{pH}$ ) muscular de redução do pH *post-mortem* em relação ao Protocolo A (Tabela 3), com efeito de interação significativo apenas 3 horas *post-mortem* (Tabela 4). Durante o estudo está taxa do pH e temperatura do *M. longissimus thoracis et lumborum* em relação ao tempo *post-mortem* foi obtida com o cálculo do  $\Delta\text{pH}$  e os resultados encontrados para este estudo, sugere processos glicolíticos acelerados no início do *rigor mortis* para o Protocolo B,

demonstrando que a relação entre a força/tensão durante o processo de estimulação, não resultou em um maior  $\Delta\text{pH}$ .

O pH e a temperatura muscular interagem continuamente durante o desenvolvimento do *rigor* (Jeacocke, 1977) e a temperatura *post-mortem* da carcaça de animais estimulados pode influenciar modificações nas taxas de reações bioquímicas nos diferentes tecidos musculares, além disso, pode alterar todo o processo de mudanças dessas reações segundo Jeacocke, (1977), Kim et al. (2012) e Hwang & Thompson (2001). As carcaças do Protocolo B e Controle B apresentaram maior taxa de resfriamento, não resfriaram de forma uniforme na câmara do estudo (Tabela 2), além de que, durante os estímulos contínuos- Protocolo B as meias carcaças apresentaram maior contato com os elétrodos (visualmente), em relação ao Protocolo A, principalmente no início da estimulação. O contato efetivo das carças durante a aplicação de estímulos elétricos pode ter influenciado as contrações musculares e os valores  $\Delta\text{pH}$ .

A avaliação quantitativa para comprimento do sarcômero entre os tratamentos (Tabela 5) não apresentou diferença ( $P>0,05$ ). Devine, Wahlgren, & Tornberg (1999), utilizando baixas temperaturas de pré-rigor encontraram encurtamento destas estruturas miofibrilares como consequências do *cold shortening*, em carcaças não estimuladas. Hwang et al. (2004) relataram que o potencial e a extensão da proteólise endógena relacionada à miofibrila poderia anular o efeito do comprimento do sarcômero na maciez da carne, ou seja, o efeito adverso do encurtamento do sarcômero na maciez da carne, foi insignificante quando a degradação de proteínas miofibrilares estruturais foi desencadeada com uso da estimulação elétrica (Smulders et al.,1990).

A Figura 1 também ilustra a ocorrência para “*High Temperature*”, demonstrando que nenhum dos tratamentos apresentavam-se nesta faixa. Essa informação colabora com os resultados encontrados para perdas na exsudação (Tabela 5), não detectada diferenças

( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos, com indícios de menor capacidade de retenção de água para o Protocolo A. Essa observação é justificada avaliando os parâmetros de cor para esse Protocolo, com destaque para  $L^*$  e hue angle. Ao avaliarmos os parâmetros de cor para os Protocolos A e B (Tabela 6), o estudo encontrou diferença ( $P > 0,05$ ) para os valores médios de hue angle. A luminosidade também foi diferente ( $P > 0,05$ ) entre o Protocolo A e seu Controle, porém não diferiu dos outros tratamentos. O uso de estímulos elétricos crescentes- Protocolo A, apresentou carnes com cor mais clara e maior hue angle, quando comparado ao Protocolo B. Durante o período de maturação deste estudo, todos os parâmetros para cor (luminosidade, vermelho, amarelo, tonalidade e saturação), apresentaram valores crescentes, independente do uso da estimulação elétrica, corroborando com Zhang et al. (2019). Em geral o processo de maturação produz cor mais pálida a carne, o que pode facilitar uma pontuação de cor mais alta durante a classificação, efeitos atribuídos aos danos causados pelo sistema enzimático durante o processo (Wiklund et al., 2001). O estudo não encontrou interação para cor avaliando os Protocolos A e B e o período de maturação.

A capacidade da estimulação elétrica no aperfeiçoamento na cor da carne bovina foi associada a sua capacidade em reduzir o metabolismo oxidativo da via muscular, acelerando o declínio do pH *post-mortem* em temperaturas musculares ainda altas (Hughes et al., 2014, 2020; Hopkins et al., 2014; C. Li et al., 2011). Essas alterações podem influenciar na capacidade de retenção de água e na desnaturação da maior parte das proteínas musculares, em comparação a carne não estimulada, que alcança o pH final posteriormente, além de contribuir para alterações no desarranjo das estruturas miofibrilares (Hopkins et al., 2014; Hughes et al., 2014). Essas alterações estruturais diminuem a concentração de oxigênio que penetra nos músculos, permitindo maior oxigenação superficial da mioglobina, influenciando os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  (Hughes et

al., 2020; C. Li et al., 2011). Nazli et al. (2010) relataram que quando a estimulação elétrica de alta tensão era aplicado às carcaças bovinas, com rápida diminuição do pH *post-mortem*, as propriedades de absorção e refletância da luz eram alteradas e padrão de cor mais atrativo foi observado, em comparação a carnes não estimuladas. Por outro lado Devine et al. (2014), afirmaram que a estimulação elétrica por si só parece improvável de afetar a cor da carne, no entanto, esses autores se concentraram em efeitos negativos como “superestimulação” ou “redução de calor” na cor da carne, com ênfase no procedimento de refrigeração, devendo este ser considerado ao aplicar estímulos elétricos, para que efeitos adversos na cor seja evitado.

As carnes das meias carcaças estimuladas apresentaram valores médios menores para força de cisalhamento ( $P < 0,05$ ) que as não estimuladas, sem diferença entre os Protocolos A e B (Tabela 6). A maciez da carne não apresentou diferença nos valores médios até 7 dias de maturação, independente do uso da estimulação elétrica, entretanto, após 7 dias as carnes estimuladas apresentaram valores menores para força de cisalhamento em relação seus controles (Tabela 7 e Figura 5), com indícios de que a diferença na força de cisalhamento reduz à medida que a extensão da proteólise se equilibra entre as amostras estimuladas e não estimuladas.

O presente estudo mostrou que a carne não estimulada, não era tão macia quanto possível, e que o processo de maturação era mais lento do que quando os músculos eram estimulados, observado na Tabela 6 e 7. A carne foi considerada macia neste estudo, quando  $WBSF \leq 4,4$  kg conforme ASTM (2018). Com 2 dias *post-mortem* já existia um percentual de 15% de carnes consideradas macias no teste de força de cisalhamento  $WBSF \leq 4,40$  kg, para o Protocolo B e 5% para o Protocolo A (Tabela 8 e Figura 5), esses dados colaboram com Zhang et al. (2019) e Ying-Hong, Shu, & Mei-hu (2011), que observaram em carnes estimuladas maior maciez no início do processo de maturação,

quando comparado a carnes não estimuladas. Ying-Hong, Shu, & Mei-hu (2011) comparando diferentes sistemas de estimulação elétrica, encontraram força de cisalhamento 23,03% menor 7 dias *post-mortem*, quando comparado a carnes não estimuladas, e concluiu que o tempo de maturação com a aplicação de estímulos elétricos poderia ser reduzido. A proteólise induzida pelo sistema calpaína e o dano físico muscular foram sugeridos por Balan et al. (2019), Dransfield, (1993) e Kim et al. (2012), como parte do mecanismo envolvido para os valores mais baixos na força de cisalhamento em carnes de carcaças estimuladas eletricamente.

