

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

DANIELA ALVAREZ VASCO

**Estimulação elétrica de média voltagem como ferramenta para melhorar a qualidade da
carne de bovinos Nelore**

Pirassununga

2022

DANIELA ALVAREZ VASCO

Estimulação elétrica de média voltagem como ferramenta para melhorar a qualidade da carne de bovinos Nelore

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal.

Orientador: Prof. Dr. Saulo da Luz e Silva

Pirassununga

2022

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Vasco, Daniela

V331e Estimulação elétrica de média voltagem como
ferramenta para melhorar a qualidade da carne de
bovinos Nelore / Daniela Vasco ; orientador
Saulo da Luz Silva. -- Pirassununga, 2022.

58 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-
Graduação em Zootecnia) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Bos indicus. 2. Carne. 3. Estimulação
elétrica. 4. Maciez. I. Silva, Saulo da Luz,
orient. II. Título.

DANIELA ALVAREZ VASCO

Estimulação elétrica de média voltagem como ferramenta para melhorar a qualidade da carne de bovinos Nelore

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal.

Data da aprovação 15/12/2022

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Saulo da Luz e Silva

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP Presidente da Banca Examinadora

Dra. Patrícia Maloso Ramos

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Pós-doutorado

Dra. Mariane Beline

Instituição: Virginia Tech – Pós-doutorado

DEDICATÓRIA

A Deus e à virgem Maria por tornar esse sonho realidade.

Aos familiares e namorado, pelo apoio, esforço, dedicação e o amor dispensados a mim, vocês foram minha motivação, esta conquista também é de vocês.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus e à virgem por permitir realizar este sonho, por sempre estar ao meu lado, por nunca abandonar-me, tudo o que fiz foi graças a vocês.

Aos meus pais, Marleny e Jorge, pelo apoio mesmo com a distância, pelos conselhos, orações e forças que foram dadas diariamente. Aos meus irmãos Felipe e Santiago pela motivação, vocês são minha inspiração. Aos meus avós Luis Alfonso e Ana Libia pela compreensão da distância, pelas orações e pelo ânimo que sempre foi dado. Ao afilhado Antônio por sua força e alegria que me brinda. Aos meus tios e tias, especialmente a Lucí pelo apoio e disposição; aos primos e primas pelos ânimos. À minha melhor amiga Michelle por estar sempre presente e pelos conselhos. Eu amo vocês, obrigada de todo coração, vocês ajudaram muito neste processo, apesar da distância, sempre senti a presença de cada um e o respectivo apoio.

Ao meu namorado Diego pelo companheirismo incondicional que, desde o primeiro até o último momento foi extremamente importante, ao longo desse caminho, sou muito grata, sem você não teria conseguido. Obrigada pela paciência, você me acompanhou nas lutas mais difíceis, e até nos laboratórios físicos deste experimento, você foi umas das minhas grandes motivações para conseguir esta vitória, obrigada também a sua família que também ajudou nesse processo. Eu amo você demais.

Ao meu orientador, Professor Dr. Saulo da Luz e Silva, que sempre esteve disposto a ajudar, mesmo até em situações extracurriculares, obrigada pelos conhecimentos, pela dedicação e paciência. Sei que foram situações difíceis, mas você sempre atuou da melhor maneira possível, e assim, senti sempre seu apoio, estou muito grata e feliz de poder ter tido a oportunidade, de trabalhar com uma pessoa tão inteligente e dedicada como você, que é um grande exemplo de excelência.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES),

pelo apoio com uma bolsa de mestrado, que proporcionou o auxílio em grande parte de meu mestrado.

À Universidade de Antioquia e a todos os professores, pela formação profissional e pessoal.

Às minhas companheiras de laboratório, Luiza, Ana, Camylla e em especial a Marianne, obrigada pelo apoio. Vocês foram uma peça indispensável neste experimento, igualmente Enzo, e cada um dos estagiários que participaram e ajudaram no desenvolvimento dele.

Aos meus amigos Vi, Mari, Leo, Italo, Lui, Hele, André, Naty e Isa, obrigada pela disposição, ajuda e pela linda acolhida que me deram aqui no Brasil. Vocês e suas famílias me fizeram sentir em casa.

A todo o pessoal da pós-graduação, especialmente à Professora Dr. Cristiane Titto que, desde o começo, sempre esteve disposta a ajudar-me, igual a toda sua equipe de trabalho, em especial aos seus alunos da pós-graduação. Às secretárias Maria Cecília e Erica, que sempre resolveram minhas dúvidas, estiveram dispostas a ajudar.

À professora Alessandra Fernandes, por fazer parte do experimento, pelos aportes que teve no desenvolvimento e pela parceria junto com a empresa Fluxo Equipamentos Eletrônicos LTDA, agradeço também a essa empresa por disponibilizar o eletroestimulador, e pelas soluções que brindaram, em especial ao representante Jocenir.

A todos os professores das disciplinas, os quais compartilharam seus conhecimentos, mas também aos professores Dr. Júlio Balieiro e Eduardo Delgado, pelo apoio e conhecimento, oferecidos no momento do abate e nas coletas. Foi uma honra trabalhar com vocês e suas alunas: Victoria, Ana e Patrícia. Obrigada meninas por toda ajuda que deram.

A todos os funcionários, que foram um pilar no desenvolvimento do experimento, ao Zanquetin, Ricardinho, seu Manuel, Elso, Mauricio, Andressa, Titto.

A todos aqui mencionados meus sinceros agradecimentos!