O efeito da estimulação elétrica na maciez é discutido por Hwang, Devine, & Hopkins (2003), Hwang et al. (2004), Hwang & Thompson, (2001) e Ho, Stromer, & Robson (1996). A prevenção ao *cold shortening* foi justificada por Devine et al. (2014), Hwang & Thompson (2001), (2002), Simmons et al. (2008) e Mota, Roldán, & Guerrero (2012) como consequência das rápidas alterações *post-mortem* e declínio acelerado do pH, atribuindo a maciez de carnes estimuladas a este efeito. A estimulação elétrica favorece a liberação de  $Ca^{2+}$  no retículo sarcoplasmático, o cálcio livre promove a proteólise já que o complexo calpaína é cálcio dependente, além de promover rupturas de membranas lisossomais após declínio contínuo do pH com liberação de catepsinas, iniciando o processo de maturação, associando esses efeitos a maciez de carnes estimuladas (Kim et al., 2012; Hwang et al., 2004). Jeacocke, (1977) justifica ainda que durante o período pré-rigoroso a atividade das calpaínas é reduzida, assim como a duração de exposição às condições adversas, quando o *rigor-mortis* é acelerado após a estimulação elétrica (Hwang et al., 2003, 2004). Essas hipóteses foram apoiadas por estudos que demonstraram que a tensão muscular se desenvolve ao longo do processo de rigor, mas acaba diminuindo à medida que a proteólise assume o controle e inicia a maturação (Devine, Wahlgren, & Tornberg, 1999). Desta forma a maciez medida no final do rigor-

mortis (o tempo mais cedo possível) será substancialmente diferente entre músculos estimulados eletricamente e não estimulados segundo Hwang et al. (2003), (2004).

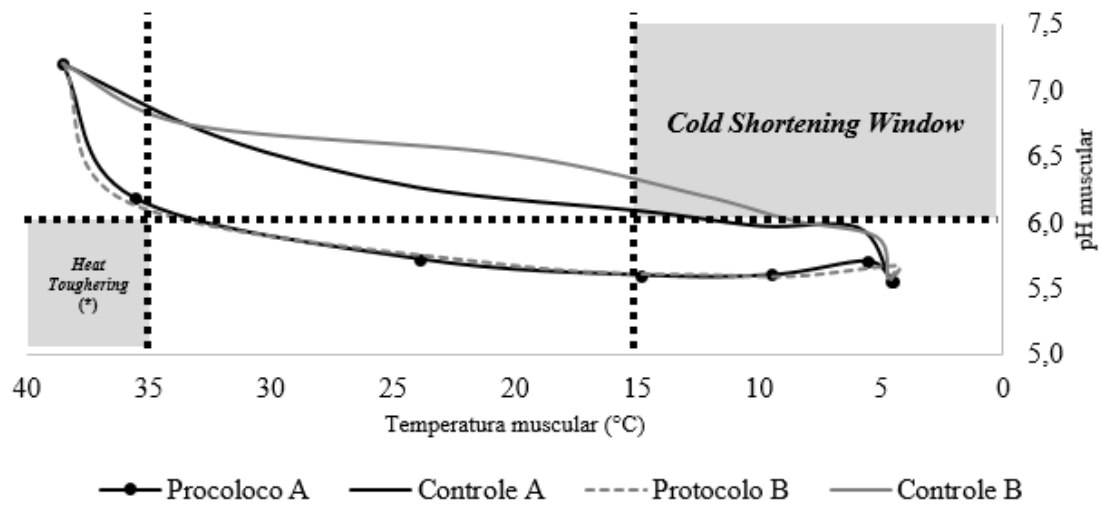
Inicialmente, o presente estudo encontrou vantagens a curto prazo em  $\Delta$ WBSF, utilizando a estimulação elétrica e 7 dias de maturação em carnes de animais *Bos taurus indicus* (Tabela 8), e indícios de que embora a ocorrência de carne macia ( $WBSF \leq 4,4$  kg) aumente gradualmente ao longo da maturação, o uso da estimulação elétrica resulta em maior ocorrência de carne macia em relação às carcaças não estimuladas, independentemente do tempo de maturação, sem diferenças entre os Protocolos A e B. Avaliando a relação entre o  $\Delta$ WBSF e  $\Delta$ pH (Figura 4), o estudo não encontrou significância entre a maior taxa de redução do pH *post-mortem* e a melhoria na maciez, relacionado ao uso da estimulação elétrica, esses dados colaboram com Hopkins et al. (2014) que concluiu em seu estudo que o início acelerado do rigor, alcançado pela estimulação elétrica, não teve efeito proporcional para força de cisalhamento. Já, Hwang & Thompson (2001) encontraram efeito proporcional entre a maior taxa de declínio do pH na força de cisalhamento, associado a um período de maturação, em carcaças estimuladas, atribuindo esse efeito a atividade enzimática das  $\mu$ -calpaínas em pH6 e temperaturas musculares mais altas. Segundo Simmons et al. (1996), existe uma influência negativa inesperada adicional de temperaturas elevadas de rigor na qualidade da carne bovina, através da ativação e inativação de processos envolvendo enzimas proteolíticas, que ocorrem durante o desenvolvimento do rigor. Esses autores observaram que a uma temperatura de rigor constante de 35 °C, quase 80% da atividade da  $\mu$ -calpaína foi perdida durante o desenvolvimento do rigor (dentro de 5 horas após o abate), enquanto apenas cerca de 20% da atividade foi perdida quando exposto a uma temperatura de rigor constante de 15 °C (dentro de 27 h após o abate). Esse processo de inativação pode ser a explicação para as diferenças de maciez encontradas entre carnes com taxa de pH mais

lenta, quando expostas ao mesmo regime de refrigeração (Wahlgren, Devine, & Tornberg (1997). A variação na proteólise é em grande parte uma função dos sistema calpaína segundo Dransfield, (1993) e Hwang et al. (2003), tanto a calpaína quanto a miosina-ATPase requerem íons de cálcio livres no citoplasma para suas atividades. Cornforth, Pearson, & Merkel (1980) e Whiting, (1980) demonstraram que as organelas reservadoras de cálcio perdem sua função em pH e temperatura celulares extremas. Jeacocke, (1977) relatou que o músculo colocado a 12 °C apresentava taxas glicolíticas mais lenta, e que aumentava acima ou abaixo dessa temperatura, concluindo que os íons livres de cálcio foram liberados sob condições de frio devido pH mais baixo, levando potencialmente ao início da proteólise, justificando que a taxa de glicólise mais rápida do que o esperado na temperatura mais baixa no *post-mortem* tenha sido uma função do aumento dos íons livres de cálcio, resultando em redução dos efeitos causados pelo frio. Segundo Pospiech et al. (2003) e Warris, (2010) os mecanismos envolvidos nos processos de maciez não se limita apenas ao teor de glicogênio muscular, mais sim a estrutura e conteúdo muscular e dependete de vários fatores como atividade muscular específica, espécie animal, idade, tipo de músculo e temperatura a que esse músculo é submetido *post-mortem*, sofrendo variações entre raças e espécies.

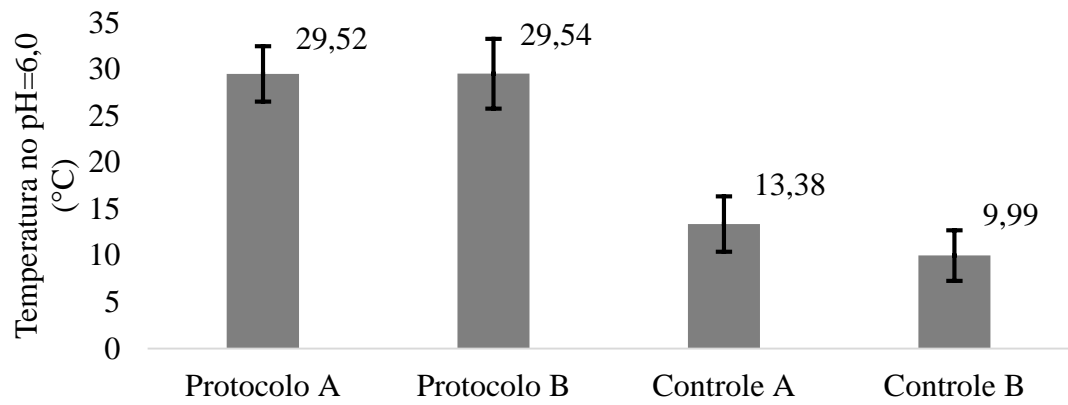
As carnes estimuladas deste estudo, oriundas de animais *Bos taurus indicus*, apresentaram durante o período de maturação avaliado menor força de cisalhamento. Com o uso da estimulação elétrica e regime de resfriamento utilizado na indústria, o estudo encontrou antecipação do pH final e maior ocorrência para carne macia no início do processo de maturação, sugerindo aceleração dos processos proteolíticos para carnes de animais *Bos taurus indicus*. Ambos Protocolos testados podem ser uma alternativa para diminuição na variabilidade nos padrões de maciez para animais *Bos taurus indicus*, além de sugerir menor tempo de armazenamento para essas carnes no *post-mortem*.

#### 4 Conclusão

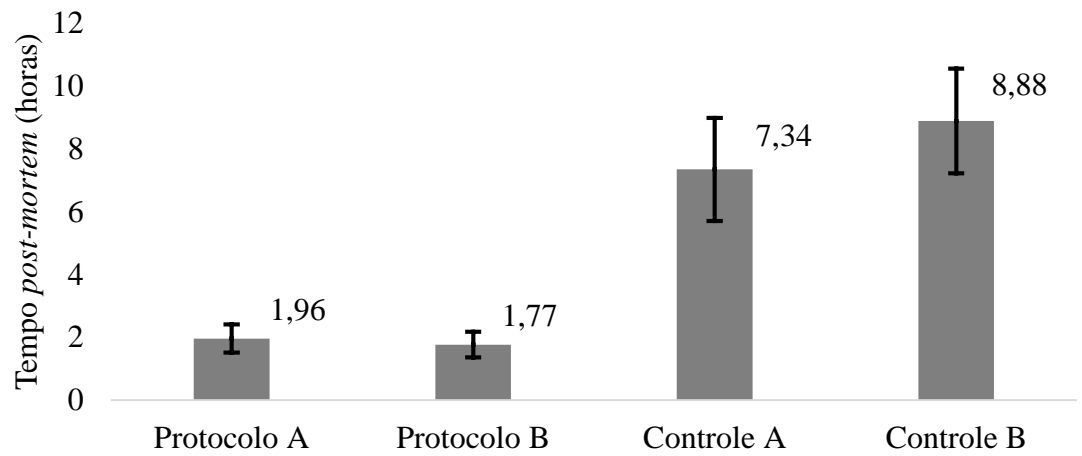
O uso de estímulos elétricos de média voltagem com tensão crescente em carcaças *Bos taurus indicus* no final do abate, não foi mais eficiente quando comparado a estimulação elétrica de tensão contínua. A estimulação elétrica de tensão contínua demonstrou maior taxa de redução do pH *post-mortem*, sem relação entre força (tensão) e declínio do pH. A força de cisalhamento do contrafilé de animais *Bos taurus indicus* estimulados foi menor mesmo com a maturação de 28 dias, quando comparado aos animais não estimulados.



**Figura 1.** Relação entre pH e temperatura do *M. longissimus thoracis et lumborum*, em relação às condições para ocorrência de *Cold Shortening* e *High Rigor Temperature (Heat Toughening)*, conforme (AMPC, 2015a).



**Figura 2.** Temperatura *post-mortem* média das carcaças no pH muscular de 6,0  
Protocolo A: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão crescente de 20, 40, 60 e 80 VRMS, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.  
Controle A: Grupo controle do Protocolo A (carcaças direitas correspondentes).  
Protocolo B: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão contínua de 50 VRMS, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.  
Controle B: Grupo controle do Protocolo B (carcaças direitas correspondentes).



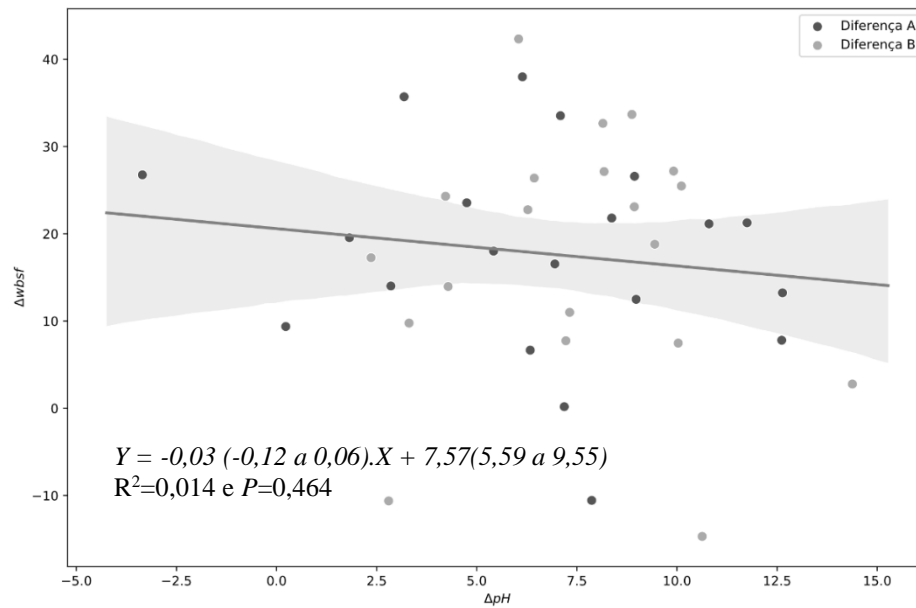
**Figura 3.** Tempo *post-mortem* médio para as carcaças atingir o pH 6,0

Protocolo A: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão crescente de 20, 40, 60 e 80 VRMS, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.

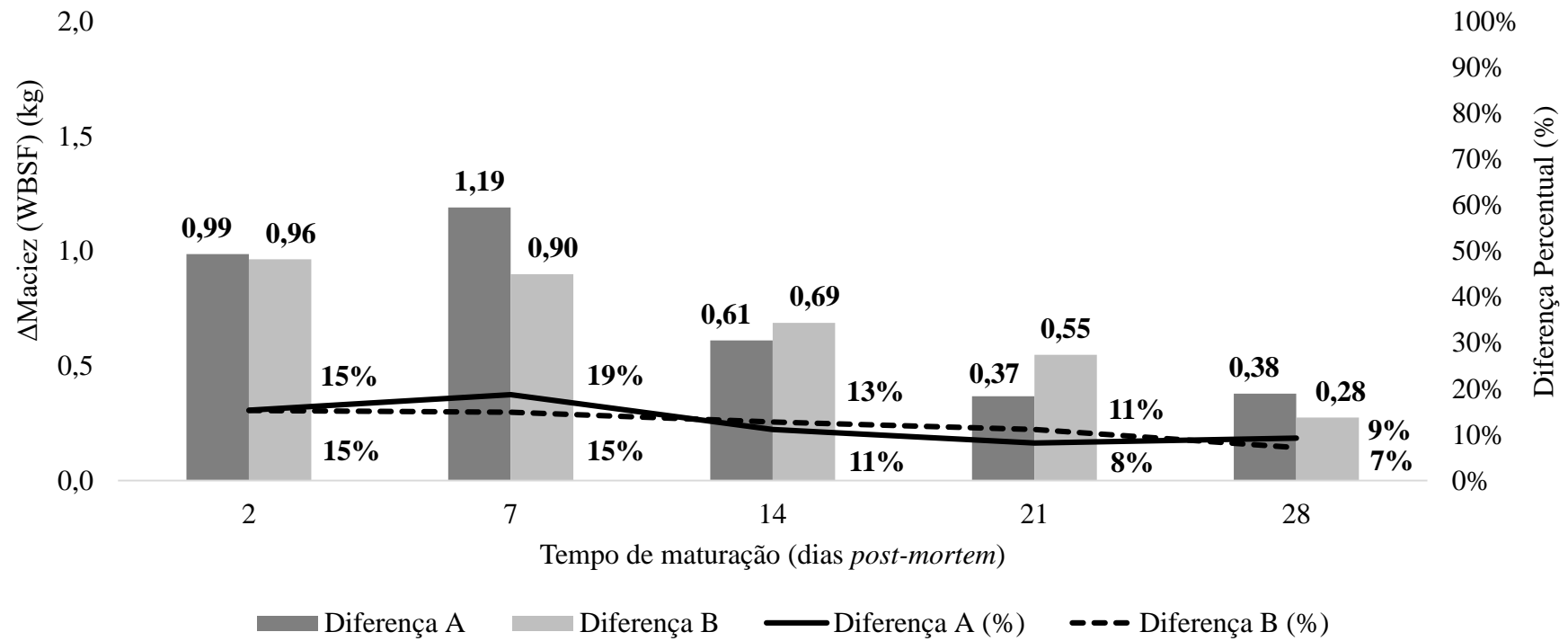
Controle A: Grupo controle do Protocolo A (carcaças direitas correspondentes).