EPÍGRAFE

“Tudo o que fizerem, façam de todo o coração, como para o Senhor, e não para os homens, sabendo que receberão do Senhor a recompensa da herança. É a Cristo, o Senhor, que vocês estão servindo.”

Colossenses 3: 23,24

RESUMO

VASCO, D. A. **Estimulação elétrica de média voltagem como ferramenta para melhorar a qualidade da carne de bovinos Nelore**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022.

Este trabalho foi desenvolvido para avaliar o efeito da estimulação elétrica de média voltagem (300 V) sobre a queda do pH das carcaças e das características de cor e maciez da carne, provenientes de bovinos Nelore de diferentes condições sexuais, terminados em confinamento. Foram utilizadas 72 meias-carcaças provenientes de animais de diferentes condições sexuais, sendo eles: 1) Não-castrados (NC; n = 24); 2) Imunocastrados (IM; n = 24); 3) Castrados Cirurgicamente (CC; n = 12); e 4) Novilhas (NOV; n = 12). Trinta minutos após o abate, as carcaças foram divididas em duas meias-carcaças, sendo atribuídas a um dos seguintes tratamentos: 1) Estimulação Elétrica (EE) ou 2) Não Estimuladas (NE). As meias-carcaças foram estimuladas com uma corrente elétrica com tipo de onda quadrada alternada senoidal, de 15Hz com voltagem de 300V, durante um tempo de 60 segundos. Em seguida, as carcaças foram resfriadas e a temperatura e o pH foram registrados individualmente às 0, 1, 3, 6, 9, 12 e 24 horas *postmortem*. Após o período de resfriamento, três amostras de 2,5 cm de espessura do *Longissimus thoracis* (LT) foram retiradas e maturadas por 1, 7 e 14 dias, para posteriores análises de cor, perdas por cocção e força de cisalhamento. Além disso, foram retiradas duas amostras do mesmo músculo (LT) para posteriores análises de vida útil, oxidação lipídica e comprimento de sarcômero. A EE de média voltagem resultou em uma redução de 0,41 unidades de pH ($P < 0,05$), imediatamente após sua aplicação, em comparação as carcaças NE. Essa diferença (menor pH nas carcaças EE) foi mantida até 24h após o abate ($P < 0,0001$), embora ambos os tratamentos tenham atingido um pH final (24h) considerado normal ($< 5,8$). A temperatura das carcaças EE foi mais alta do que das NE, desde a primeira até 9h *postmortem* ($P < 0,05$), sendo que depois desse período não houve diferença entre os tratamentos. O tratamento EE apresentou a maior perda por cocção em todos os tempos *postmortem* ($P < 0,05$). O comprimento dos sarcômeros não foi diferente entre os tratamentos. As carcaças EE e maturadas por 1 e 7 dias apresentaram maior valor de L^* ($P < 0,05$) em comparação as carnes das carcaças NE, entretanto, após 14 dias de maturação essa diferença não foi mantida. No teste de vida útil não foi observado efeito dos tratamentos nos valores de L^* e a^* entretanto, houve um aumento nos valores de b^* , implicando uma carne de cor mais amarelada nas carcaças NE.

As carnes das carcaças EE apresentaram menor força de cisalhamento (FC; $P < 0,001$) em todos os tempos de maturação. No primeiro dia após o abate todas as amostras NE foram classificadas como duras (FC > 52,68), enquanto as amostras EE apresentaram 93% de carnes dura e 7% na classe intermediária. Após 7 dias, as amostras NE apresentaram apenas 3% de amostras macias, comparado a 26% do tratamento EE. Aos 14 dias de maturação 56% das amostras EE foram classificadas como macias e apenas 6% como duras, enquanto no grupo NE, 26% foram consideradas macias e 36% ainda estavam classificadas como duras. A EE de média voltagem acelera a redução do pH das carcaças, contribuindo para o aumento da maciez e as características de cor da carne fresca. Além do potencial de diminuir a força de cisalhamento, a estimulação elétrica pode ser uma opção para reduzir o tempo de maturação, sem prejuízos para a maciez.

Palavras-chave: Estimulação elétrica, pH, maciez, Força de cisalhamento.

ABSTRACT

This study was developed to evaluate the effect of electrical stimulation of medium voltage (300 V) on carcass characteristics and meat quality of Nellore cattle of different sexual conditions. The experimental design was a completely randomized design, considering treatment as fixed effect and sexual conditions and slaughter day as random effects. Seventy-two carcasses of animals with different sexual conditions were used as follows: 1) Non-castrated (NC; n=24); 2) Immunocastrated (IM; n=24); 3) Surgically Castrated (CC; n=12) and 4) Heifers (HE; n=12). Thirty minutes after slaughter, the carcasses were divided in two half-carcasses that were assigned to one of the following treatments: 1) Electrical Stimulation (EE) and 2) Unstimulated (NE). The half-carcasses were stimulated with an electric current with a sinusoidal AC (alternating current) wave type, of 15Hz with a voltage of 300V, for a time of 60 seconds. Then, the carcasses were chilled and the temperature and pH were recorded individually at 0, 1, 3, 6, 9, 12 and 24 hours postmortem. After the chilling period, three 2.5 cm thick Longissimus thoracis (LT) samples were removed, and aged for 1, 7 and 14 days, for further analysis of color, cooking loss and shear force. In addition, two samples were taken from the same muscle (LT) for further analysis of shelf life, lipid oxidation and sarcomere length. The medium voltage EE resulted in a reduction of 0,41 pH units ($P < 0,05$) immediately after its application, compared to NE carcasses. This difference (lower pH in the EE carcasses) was kept until 24h after the slaughter ($P < 0,0001$), although both of treatments had reached a final pH (24h) considered normal ($< 5,8$). The temperature of EE carcasses was higher than the NE up to 9 hours postmortem ($P < 0,05$), and after this time, there was no difference between the treatments. The EE presented higher cooking loss in all aging periods ($P < 0,05$). The sarcomere length was not different between the treatments. The EE carcasses matured for 1 and 7 days presented higher values of L^* ($P < 0,05$) than the NE ones, however, after 14 days of aging this difference was not maintained. In the shelf-life analysis, there was no effect of treatments on L^* and a^* values, however, there was an increase in the b^* values, connoting a more yellow meat color in the NE. The EE carcasses presented less shear force (FC; $P < 0,001$) in every evaluated aging times. At the first day after slaughter, all samples were classified as tough (FC $> 52,68$), while the EE presented 93% of tough and 7% of intermediate. After 7 days of aging, the NE presented only 3% of tender samples, compared to 26% of EE. At 14 days of aging, 56% of EE samples were classified as tender and only 6% as tough, and the NE had 26% tender and 36% as tough. The medium voltage EE accelerates the pH decline on carcasses, contributing for the increase in tenderness and the color characteristics of the fresh beef. Besides