Protocolo B: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão contínua de 50 VRMS, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.

Controle B: Grupo controle do Protocolo B (carcaças direitas correspondentes).



**Figura 4.** Equação linear com Intervalo de Confiança 95% (área cinza) da relação entre a área do gráfico  $\Delta WBSF$  (Controle - Estimulado) e a área do gráfico  $\Delta pH$  (Controle - Estimulado), em consideração ao tempo *post-mortem*. Cada ponto no gráfico acima representa um dos animais avaliados.



**Figura 5.** Monitoramento da diferença de maciez ( $\Delta$ WBSF) do *M. longissimus thoracis et lumborum* em relação ao tempo de maturação. Diferença A: Subtração do Controle A em relação ao Protocolo A. Diferença B: Subtração do Controle B em relação ao Protocolo B

**Tabela 1** – Monitoramento do pH e temperatura do *M. longissimus thoracis et lumborum* relação ao tempo *post-mortem*

Parâmetros	Estimulação Elétrica (EE)				EPM <sup>5</sup>	Tempo <i>post-mortem</i> (T)							EPM <sup>5</sup>	Valor <i>P</i>		
	Protocolo A <sup>1</sup>	Controle A <sup>2</sup>	Protocolo B <sup>3</sup>	Controle B <sup>4</sup>		1h	3h	6h	9h	12h	24h	40h		EE	T	Interação
pH	5,71 <sup>b</sup>	6,01 <sup>a</sup>	5,70 <sup>b</sup>	6,08 <sup>a</sup>	0,03	6,43 <sup>a</sup>	6,05 <sup>b</sup>	5,87 <sup>c</sup>	5,80 <sup>d</sup>	5,81 <sup>cd</sup>	5,58 <sup>e</sup>	5,58 <sup>e</sup>	0,02	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Temperatura	14,07 <sup>a</sup>	13,69 <sup>a</sup>	12,77 <sup>b</sup>	12,73 <sup>b</sup>	0,20	34,24 <sup>a</sup>	22,17 <sup>b</sup>	13,24 <sup>c</sup>	9,08 <sup>d</sup>	5,27 <sup>e</sup>	4,66 <sup>ef</sup>	4,52 <sup>f</sup>	0,19	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

<sup>1</sup>Protocolo A: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão crescente de 20, 40, 60 e 80 V<sub>RMS</sub>, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.

<sup>2</sup>Controle A: Grupo controle do Protocolo A (carcaças direitas correspondentes).

<sup>3</sup>Protocolo B: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão contínua de 50 V<sub>RMS</sub>, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.

<sup>4</sup>Controle B: Grupo controle do Protocolo B (carcaças direitas correspondentes).

<sup>5</sup>Erro padrão médio.

a,b,c,d,e,f,g Valores com letras distintas na linha para o mesmo efeito são diferentes ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 2** – Desdobramento das interações oriundas do monitoramento do pH e temperatura do *M. longissimus thoracis et lumborum* em relação ao tempo *post-mortem*

Parâmetros	Estimulação Elétrica				EPM <sup>5</sup>
	Protocolo A <sup>1</sup>	Controle A <sup>2</sup>	Protocolo B <sup>3</sup>	Controle B <sup>4</sup>	
<b>pH</b>					
1 hora	6,19 <sup>Ab</sup>	6,64 <sup>Aa</sup>	6,15 <sup>Ab</sup>	6,74 <sup>Aa</sup>	0,15
3 horas	5,72 <sup>Bb</sup>	6,27 <sup>Ba</sup>	5,69 <sup>Bb</sup>	6,51 <sup>Aa</sup>	0,05
6 horas	5,60 <sup>BCb</sup>	6,08 <sup>BCa</sup>	5,60 <sup>Bb</sup>	6,20 <sup>Ba</sup>	0,05
9 horas	5,60 <sup>Cb</sup>	5,97 <sup>Ca</sup>	5,60 <sup>Bb</sup>	6,01 <sup>BCa</sup>	0,04
12 horas	5,71 <sup>BCab</sup>	5,96 <sup>Ca</sup>	5,68 <sup>Bb</sup>	5,89 <sup>Cab</sup>	0,17
24 horas	5,56 <sup>C</sup>	5,60 <sup>D</sup>	5,57 <sup>B</sup>	5,58 <sup>D</sup>	0,03
40 horas	5,56 <sup>C</sup>	5,53 <sup>D</sup>	5,62 <sup>B</sup>	5,62 <sup>D</sup>	0,03
<b>Temperatura</b>					
1 hora	35,59 <sup>Aa</sup>	32,08 <sup>Ab</sup>	35,87 <sup>Aa</sup>	33,44 <sup>Ab</sup>	0,35
3 horas	23,90 <sup>Ba</sup>	24,01 <sup>Ba</sup>	20,49 <sup>Bb</sup>	20,27 <sup>Bb</sup>	0,35
6 horas	14,85 <sup>Ca</sup>	14,52 <sup>Ca</sup>	11,26 <sup>Cb</sup>	12,34 <sup>Cb</sup>	0,35
9 horas	9,47 <sup>D</sup>	9,90 <sup>D</sup>	8,30 <sup>D</sup>	8,67 <sup>D</sup>	0,35
12 horas	5,56 <sup>E</sup>	5,98 <sup>E</sup>	4,36 <sup>E</sup>	5,20 <sup>E</sup>	0,35
24 horas	4,58 <sup>E</sup>	4,72 <sup>E</sup>	4,64 <sup>E</sup>	4,73 <sup>E</sup>	0,35
40 horas	4,55 <sup>E</sup>	4,62 <sup>E</sup>	4,47 <sup>E</sup>	4,45 <sup>E</sup>	0,35

<sup>1</sup>Protocolo A: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão crescente de 20, 40, 60 e 80 VRMS, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.

<sup>2</sup>Controle A: Grupo controle do Protocolo A (carcaças direitas correspondentes).

<sup>3</sup>Protocolo B: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão contínua de 50 VRMS, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.

<sup>4</sup>Controle B: Grupo controle do Protocolo B (carcaças direitas correspondentes).

<sup>5</sup>Erro padrão médio.

a,b,c,d Valores com letras distintas na linha são diferentes ( $P < 0,05$ ).

A,B,C,D,E,F,G Valores com letras distintas na coluna são diferentes ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 3** – Monitoramento da diferença de pH e temperatura do *M. longissimus thoracis et lumborum* em relação ao tempo *post-mortem*

Parâmetros	Estimulação Elétrica (EE)		EPM <sup>3</sup>	Tempo <i>post-mortem</i> (T)							EPM <sup>3</sup>	Valor <i>P</i>		
	Diferença A <sup>1</sup>	Diferença B <sup>2</sup>		1h	3h	6h	9h	12h	24h	40h		EE	T	Interação
$\Delta$ pH	0,30 <sup>b</sup>	0,38 <sup>a</sup>	0,02	0,52 <sup>bc</sup>	0,68 <sup>a</sup>	0,54 <sup>b</sup>	0,39 <sup>c</sup>	0,23 <sup>d</sup>	0,03 <sup>e</sup>	-0,02 <sup>f</sup>	0,03	0,0316	< 0,0001	0,0240
$\Delta$ Temperatura	-0,38	-0,04	0,22	-0,30 <sup>b</sup>	-0,06 <sup>a</sup>	0,38 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>	0,63 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,23	0,2887	< 0,0001	0,1074

<sup>1</sup>Diferença A: Subtração do Controle A em relação ao Protocolo A.

<sup>2</sup>Diferença B: Subtração do Controle B em relação ao Protocolo B.

<sup>3</sup>Erro padrão médio.

a,b,c,d,e,f,g Valores com letras distintas na linha para o mesmo efeito são diferentes ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 4** – Desdobramento das interações oriundas do monitoramento da diferença do pH do *M. longissimus thoracis et lumborum* em relação ao tempo *post-mortem*

Parâmetros	Estimulação Elétrica		EPM <sup>3</sup>
	Diferença A <sup>1</sup>	Diferença B <sup>2</sup>	
$\Delta$ pH			
1 hora	0,45 <sup>AB</sup>	0,59 <sup>B</sup>	0,05
3 horas	0,54 <sup>Ab</sup>	0,83 <sup>Aa</sup>	0,06
6 horas	0,48 <sup>AB</sup>	0,60 <sup>B</sup>	0,06
9 horas	0,37 <sup>AB</sup>	0,41 <sup>BC</sup>	0,04
12 horas	0,25 <sup>BC</sup>	0,21 <sup>CD</sup>	0,07
24 horas	0,04 <sup>C</sup>	0,01 <sup>D</sup>	0,02
40 horas	-0,03 <sup>D</sup>	0,00 <sup>D</sup>	0,01

<sup>1</sup>Diferença A: Subtração do Controle A em relação ao Protocolo A.

<sup>2</sup>Diferença B: Subtração do Controle B em relação ao Protocolo B.

<sup>3</sup>Erro padrão médio.

<sup>a,b</sup> Valores com letras distintas na linha são diferentes ( $P < 0,05$ ).

<sup>A,B,C,D,E,F,G</sup> Valores com letras distintas na coluna são diferentes ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 5.** Parâmetros de qualidade do *M. longissimus thoracis et lumborum* avaliados com 2 dias de maturação

Parâmetros	Estimulação Elétrica				EPM <sup>5</sup>	Valor <i>P</i>
	Protocolo A <sup>1</sup>	Controle A <sup>2</sup>	Protocolo B <sup>3</sup>	Controle B <sup>4</sup>		
Comprimento sarcômero, $\mu\text{m}$	1,86	1,87	1,82	1,84	0,03	0,7191
Exsudação ( <i>EZ-DripLoss</i> ), %	0,93	0,75	0,70	0,77	0,11	0,3691

<sup>1</sup>Protocolo A: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão crescente de 20, 40, 60 e 80 V<sub>RMS</sub>, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.

<sup>2</sup>Controle A: Grupo controle do Protocolo A (carcaças direitas correspondentes).

<sup>3</sup>Protocolo B: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão contínua de 50 V<sub>RMS</sub>, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.

<sup>4</sup>Controle B: Grupo controle do Protocolo B (carcaças direitas correspondentes).

<sup>5</sup>Erro padrão médio.

<sup>a,b,c,d</sup> Valores com letras distintas na linha são diferentes ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 6** – Monitoramento de parâmetros qualitativos do *M. longissimus thoracis et lumborum* em relação ao tempo de maturação

Parâmetros	Estimulação Elétrica (EE)				EPM <sup>5</sup>	Tempo de maturação (T)					EPM <sup>5</sup>	Valor <i>P</i>		
	Protocolo A <sup>1</sup>	Controle A <sup>2</sup>	Protocolo B <sup>3</sup>	Controle B <sup>4</sup>		2d	7d	14d	21d	28d		EE	T	Interação
pH (laboratório)	5,76	5,76	5,76	5,78	0,02	5,72 <sup>c</sup>	5,75 <sup>bc</sup>	5,78 <sup>ab</sup>	5,77 <sup>ab</sup>	5,79 <sup>a</sup>	0,01	0,3918	< 0,0001	0,6150
Maciez (WBSF), kgf	4,66 <sup>b</sup>	5,36 <sup>a</sup>	4,62 <sup>b</sup>	5,29 <sup>a</sup>	0,12	5,88 <sup>a</sup>	5,68 <sup>a</sup>	5,11 <sup>b</sup>	4,47 <sup>c</sup>	3,78 <sup>d</sup>	0,10	< 0,0001	< 0,0001	0,1105
Perda no cozimento, %	29,31	29,36	29,36	29,77	0,40	28,38 <sup>b</sup>	29,61 <sup>ab</sup>	29,99 <sup>a</sup>	29,32 <sup>ab</sup>	29,96 <sup>a</sup>	0,40	0,7825	0,0091	0,5490
Luminosidade (CIE L*)	41,34 <sup>a</sup>	40,53 <sup>b</sup>	40,93 <sup>ab</sup>	40,37 <sup>ab</sup>	0,28	39,37 <sup>d</sup>	40,26 <sup>c</sup>	40,96 <sup>b</sup>	41,57 <sup>a</sup>	41,80 <sup>a</sup>	0,19	0,0163	< 0,0001	0,3663
Intensidade vermelho (CIE a*)	24,95	24,61	24,88	24,46	0,14	23,79 <sup>d</sup>	24,41 <sup>c</sup>	24,79 <sup>b</sup>	25,05 <sup>b</sup>	25,60 <sup>a</sup>	0,12	0,0302	< 0,0001	0,9677
Intensidade amarelo (CIE b*)	9,22	8,82	9,15	8,70	0,15	8,18 <sup>d</sup>	8,69 <sup>c</sup>	8,96 <sup>bc</sup>	9,30 <sup>b</sup>	9,72 <sup>a</sup>	0,12	0,0252	< 0,0001	0,9986
Tonalidade ( <i>Hue angle</i> )	19,63 <sup>b</sup>	19,50 <sup>b</sup>	20,19 <sup>a</sup>	20,10 <sup>a</sup>	0,25	18,91 <sup>d</sup>	19,53 <sup>c</sup>	19,81 <sup>c</sup>	20,29 <sup>b</sup>	20,74 <sup>a</sup>	0,20	< 0,0001	< 0,0001	0,9948
Saturação da cor ( <i>Chroma</i> )	26,61	26,16	26,52	25,97	0,17	25,17 <sup>d</sup>	25,92 <sup>c</sup>	26,37 <sup>bc</sup>	26,73 <sup>b</sup>	27,39 <sup>a</sup>	0,15	0,0259	< 0,0001	0,9866

<sup>1</sup>Protocolo A: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão crescente de 20, 40, 60 e 80 V<sub>RMS</sub>, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.

<sup>2</sup>Controle A: Grupo controle do Protocolo A (carcaças direitas correspondentes).

<sup>3</sup>Protocolo B: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão contínua de 50 V<sub>RMS</sub>, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.

<sup>4</sup>Controle B: Grupo controle do Protocolo B (carcaças direitas correspondentes).

<sup>5</sup>Erro padrão médio.