the potential of decreasing the shear force, the EE can be an option to reduce aging time, without the decrease of tenderness.

Keywords: Electrical stimulation, pH, tenderness, Sher force.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura - 1.** Posicionamento dos eletrodos posicionados no tendão de Aquiles e no músculo Trapézio (identificados pelas setas vermelhas na imagem)..... 31
- Figura - 2.** Medição do pH e temperatura dentro da câmara de refrigeração. 31
- Figura - 3.** A: análise da cor com espectrofotômetro para medições dos valores L^* a^* e b^* ; B: amostras dentro do forno monitorados com termômetros até atingir a temperatura definida. 33
- Figura - 4.** Avaliação da força de cisalhamento por meio de texturômetro. 33
- Figura - 5.** Equipamento de difração a laser para avaliação do comprimento de sarcômero. 34
- Figura - 6.** A: vida útil, simulação do produto no varejo; B: oxidação lipídica, leitura das absorbâncias das amostras no espectrofotômetro. 35
- Figura - 7.** Médias dos valores de pH das carcaças em função do tempo postmortem e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.37
- Figura - 8.** Médias dos valores de temperatura das carcaças em função do tempo postmortem e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas. 38
- Figura - 9.** Média dos valores de L^* da cor em função do tempo de maturação e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas. 38
- Figura - 10.** Média dos valores de a^* da cor em função do tempo de maturação e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.39
- Figura - 11.** Média dos valores de b^* da cor em função do tempo de maturação e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.39
- Figura - 12.** Média dos valores da força de cisalhamento (N) em função do tempo de maturação e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas. 40

Figura - 13. Média dos valores das perdas por cocção (PCC) em função do tempo de maturação e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.	40
Figura - 14. Média dos valores do comprimento do sarcômero em função dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.	41
Figura - 15. Média dos valores de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) em função dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.	42
Figura - 16. Percentagem de amostras de acordo com a classe de maciez, em função do tempo de maturação e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias, erro padrão da média (EPM) e probabilidades ($Pr > F$) das características da cor em função dos tratamentos.	42
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Características de qualidade da carne.....	18
2.1.1 Maciez	18
2.1.2 Cor.....	21
2.1.3 Suculência	22
2.1.4 Sabor	23
2.2. Estimulação elétrica das carcaças	24
2.2.1. Mecanismo de ação	24
2.2.2. Tipos de voltagens.....	27
2.2.3. Aplicação prática da estimulação elétrica	28
3. OBJETIVO	29
4. MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1. Animais e local.....	29
4.2. Abate	30
4.3. Tratamentos e amostras	30
4.4. Cor, perdas por cocção e força de cisalhamento	32
4.5. Comprimento de Sarcômero.....	33
4.6. Vida útil e oxidação lipídica.....	34
4.7. Análises estatísticas.....	35
5. RESULTADOS	37
5.1 Curvas de pH e temperatura das carcaças no <i>postmortem</i>	37
5.2 Cor da carne	38
5.3 Força de cisalhamento.....	40
5.4 Perdas por cocção.....	40
5.5 Comprimento de sarcômero	41
5.6 Vida útil.....	41
5.7 Substâncias reativas ao ácido Tiobarbitúrico (TBARS).....	42
5.8 Evolução da maciez.....	42
.....	43
6. DISCUSSÃO	44
7. CONCLUSÕES	50
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

A carne bovina é um alimento de grande importância para a nutrição humana, pois é fonte rica em nutrientes de alto valor biológico, como proteínas, ácidos graxos, vitaminas, minerais de alta biodisponibilidade e de aminoácidos essenciais.

Além das características nutricionais, a carne deve satisfazer as expectativas do consumidor em relação às suas características físicas e químicas, as quais são influenciadas por fatores próprios do indivíduo (genética), e também do ambiente ao qual está submetido.

Visando reduzir a influência desses fatores sobre a qualidade da carne, os diferentes agentes envolvidos na cadeia produtiva têm buscado alternativas tecnológicas que possibilitem a melhoria da qualidade final da carne. Entre essas tecnologias, a estimulação elétrica das carcaças é uma prática que tem sido utilizada há tempos, especialmente fora do Brasil, e tem sido associada a melhorias das propriedades sensoriais, especialmente da maciez, por meio da aceleração da glicólise e da proteólise muscular, contribuindo para a redução no pH e a antecipação do *rigor mortis*.