<sup>a,b,c,d,e</sup> Valores com letras distintas na linha para o mesmo efeito são diferentes ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 7**– Monitoramento da diferença de parâmetros qualitativos do *M. longissimus thoracis et lumborum* em relação ao tempo de maturação

Parâmetros (Diferenças)	Estimulação Elétrica (EE)		EPM <sup>3</sup>	Tempo de maturação (T)					EPM <sup>3</sup>	Valor P		
	Diferença A <sup>1</sup>	Diferença B <sup>2</sup>		2d	7d	14d	21d	28d		EE	T	Interação
ΔpH (laboratório)	0,04	0,05	0,01	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,01	0,5655	0,4450	0,4022
ΔMaciez (WBSF), kgf	0,71	0,68	0,10	0,98 <sup>ab</sup>	1,04 <sup>a</sup>	0,65 <sup>ab</sup>	0,46 <sup>ab</sup>	0,33 <sup>b</sup>	0,17	0,8273	0,0091	0,8868
ΔPerda cozimento, %	0,05	0,41	0,42	0,68	0,25	0,72	-0,70	0,21	0,72	0,5519	0,6467	0,4967
ΔLuminosidade (CIE L*)	-0,81	-0,55	0,13	-0,65	-0,72	-0,30	-0,86	-0,88	0,20	0,1788	0,2198	0,1680
ΔIntensidade vermelho (CIE a*)	-0,34	-0,42	0,11	-0,44	-0,56	-0,27	-0,13	-0,50	0,18	0,5982	0,4625	0,7398
ΔIntensidade amarelo (CIE b*)	-0,39	-0,45	0,10	-0,43	-0,54	-0,32	-0,37	-0,45	0,17	0,7235	0,9070	0,8484
ΔTonalidade ( <i>Hue angle</i> )	-0,56	-0,62	0,13	-0,60	-0,74	-0,41	-0,65	-0,53	0,22	0,7609	0,8680	0,8296
ΔSaturação da cor ( <i>Chroma</i> )	-0,45	-0,55	0,14	-0,55	-0,71	-0,36	-0,25	-0,63	0,23	0,6305	0,6091	0,7815

<sup>1</sup>Diferença A: Subtração do Controle A em relação ao Protocolo A.

<sup>2</sup>Diferença B: Subtração do Controle B em relação ao Protocolo B.

<sup>3</sup>Erro padrão médio.

<sup>a,b,c,d,e,f,g</sup> Valores com letras distintas na linha para o mesmo efeito são diferentes ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 8** – Ocorrência percentual e Intervalo de Confiança 95% de carne macia (WBSF  $\leq$  4,4 kg)<sup>1</sup> em relação ao tempo de maturação

Tempo de maturação	Estimulação Elétrica			
	Protocolo A <sup>2</sup>	Controle A <sup>3</sup>	Protocolo B <sup>4</sup>	Controle B <sup>5</sup>
2 dias	5,00% (0,13 a 24,87)	0,00% (0,00 a 13,91)	15,00% (3,21 a 37,89)	0,00% (0,00 a 13,91)
7 dias	15,00% (3,21 a 37,89)	0,00% (0,00 a 13,91)	15,00% (3,21 a 37,89)	5,00% (0,13 a 24,87)
14 dias	40,00% (19,12 a 63,9)	5,00% (0,13 a 24,87)	40,00% (19,12 a 63,95)	25,00% (8,66 a 49,10)
21 dias	70,00% (45,72 a 88,11)	45,00% (23,06 a 68,47)	55,00% (31,53 a 76,94)	35,00% (15,39 a 59,22)
28 dias	85,00% (62,11 a 96,79)	60,00% (36,05 a 80,88)	100,00% (86,09 a 100,00)	70,00% (45,72 a 88,11)

<sup>1</sup>Carne é considerada macia quando WBSF  $\leq$  4,4 kg, conforme *ASTM International – Designation ASTM F2925–11 – Standard specification for tenderness marketing claims associated with meat cuts derived from beef. 2018.*

<sup>2</sup>Protocolo A: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão crescente de 20, 40, 60 e 80 V<sub>RMS</sub>, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.

<sup>3</sup>Controle A: Grupo controle do Protocolo A (carcaças direitas correspondentes).

<sup>4</sup>Protocolo B: Carcaças esquerdas estimuladas com tensão contínua de 50 V<sub>RMS</sub>, frequência de 12,5 Hz, durante 52 segundos.

<sup>5</sup>Controle B: Grupo controle do Protocolo B (carcaças direitas correspondentes).

\*Valores com I.C.95% não coincidentes são diferentes ( $P < 0,05$ ).

## REFERÊNCIAS

- Adeyemi, K. D. & Sazili, A. Q. (2014). Efficacy of carcass electrical stimulation in meat quality enhancement: A review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 27, (3), 447.
- AMSA. American Meat Science Association. AMSA Meat Color Measurement Guidelines (Updated December 21, 2012), Champaign, Illinois USA: American Meat Science Association, 2012. 136p. Disponível em: <<https://www.meatscience.org/publicationsresources/printed-publications/amsa-meat-color-measurement-guidelines>>. Acesso em: 15 ago. 2018.
- AMSA. American Meat Science Association. AMSA Research Guidelines for Cookery and Evaluation 1.02 (Updated 11 Feb, 2016), Champaign, Illinois USA: American Meat Science Association, 2016. 106p. Disponível em: <[https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/amsa-sensory-and-tenderness-evaluation-guidelines/research-guide/amsa-research-guidelines-for-cookery-and-evaluation-1-02.pdf?sfvrsn=4c6b8eb3\\_2](https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/amsa-sensory-and-tenderness-evaluation-guidelines/research-guide/amsa-research-guidelines-for-cookery-and-evaluation-1-02.pdf?sfvrsn=4c6b8eb3_2)>. Acesso em: 28 abril 2020.
- ASTM F2925-11, Standard specification for tenderness marketing claims associated with meat cuts derived from beef. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, [www.astm.org/](http://www.astm.org/) Reapproved 2018.
- Balan, P., Farouk, M. M., Stuart, A. D., Kemp, R., Staincliffe, M., Craige, C. & Kim, Y. B. (2019). Effects of electrical stimulation and pre-rigor conditioning temperature on aging potential of hot-boned beef *M. longissimus lumborum*. *Animal Science Journal*, 90, 1050–1059.
- Bhat, Z. F.; Morton, J. D; Mason, S. L.; Bekhit, A. E. A. (2019). Current and future prospects for the use of pulsed electric field in the meat industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, (10) 1660-1674.
- BRASIL (1989). Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. PORTARIA Nº 612, DE 05 DE OUTUBRO DE 1989. Sistema Nacional de Tipificação de Carcaças Bovinas.
- BRASIL (2017). Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. DECRETO Nº 9.013, DE 29 DE MARÇO DE 2017. Dispõe sobre o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - RIISPOA. [Regulation of Industrial and Sanitary Inspection of Animal Products]. Brasília, DF, Brasil.
- Cornforth, D. P., Pearson, A. M. & Merkel, R. A. (1980). Relationship of mitochondria and sarcoplasmic reticulum to cold shortening. *Meat science*, 4, (2), 103-121.
- Coutinho, M.A.S., Ramos, P.M., Silva, S.D.L., Martello, L.S., Pereira, A.S.C. & Delgado, E.F. (2017). Divergent temperaments are associated with beef tenderness and the inhibitory activity of calpastatin. *Meat Science*, 134, 61-67.
- Cross, H. R., West, R. L. & Dutson, T. R. (1981). Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. *Meat science*, 5, (4), 261-266.

- Devine, C. E., Wahlgren, N. M. & Tornberg, E. (1999). Effect of rigor temperature on muscle shortening and tenderisation of restrained and unrestrained beef m. longissimus thoracicus et lumborum. *Meat Science*, 51, 61-72.
- Devine, C. E., Payne, S. R., Peachey, B. M., Lowe, T. E., Ingram, J. R. & Cook, C. J. (2002). High and low rigor temperature effects on sheep meat tenderness and ageing, *Meat Science*, 60, 141-146.
- Devine, C. E., Hopkins, D. L., Hwang, I. H., Ferguson, D. M. & Richards, I. (2014). Electrical Stimulation. *Meat Sciences*, 2, 486-496.
- Devine, C.E. (2014). Conversion of muscle to meat – Aging. In: *Encyclopedia of Meat Sciences*, 2, 329-338.
- DMRI (2018). Instruction manual for EZ-DripLoss. Danish Meat Research Institute (DMRI).
- Dransfield, E. (1993). Modelling Post-mortem Tenderisation IV: Role of Calpains and Calpastatin in Conditioning. *Meat Science*, 34, 217-234.
- Ferraz, J. B. S.; Felicio, P. E. (2010). Production systems –An example from Brazil. *Meat Science*, 84, (2). 238-243.
- Gursansky, B., O'halloran, J. M., Egan, A. & Devine, C. E. (2010). Tenderness enhancement of beef from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle following electrical stimulation. *Meat Science*, 86, 635-641.
- Hertzman, C., Olsson, U. & Tornberg, E. (1993). The influence of high temperature, type of muscle and electrical stimulation on the course of rigor, ageing and tenderness of beef muscles. *Meat Science*, 35, 119-141.
- Ho, C. Y., Stromer, M. H. & Robson, R. M. (1996). Effect of electrical stimulation on postmortem titin, nebulin, desmin, and troponin-T degradation and ultrastructural changes in bovine longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, 74, (7), 1563-1575.
- Hopkins, D. L. (2012). Pretreatments for Meats I (Tenderization, Electrical Stimulation, and Portioning). In: *Operations in food refrigeration*, CRC Press, 113-134.
- Hopkins, D. L., Ponnampalam, E. N., Van de ven, R. J. & Warner, R. D. (2014). The effect of pH decline rate on the meat and eating quality of beef carcasses. *Animal Production Science*, 54, (4), 407-413.
- Hughes, J.M, Oiseth, S.K, Purslow, P.P, & Warner, R.D. (2014). A structural approach to understanding the interactions between color, water holding capacity and tenderness. *Meat Science*, 98 (3), 520-532.
- Hughes, J. M., Clarke, F. M., Purslow, P. P. & Warner, R. D. (2020). Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19, (1), 44-63.

- Hwang, I. H. & Thompson, J. M. (2001). The effect of time and type of electrical stimulation on the calpain system and meat tenderness in beef longissimus dorsi muscle. *Meat Science*, 58, 135-144.
- Hwang, I. H.; Thompson, J.M. (2002). A technique to quantify the extent of postmortem degradation of meat ultrastructure. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 15, (1). 111-116.
- Hwang, I. H., Devine, C. E. & Hopkins, D. L. (2003). The biochemical and physical effects of electrical stimulation on beef and sheep meat tenderness. *Meat science*, 65, 677- 691.
- Hwang, I. H., Park, B. Y., Cho, S. H. & Lee, J. M. (2004). Effects of muscle shortening and proteolysis on Warner–Bratzler shear force in beef Longissimus and semitendinosus. *Meat Science*, 68, 497–505
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Indicadores IBGE - Estatística da Produção Pecuária. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca/catalogo?id=72380&view=detalhes>>. Acesso em: 25 mar. 2020.
- Jeacocke, R. E. (1977). The temperature dependence of anaerobic glycolysis in beef muscle held in a linear temperature gradient. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 28, (6), 551-556.
- Juárez, M., Basarab, J. A., Baron, V. S., Valera, M., López-Campos, Ó., Larsen, I. L., & Aalhus, J. L. (2016). Relative contribution of electrical stimulation to beef tenderness compared to other production factors. *Canadian Journal of Animal Science*, 96 (2), 104-107.
- Kilgannon, A. K., Holman, B. W. B., Mawson, A. J., Campbell, M., Collins, D. & Hopkins, D. L. (2018). Optimising the ez-drip method for aged beef drip loss determination. In: *International Congress of Meat Science and Technology (ICOMST)*, 64, Melbourne. Summary in Annals of Congress.
- Kim, Y. S., Lee, C. N., DuPonte, M. W. & Fukumoto, G. K. (2007). Improving the tenderness of meat finished in forage using a low voltage electrical stimulator. University of Hawaii. 6 p. (Food safety and technology; FST-22).
- Kim, Y. H. B., Stuart, A., Nygaard, G. & Rosenvold, K. (2012). High pre rigor temperature limits the ageing potential of beef that is not completely overcome by electrical stimulation and muscle restraining. *Meat Science*, 91, (1), 62-68.
- Kim, Y. H. B., Lonergan, S. M., Grubbs, J. K., Cruzen, S. M., Fritchen, A. N., Della M.A., Marino, R. & Lonergan, H.E. (2013). Effect of low voltage electrical stimulation on protein and quality changes in bovine muscles during postmortem aging. *Meat science*, 94, (3), 289-296.
- Kim, Y. H. B., Warner, R. D. & Rosenvold, K. (2014). Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: a review. *Animal Production Science*, 54, (4), 375-395.

- Kim, Y. H. B., Ma, D., Setyabrata, D., Farouk, M. M., Lonergan, S. M., Huff-Lonergan, E., & Hunt, M. C. (2018). Understanding postmortem biochemical processes and post-harvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. *Meat science*, 144, 74-90.
- Li, C. B., Li, J., Li, X., Hviid, M. & Lundström, K. (2011). Effect of low-voltage electrical stimulation after dressing on color stability and water holding capacity of bovine longissimus muscle. *Meat science*, 88, (3), 559-565.
- Li, C. B., Li, J., Zhou, G. H., Lametsch, R., Ertbjerg, P., Brüggemann, D. A., ... & Lundström, K. (2012). Electrical stimulation affects metabolic enzyme phosphorylation, protease activation, and meat tenderization in beef. *Journal of animal science*, 90, (5), 1638-1649.
- Li, C. B., Zhou, G. H., Xu, X., Lundström, K., Karlsson, A., & Lametsch, R. (2015). Phosphoproteome analysis of sarcoplasmic and myofibrillar proteins in bovine longissimus muscle in response to postmortem electrical stimulation. *Food chemistry*, 175, 197-202.
- Li, M., Li, X., Xin, J., Li, Z., Li, G., Zhang, Y., ... & Zhang, D. (2017) Effects of protein phosphorylation on the color stability of ground meat. *Food Chemistry*, 219, 304-310. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.151>
- Matarneh, S. K.; England, E. M.; Scheffler, T. L. & Gerrard, D. E. (2017). The Conversion of Muscle to Meat. *Meat Science*. 8. Cap.5.
- Mckenna, D. R., King, D. A. & Savell, J. W. (2004). Comparison of clam-shell cookers and electric broilers and their effects on cooking traits and repeatability of Warner-Bratzler shear force values. *Meat Science*, 66, (1), 225-229.
- Miguel, G. Z., Faria, M. H., Roça, R. O., Santos, C.T., Suman, S. P., Faitarone, A. B. G., Delbem, N. L. C., Girão, L.V.C., Homem, J. M., Barbosa, E. K., Su, L. S., Resende, F. D.; Siqueira, G. R., Moreira, A. D. & Savian, T.V. (2014). Immunocastration improves carcass traits and beef color attributes in Nellore and Nellore X Aberdeen Angus crossbred animals finished in feedlot. *Meat Science*, 96, 884-89.
- Milios, K.T.; Drosinos, E.H.; ZoiopouloS, P.E. (2014). Food Safety Management System validation and verification in meat industry: Carcass sampling methods for microbiological hygiene criteria—A review. *Food Control*, 43, (74), 81.
- Minitab LLC. (2019). Soporte de Minitab 18. Obtenido de Desviación estándar: <https://support.minitab.com>
- AMPC-2015a. Australian Meat Processor Corporation. Fact sheet – What is electrical stimulation? Program: food safety, product integrity and meat science.
- Nazli, B., Cetin, O., Bingol, E. B., Kahraman, T. & Ergun, O. (2010). Effects of high voltage electrical stimulation on meat quality of beef carcasses. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9, (3), 556-560.
- O'connor, S. F., Tatum, J. D., Wulf, D. M., Green, R. D. & Smith, G. C. (1997). Genetic effects on beef tenderness in *Bos taurus indicus* composite and *Bos taurus* cattle. *Journal of*

*Animal Science*, 75, (7), 1822-1830.