No Brasil, o uso da estimulação elétrica, pela indústria, é uma prática recente e ainda incipiente, possivelmente pelas dificuldades da implementação dos sistemas nas linhas de produção, em função dos riscos aos trabalhadores, relacionados aos sistemas de alta voltagem e pela falta de estudos que demonstrem sua eficácia em melhorar as propriedades físicas e químicas da carne. Mais recentemente, os sistemas de média voltagem tem sido utilizados pela indústria com benefícios importantes para a qualidade final da carne.

O uso da estimulação elétrica pode ter um benefício ainda maior, especialmente em função das características dos animais abatidos, que são compostos basicamente por animais zebuínos, não-castrados, terminados em pastagens e com pequena deposição de gordura subcutânea, o que acentua os problemas de inconsistência de maciez da carne.

Portanto, é importante que estudos adicionais sejam realizados, visando fornecer informações mais consistentes sobre o uso dessa tecnologia como ferramenta para melhorar as características da carcaça e a qualidade da carne.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características de qualidade da carne

A qualidade da carne sempre foi importante para o consumidor e tem sido uma questão especialmente crítica para a indústria da carne no século XXI. As características de qualidade da carne são categorizadas com base nos principais fatores intrínsecos e extrínsecos. Geralmente, os fatores intrínsecos são as características físicas e químicas da carne, como traços de qualidade e aparência e as características de qualidade alimentar (maciez, sabor e suculência), enquanto os fatores extrínsecos são definidos por traços relacionados a confiança (segurança alimentar, nutrição, bem-estar animal, ética, preço, apresentação do produto), sendo que todas elas contribuem para a expectativa do consumidor de uma carne de alta qualidade (JOO et al., 2013).

2.1.1 Maciez

A maciez é reconhecida como o atributo qualitativo mais importante da carne determinado em testes de aceitação dos consumidores (MENNECKE, et al., 2007) e nesse sentido, a indústria da carne tem feito muitos esforços com o objetivo de melhorar suas propriedades e garantir a maciez dos cortes de alto valor (BOLUMAR et al., 2013). Porém, a maciez é uma característica de natureza multifatorial, pois é resultado da interação de fatores pré e pós-abate que dificultam sua determinação efetiva antes da experiência do consumidor.

Em termos estruturais, de acordo com Koohmaraie et al. (2002), a maciez depende basicamente de três componentes principais: o comprimento do sarcômero, o conteúdo do tecido conjuntivo e a proteólise das proteínas miofibrilares, os quais são determinados pelo fenótipo particular do músculo específico e pelos efeitos ambientais (ANDERSON et al., 2012). A contribuição relativa desses três componentes para a maciez da carne varia consideravelmente, pois fatores como genética, condição sexual, idade, nutrição, manejo pré-abate e eventos *postmortem* (redução do pH e temperatura do músculo, maturação) também influenciam significativamente a maciez final da carne (ENGLAND et al., 2017; MATARNEH et al., 2017).

A genética parece ter grande influência na velocidade e na extensão da proteólise que se verifica no processo de conversão do músculo em carne, ocasionando diferenças na maciez. Estima-se que cerca de 15% da variação da maciez esteja relacionada às diferenças na

percentagem de gordura intramuscular e de colágeno de cada animal, enquanto o restante (85%) pode ser atribuído às variações no processo enzimático relacionado à maturação da carne (KOOHMARAIE, 1992).

Outro aspecto importante é o grupo genético que o animal pertence, pois a carne de animais *Bos taurus* tem uma taxa de maturação mais acelerada nas primeiras 24 horas *postmortem*, enquanto nos animais *Bos indicus* esse processo é mais lento (FERGUSON et al., 2000, GURSANSKY et al., 2010 e RILEY et al., 2019). Há indícios de que quanto maior a participação de *Bos indicus* no genótipo, menor a velocidade e a extensão dos efeitos da maturação (WHIPPLE et al., 1990).

Crouse et al. (1989) relataram que o aumento da participação de genótipo *Bos indicus* (0, 25, 50 e 75% Brahman ou Sahiwal) nos cruzamentos resultou em uma carne mais dura, comparada a oriunda dos mestiços de raças britânicas. Os mesmos autores explicaram essas diferenças devido ao fato da maior atividade de um fator inibidor (Calpastatina) de proteases cálcio-dependentes (Calpaínas) nos zebuínos, já que a calpastatina inibe a ação da calpaina, responsável pela degradação das proteínas miofibrilares, retardando o amaciamento durante a maturação da carne de animais *Bos indicus* (HOCQUETTE et al., 2007). Segundo Ibrahim et al. (2008), o aumento da atividade calpastatina em animais *Bos indicus* está relacionado a maior força de cisalhamento, ou seja, a uma carne mais dura.

A questão da genética tem um papel importante no sistema de produção brasileiro, pois a maioria absoluta do rebanho bovino brasileiro é composta por animais zebuínos, que notadamente produzem uma carne menos macia quando comparada com carne de animais taurinos e maturadas pelo mesmo tempo.

Outro aspecto importante relacionado às características de qualidade da carne é a idade do animal, que influencia a qualidade da carne em função de alterações na composição corporal e o grau de solubilidade do colágeno. À medida que a idade do animal avança, maior quantidade de gordura é acumulada na carcaça, especialmente a subcutânea e a intramuscular, as quais atuam positivamente na qualidade da carne. Por outro lado, com o avanço da idade a carne torna-se mais dura, devido ao aumento da concentração de piridinolina, que diminui a solubilidade do colágeno (ROBINS; SHIMOKOMAKI; BAILEY, 1973). Também é comum a associação da tonalidade escura e menor maciez com a carne proveniente do abate de animais velhos. Porém essa relação não é sempre verdadeira, uma vez que um animal jovem abatido com poucas reservas de glicogênio também resultará em uma carne com aparência mais escura, devido a deficiência no declínio do pH e maior capacidade de retenção de água (BRADEN, 2013).

Outro aspecto importante que influencia a maciez da carne é a condição sexual do animal. Estudos indicam que a testosterona potencializa a atividade das calpastatinas que por sua vez, aumenta a inibição das calpaínas (degradação muscular), complexo relacionado com a maciez e com o incremento na força de cisalhamento, fazendo com que machos não-castrados apresentem uma carne mais dura (MORGAN et al., 1993). Além disso, a condição sexual é altamente determinante nas características de qualidade da carne, especialmente devido às diferenças no crescimento e nas taxas de deposição dos diferentes tecidos corporais (GAGAOUA et al., 2015). A condição sexual é um fator de grande relevância para a carne de qualidade, ainda mais nas condições produtivas brasileiras, onde uma grande parte dos machos destinados ao abate não são castrados, o que acentua ainda mais o problema relacionado à qualidade, com destaque à maciez.

A nutrição também tem um efeito importante na qualidade da carne dos bovinos, pois uma maior ingestão de nutrientes afeta a composição da carcaça, aumentando a taxa de deposição de gordura na carcaça, com um impacto positivo na qualidade da carne. Além disso, segundo Aberle et al. (1981), animais alimentados com dietas que proporcionem rápido crescimento podem induzir o aumento da síntese proteica, inclusive da molécula de colágeno, de forma que esse novo colágeno representa uma proporção facilmente solúvel, reduzindo o potencial impacto negativo para maciez da carne.

Uma das principais dificuldades na produção de bovinos de corte, especialmente no Brasil, onde a maioria dos animais são criados e terminados em condições extensivas (pastagens), com baixo aporte de nutrientes, é dificuldade de abater animais com quantidade adequada de gordura subcutânea (acabamento). O pequeno acabamento de gordura (< 5mm), prejudica a qualidade da carne, especialmente a maciez, pois durante o período de resfriamento das carcaças pode ocorrer o encurtamento excessivo das fibras musculares e a queima pelo frio, fazendo com que os cortes sejam menos macios (FERNANDES et al., 2008).

Os procedimentos de manejo devem ser realizados da maneira mais cautelosa possível, sem sofrimentos desnecessários visando diminuir o estresse dos animais e evitar lesões nas carcaças e prejuízos na qualidade da carne. O transporte tem efeitos significativos na qualidade da carne, por estar diretamente relacionado com o estresse dos animais e, conseqüentemente, com a resistência na queda do pH pós-abate (HOCQUETTE et al., 2014).

A partir da morte do animal, o músculo experimenta certos processos de natureza bioquímica que é conhecido como conversão do músculo em carne, que culmina com o estabelecimento do *rigor mortis*, caracterizado pela perda da capacidade de relaxamento dos músculos. Durante o período *postmortem* uma série de alterações energéticas, bioquímicas e

físicas ocorrem rapidamente no músculo e culminarão em sua conversão em carne (MATARNEH et al., 2017). Durante a exsanguinação o animal perde a habilidade de distribuir oxigênio para os tecidos e gradativamente as células entrarão em anoxia; o músculo esquelético continua a sintetizar e utilizar o ATP a partir de ADP + fosfato, através da degradação anaeróbica do glicogênio presente no músculo entretanto, como o consumo de ATP excede sua síntese, ocorre o desencadeamento do *rigor mortis* (SAVELL; MUELLER; BAIRD B, 2005). À medida que a glicólise *postmortem* atinge a cessação final e os níveis de ATP são esgotados, a miosina liga-se irreversivelmente à actina levando ao estabelecimento do *rigor mortis*, que pode ocorrer em 1 – 12 h *postmortem* dependendo principalmente da espécie, tipo de fibra muscular e condições ante e *postmortem* (MATARNEH et al., 2017). Durante a maturação *postmortem* ocorre a proteólise muscular sobre a atuação das enzimas proteolíticas calpains e conseqüentemente ocasionam uma diminuição na tensão muscular (SAVELL; MUELLER; BAIRD B, 2005).

Outra mudança significativa que ocorre no músculo em condições anaeróbicas é de que o produto final da glicólise e da hidrólise do ATP, lactato e íons de hidrogênio (H^+) se acumulam no músculo devido à falta de um mecanismo de eliminação eficaz, causando a diminuição do pH (MATARNEH et al., 2017). A taxa da e a extensão da queda do pH durante a conversão do músculo a carne influencia significativamente o desenvolvimento dos atributos da qualidade da carne (SCHEFFLER; GERRARD, 2007).

Fatores como condições ambientais e manejo pré e pós-abate podem alterar significativamente o declínio do pH pós-morte. Quando os bovinos são expostos ao estresse pré-abate, a reserva de glicogênio dos músculos pode ser parcial ou totalmente esgotada, prejudicando o estabelecimento do *rigor mortis*, pois a reserva energética restante no músculo não é suficiente para sustentar o metabolismo anaeróbico e produzir acúmulo de H^+ suficiente para baixar o pH (LAWRIE, 2005).