- Oliveira, C.A. & Millen, D.D. (2014). Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 64-75.
- Origin Lab Corporation. OriginPro: SR2 B87. v. 9.0, Disponível em: <www.originlab.com>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- Puolanne, E.; Immonen, K. (2014). Conversion of muscle to meat – Glycogen. In: *Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition)*, Elsevier, 346-352.
- Polidori, P. & Vincenzetti, S. (2017). The use of electrical stimulation in meat production. In: *Meat and Meat Processing*, Nova Science Publishers, 133-154.
- Pospiech, E. P., Grzes, B., Lyczynski, A., Borzuta, K., Szalata, M. & Mikolajczak, B. (2003). Muscle proteins and their changes in the meat tenderization process. *At the IV Conference on the effect of genetic and non-genetic factors on the quality of pig carcass and meat*, 21, 133-151
- Rodrigues, R.T.S., Chizzotti, M.L., Vital, C.E., Baracat-Pereira, M.C., Barros, E.; Busato, K. C., Gomes, R.A., Ladeira, M.M. & Martins, T.S. (2017). Differences in beef quality between Angus (*Bos taurus*) and Nellore (*Bos indicus*) cattle through a proteomic and phosphoproteomic approach. *PLoS ONE*, 12, (1), 170-294.
- Rosa, A.F., Moncau, C.T., Poleti, M.D., Fonseca, L.D., Balieiro, J.C., Silva, S.L. & Eler, J.P. (2018). Proteome changes of beef in Nellore cattle with different genotypes for tenderness. *Meat science*, 138, 1-9.
- SAS Institute. (2015). *Base SAS 9.4 procedures guide*. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Savell, J., Miller, R., Wheeler, T., Koohmaraie, M., Shackelford, S., Morgan, B., Calkins, C., Miller, M., Dikeman, M., Mckeith, F., Dolezal, G., Henning, B., Busboom, J., West, R., Parrish, F., & Williams, S. (1994). Standardized Warner-Bratzler shear force procedures for genetic evaluation. In: *National Beef Tenderness Plan Conference*, 1-3.
- Savell, J.W., Mueller, S.L., & Baird, B.E. (2005). The chilling of carcasses. *Meat Science*, 70, 449-459.
- Simmons, N. J., Singh, K., Dobbie, P. M. & Devine, C. E. (1996). The effect of pre-rigor holding temperature on calpain and calpastatin activity and meat tenderness. *In Proceedings of the 42nd international congress of meat science and technology*, 414-415.
- Simmons, N.J., Daly, C.C., Cummings, T.L., Morgan, S.K., Johnson, N.V., & Lombard, A. (2008). Reassessing the principles of electrical stimulation. *Meat Science*, 80, (1), 110-122.
- Smulders, F.J.M., Marsh, B.B., Swartz, D.R., Russell, R.L., & Hoenecke, M.E. (1990). Beef tenderness and sarcomere length. *Meat Science*, 28, 349-363.

- Thompson, J. (2002). Managing meat tenderness. *Meat Science*, 62, 295–308.
- USDA. United States of America. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Global Agricultural Information Network (GAIN). Brazil - Livestock and Products Semi-annual - 2019 Semi-Annual Livestock Report (GAIN Report Number: BR 1924), 2019a. 17p. May 9, 2019a.
- Wahlgren, N. M., Devine, C. E. & Tornberg, E. (1997). The influence of different pH-courses during rigor development on beef tenderness. *In Annual international congress of meat science and technology*, 43, 622-623.
- Warriss, P. D. (2010). *Ciência da carne: um texto introdutório*. 2nd Ed. Publicação CABI; pp. 117-122.
- Warner, R.D., Dunshea, F.R., Gutzke, D., Lau, J., & Kearney, G. (2014a). Factors influencing the incidence of high rigor temperature in beef carcasses in Australia. *Animal Production Science*, 54, (4), 363-374.
- Warner, R.D. (2017c). The Eating Quality of MeatdIV Water-Holding Capacity and Juiciness. *Meat Science*. Australia: Elsevier, cap. 14, 419-459.
- Whiting, R. C. (1980). Calcium uptake by bovine muscle mitochondria and sarcoplasmic reticulum. *Journal of Food Science*, 45, (2), 288-292.
- Wiklund. E., Stevenson-Barry, J.M.; Duncan, S.J., & Littlejohn, R.P. (2001). Electrical stimulation of red deer (*Cervus elaphus*) carcasses - effects on rate of pH-decline, meat tenderness, colour stability and water-holding capacity. *Meat Science*, 59, 211–220.
- Ying-Hong, J., Shu C.A.W. & Mei-hu, M. (2011). Effects of diferente stimulation on tenderness of beef carcasses. *International Conference on New Technology of Agricultural*, 827-830.
- Zhang, Y., Ji, X., Mao, Y., Luo, X., Zhu, L. & Hopkins, D. L. (2019). Effect of new generation medium voltage electrical stimulation on the meat quality of beef slaughtered in a Chinese abattoir. *Meat Science*, 149, 47-54.
- Zhou, G. H.; Xu, X. L.; Liu, Y. (2010). Preservation technologies for fresh meat – A review. *Meat Science*, 86, 1, 119-128.
- Zywica, R., Modzelewska-Kapituła, M., Banach, J. K. & Tkacz, K. (2018). Linear correlation between pH value of stimulated beef and electrical current intensity. *International Journal of Food Properties*, 21, (1), 1386-1394.

### CAPÍTULO 3

#### 4 IMPLICAÇÕES

No Brasil há predominância de carne proveniente de animais da raça *Bos indicus*, não castrados, que produzem carcaças magras, propensas ao endurecimento da carne devido ao encurtamento pelo frio, além de maturação lenta e com poucos efeitos na maciez, em comparação com os animais da raça *Bos taurus taurus* (Ferraz & Felício, 2010). Este tipo de carcaça representa vários desafios tecnológicos para as indústrias da carne bovina, tanto para otimizar a produção e melhorar o retorno econômico, como evitar prejuízos às características sensoriais da carne *in natura* produzida (Gursansky et al., 2010; O'Connor et al., 1997).

- 1- Nas condições estabelecidas por este estudo, o conhecimento de protocolos elétricos associados a menores valores para maciez, podem contribuir para o crescimento da cadeia produtiva, tornando assim a produção mais uniforme, implicando em maior aceitação pelos consumidores e permitindo agregar valor diferencial ao produto.
- 2- O uso da estimulação elétrica de tensões crescentes não foi superior ao da tensão contínua como era pressuposto, em relação aos aspectos qualitativos de carnes estimuladas. Não foi detectada associação entre taxa de redução do pH e maciez.
- 3- O uso de estímulos elétricos permite maior velocidade e menor tempo de resfriamento, sem aumentar a dureza da carne, reduzindo custos com resfriamento, aumento da capacidade das câmaras de resfriamento e conseqüentemente maior capacidade de abate.
- 4- A desclassificação de carcaças com pH alto, quando medida 24 horas *post-mortem*, pode ser reduzido porque a estimulação elétrica antecipa o pH final;
- 5- Recomenda-se o uso da estimulação elétrica devido ao grau de maciez encontrado e possível redução no tempo de maturação comercial para animais *Bos indicus*.

- 6- Outro aspecto que pode ser teorizado, uma vez que existem algumas evidências estatísticas a partir do presente estudo, de que embora a ocorrência de carne macia ( $WBSF \leq 4,4$  kg) aumente gradualmente ao longo da maturação por 28 dias, o uso da estimulação elétrica resulta em maior ocorrência de carne macia em relação às carcaças não estimuladas independentemente do tempo de maturação.
- 7- A estimulação elétrica acelerou a taxa de maciez, mas esse benefício foi perdido ao longo da maturação, diminuindo a diferença entre seus controles. Essa aceleração oferece vantagens para mercados locais, onde períodos prolongados de maturação representam maiores custos de produção.