2.1.2 Cor

A cor é um atributo sensorial que contribui significativamente para percepção de qualidade e valor. As decisões de compra da carne são influenciadas pela cor, mais que por qualquer outro fator de qualidade, pois os consumidores relacionam a cor como o primeiro indicador de frescor e qualidade (SMITH et al., 2000; ENGLAND et al., 2017).

A principal proteína responsável pela coloração é a mioglobina (HENCKEL et al., 1997). A estabilidade da cor de carne fresca tem sido relacionada principalmente à conversão de três

espécies de mioglobina: desoximioglobina, oximioglobina e metamioglobina, correspondendo respectivamente as formas oxidativas (O_2) afetadas por vários fatores *postmortem* (temperatura, pH, atividade redutora de metamioglobina, pressão parcial do oxigênio) (RENERRE, 2000; FAUSTMAN et al., 2010; CHUNBAO et al., 2011). A descoloração da carne é um processo oxidativo *postmortem* que leva à conversão da oximioglobina em metamioglobina, comprometendo a aparência da carne e resultando em desconto no preço ou retirada da exposição (CHANNON; BAUD; WALKER, 2005).

A cor da carne pode ser influenciada pela espécie, idade, tipo de músculo, estresse pre-abate e oxidação da mioglobina (JOO et al., 2013). A descoloração rápida ocorre em músculos que contêm maiores proporções relativas de fibras musculares do tipo I devido à maior taxa de consumo de oxigênio (JEONG et al., 2009). A exposição prolongada da carne ao oxigênio promove a oxidação progressiva da mioglobina, ocasionando escurecimento na superfície da carne e tornando-se um problema para a preservação da cor durante a exposição no varejo (HUNT; KING, 2012; GAGAOUA et al., 2015). Pressões parciais de oxigênio em que existe um vácuo completo ou em que a saturação de oxigênio é alcançada, favorecem as formas de mioglobina ferrosa (FAUSTMAN et al., 2010).

A cor também difere entre as raças, sendo que a presença de maiores concentrações de mioglobina levou a menores índices de reflexo de luz nas carcaças de bovinos das raças Simental, Chianina, Nelore e Guzerá em comparação às raças Limousine, Charolês e Canchim (NORMAN; FELÍCIO, 1981).

O pH alto resulta em uma carne de cor escura e seca devido à maior presença da água no músculo, que fica fortemente ligada às proteínas, tendo como resultado uma carne mais dura, conhecida como DFD (Dark, Firm and Dry – Dura, Escura e Seca). Por outro lado, quando se tem uma queda muito acelerada do pH, a carne se torna pálida e não tem capacidade de retenção de água, sendo chamada de PSE (Pale, Soft and Exudative – Pálida, Flácida e Exsudativa) (ABERLE et al., 2001; LOMIWES et al., 2014). O rápido declínio do pH alcançado em temperaturas mais altas também pode afetar adversamente a capacidade de redução da metamioglobina e, assim, resultar na diminuição da estabilidade da cor da carne, tornando-a mais pálida (SIMMONS et al., 2008; KIM; WARNER; ROSENVOLD, 2014).

2.1.3 Suculência

A suculência é outro dos atributos sensoriais importantes para os consumidores e é proveniente de duas fontes: umidade liberada pela carne após a primeira mordida e durante a

mastigação e da umidade da saliva. A capacidade de retenção de água é responsável pela suculência durante a mastigação (KIM et al., 2012). A suculência é determinada pelos efeitos combinados da liberação inicial de fluidos (impressão da umidade durante as primeiras mastigações) e da suculência sustentada do efeito estimulante da gordura intramuscular no fluxo salivar (SAVELL; CROSS, 1988).

A suculência estaria positivamente correlacionada com a capacidade de retenção da água da carne; entretanto, resultados de estudos comparando a avaliação sensorial da suculência com as medidas de capacidade de retenção de água são contraditórios (WINGER; HAGYARD, 1994). Um estudo, realizado por Young, Hopkins e Pethick (2005) afirmou que o teor total de água da carne e a perda de cozimento não podem explicar a suculência do produto cárneo cozido. A gordura pode afetar a suculência aumentando a capacidade de retenção de água da carne, lubrificando as fibras musculares durante o cozimento, aumentando a maciez da carne e a sensação aparente de suculência, ou estimulando o fluxo salivar durante a mastigação (SMITH; CARPENTER, 1974).

2.1.4 Sabor

O sabor também é importante para a qualidade da carne determinado pela percepção dos consumidores. A carne contém uma parte magra e uma parte gorda, e o sabor depende principalmente do conjunto de precursores de sabor nesses dois tecidos. O sabor da carne cozida é afetado pelos principais precursores, proteínas e lipídios, embora os compostos voláteis formados durante o processamento-cozimento sejam essenciais para o aroma da carne (MOTTRAM, 1998). Muitos fatores diferentes podem afetar o aroma da carne. Fatores *ante-mortem* como: idade, raça, sexo, estado nutricional, nível de estresse, nível de gordura, perfil de gordura e composição; e fatores *postmortem* como: o processo de abate, manuseio da carcaça, envelhecimento, cozimento e armazenamento após o cozimento.

À medida que os animais envelhecem, precursores de sabor ou compostos odoríferos podem se concentrar nos depósitos de gordura e podem resultar em sabores ou odores intensos. Neste último caso, o aumento da deposição de gordura poderia servir para diluir esses precursores ou compostos e tornar o sabor ou aroma menos pronunciado, (SMITH; CARPENTER, 1974). A intensidade do sabor na carne bovina tende a aumentar até os 18 meses de idade (FLORES; TOLDRA, 2017).

2.2. Estimulação elétrica das carcaças

A estimulação elétrica para aumentar a maciez foi descrita pela primeira vez pelo cientista Benjamin Franklin, em 1749, o qual observou que abater perus eletricamente, tinha um efeito colateral que os tornava mais macios (SAVELL et al., 1977.; LAWRIE, 2005). Posteriormente, Harsham e Deatherage em 1951 (Patente No: 2.544.681), observaram que a passagem de corrente elétrica pelas carcaças bovinas melhorava a maciez da carne, acelerava o início do *rigor mortis* e a queda do pH nos músculos (LAWRIE, 2005). Entretanto essa patente não se implementou comercialmente e expirou em 1968. (SMITH, 1985.; BENDALL, 1976.; SAVELL et al. 1977). Na década de 70, a tecnologia foi revitalizada e começou a ser empregada comercialmente na Nova Zelândia, com intuito de evitar o endurecimento da carne ocasionada durante o resfriamento das carcaças de ovinos destinados à exportação para o Reino Unido (CARSE, 1973.; LAWRIE, 2005). Em 1975, a Universidade do Texas começou a investigar o efeito da estimulação em carnes bovinas e, após quatro anos de pesquisa, os resultados comprovaram a melhoria não só na maciez da carne, mas também no sabor, na cor, que ficou mais clara, e na carga microbiana, a qual foi reduzida, resultando em efeitos positivos, como o aumento do prazo de vida útil (SMITH, 1985).

Essa técnica recebeu atenção por sua eficácia, contribuindo para o surgimento de novos estudos para aprimorar a maciez da carne. Esse procedimento estabeleceu-se em muitos países, os quais apresentaram algumas variações em relação ao tipo e posição de eletrodos, ao tipo de corrente (voltagem, frequência do pulso e duração da aplicação), às rotas (via nervos ou direta) e ao tempo de atraso entre abate e a estimulação (SMITH, 1985.; LAWRIE, 2005). O estímulo elétrico tem demonstrado melhoras nas características da qualidade da carne, como a cor (SWATLAND, 2004; ROSENVOLD et al., 2008.; LI et al., 2011) e a maciez (TAYLOR; CORNELL, 1985; THOMPSON et al., 2006; ROSENVOLD et al., 2008).

2.2.1. Mecanismo de ação

A estimulação elétrica envolve a passagem de uma corrente elétrica através das carcaças, e faz com que os músculos sejam contraídos. Essa técnica tem sido aplicada na indústria para acelerar o início do *rigor mortis* ao acelerar a taxa de glicolise *postmortem* e dessa maneira reduzir a dureza da carne (TAYLOR; CORNELL, 1985.; ROSENVOLD et al., 2008). A aplicação de estimulação elétrica nas carcaças causa contrações musculares vigorosas aumentando assim a taxa de uso do glicogênio, ocasionando uma queda acelerada do pH e

levando à glicólise anaeróbica, de tal modo que não haja mais energia suficiente no músculo para ele se contrair, o que antecipa o estabelecimento do *rigor mortis* (CHRYSTALL; DEVINE, 1985.; PEARCE et al., 2009). Essa contração provocada pelo estímulo faz com que as fibras se estendam, impedindo uma contração adicional, além disso, a matriz miofibrilar é fisicamente rompida, acelerando assim a proteólise (HAWNG et al., 2003).

Duas mudanças importantes são aceleradas pelo estímulo elétrico: o início do *rigor mortis* pela aceleração da taxa de glicose e o declínio do pH, com valores de 6,4 após o estímulo. A aceleração desses dois processos aumenta significativamente e diminui com a sua cessação (BENDALL, 1980; ADAYEIME; SAZILI, 2014). O estímulo elétrico aumenta as reações bioquímicas da via glicolítica em 100 a 150 vezes devido (ASGHAR; HENRICKSON; KASTNER, 1983).

O principal mérito do uso da estimulação elétrica está associado ao desenvolvimento do *rigor mortis* antes que a temperatura do músculo conduza ao encurtamento pelo frio (SIMMONS et al., 2008; PEARCE et al., 2009). Cross (1979) identificou a prevenção do encurtamento pelo frio como um dos fatores mais importantes do estímulo elétrico para melhorar a maciez da carne. Também acrescenta o aumento na atividade das enzimas proteolíticas e a ruptura física da matriz miofibrilar, como outros dois fatores que beneficiam a maciez da carne. Hwang, Devine e Hopkins (2003) e Hwang e Thompson (2001) concordam que a estimulação elétrica está associada à maior velocidade de redução do pH, por aceleração da glicólise e hidrólise de ATP, fazendo com que o *rigor mortis* seja estabelecido de forma mais precoce, e dessa maneira, tendo como resultado melhores características da carne.

Adeyemi e Sazili (2014) relataram que os mecanismos de ação da estimulação elétrica para melhorar a maciez da carne ocorrem devido a liberação dos íons cálcio (Ca^{2+}) do retículo sarcoplasmático. Durante a contração muscular o Ca^{2+} liga-se troponina C, desloca o sítio para a ligação da miosina a proteína actina, sem este íon não ocorre contração e a musculatura permanece relaxada (DEVINE, 2014). No *post mortem* há acúmulo de cálcio no retículo sarcoplasmático e há ativação complexo calpaina/calpastatina. Hwang e Thomposon (2001) afirmaram que o aumento nos íons de cálcio pode ser suficiente para aumentar a atividade proteolítica de μ -calpaina e calpastatina, e conseqüentemente, levar a níveis reduzidos de μ -calpaina extraível e calpastatina pós-estimulação. Uytterhaegen, claeys e demeyer (1992) encontraram uma redução precoce da atividade de calpastatina com o uso da estimulação elétrica e associaram este evento a uma melhoria na maciez da carne.

A contração muscular é promovida pela ativação da miosina-ATPase, e a presença de trifosfato de adenosina (ATP) permite a polimerização da proteína contrátil de actina e miosina

para o complexo actomiosina (ADEYEMI; SAZILI, 2014). No início do *rigor mortis*, ocorre a depleção de ATP em difosfato de adenosina (ADP) e conseqüentemente o ADP se esgota e há acúmulo de ionosinamonofosfato (IMP) (SAVELL et al., 2005). Quando há uma conversão completa de ATP para IMP, ocorre o *rigor mortis* (PRANDL et al., 1994). A estimulação elétrica garante a depleção completa de ATP em IMP antes do estágio inicial do *rigor* (SAVELL; MUELLER; BAIRD, 2005) fazendo com que não haja mais energia para a o desligamento da estrutura, impedindo assim o relaxamento.

Atualmente existem três opções de estimulação elétrica, de baixa, média e alta voltagem. A estimulação de baixa voltagem é realizada com voltagens tipicamente de 100 V (ou menos) de pico, as quais geram contração muscular pela combinação do estímulo elétrico e sua propagação através do sistema nervoso, enquanto ele estiver funcional. Chrystall, Devine e Lester (1980) afirmaram que o sistema nervoso começa a perder a capacidade de resposta ao estímulo elétrico cerca de 30 minutos *postmortem*, desse modo, a operação deve ser realizada dentro de 10 minutos após insensibilização e sangria (SAVELL, 1985).

Simmons et al. (2008) confirmam que a estimulação elétrica de baixa voltagem é mediada pelo sistema nervoso, entretanto, pode evocar estimulação direta por meio de alterações na excitabilidade da membrana muscular. Embora a estimulação de baixa voltagem seja considerada mais segura nas operações e de baixo custo, deve ser aplicada imediatamente após a sangria para ser eficaz (AGBENIGA; WEBB, 2018). Alguns autores consideram a estimulação de baixa voltagem menos eficiente que a estimulação de média ou alta voltagem, em relação às características de qualidade da carne (SAVELL, 1985; LAWRIE, 2006).

A estimulação elétrica de média voltagem, comumente realizada com picos de 300 V, é um sistema de nova geração desenvolvido na Austrália, pela Meat and Livestock Australia, sendo mais eficaz que o de baixa voltagem e mais vantajoso do que o alta voltagem, por ser mais econômico e com maior segurança operacional (MEAT TECHNOLOGY UPDATE, 2007). Esses sistemas garantem que apenas uma carcaça entre em contato com os eletrodos enquanto as carcaças suspensas no trilho percorrem a barra de eletrodos na velocidade da corrente (PEARCE et al., 2009). A média voltagem tem mostrado resultados muito eficazes em carcaças de cordeiros (TOOHEY et al., 2008.; PEARCE et al., 2009). Entretanto, há poucos dados sobre sua aplicação em carcaças bovinas (HOPE-JONES et al., 2010; HOPKINS et al., 2014; ZHANG et al., 2019; JI et al., 2021). Tais estudos relataram que a média voltagem acelera o estabelecimento do *rigor mortis* e a taxa de declínio do pH, resultando em melhorias nas características da carne bovina especialmente na maciez.

Já as altas voltagens correspondentes ao intervalo de 500 - 1100 V ou mais de pico (BOUTON et al., 1980; SIMMONS et al., 2008; ADEYEMI; SAZILI, 2014) dão espaço para maior tempo de atraso na aplicação, entre 20 e 60 minutos *postmortem* (HWANG; THOMPSON, 2001) são aplicadas em um túnel de estimulação através de barras de atrito, com as carcaças suspensas pelo tendão de Aquiles ou pelo membro pélvico no trilho (LAWRIE, 2006), atuando diretamente nos músculos de toda a carcaça para induzir a contração (HUI; NIP; ROGERS, 2001). Esses sistemas tendem a resultar em grande queda do pH e a extensão de queda é relativamente consistente, no entanto muitas vezes o pH após a estimulação, é potencialmente muito baixo, resultando em superestimulação. O custo desse sistema é mais alto do que a baixa voltagem e média voltagem. Além disso os requisitos de segurança para seu uso comercial são particularmente mais rigorosos (SIMMONS et al., 2008).

2.2.2. Tipos de voltagens

Atualmente existem três opções de estimulação elétrica, de baixa, média e alta voltagem. A estimulação de baixa voltagem é realizada com voltagens tipicamente de 100 V (ou menos) de pico, as quais geram contração muscular pela combinação do estímulo elétrico e sua propagação através do sistema nervoso, enquanto ele estiver funcional. Chrystall, Devine e Lester (1980) afirmaram que o sistema nervoso começa a perder a capacidade de resposta ao estímulo elétrico cerca de 30 minutos *postmortem*, desse modo, a operação deve ser realizada dentro de 10 minutos após insensibilização e sangria (SAVELL, 1985).

Simmons et al. (2008) confirmam que a estimulação elétrica de baixa voltagem é mediada pelo sistema nervoso, entretanto, pode evocar estimulação direta por meio de alterações na excitabilidade da membrana muscular. Embora a estimulação de baixa voltagem seja considerada mais segura nas operações e de baixo custo, deve ser aplicada imediatamente após a sangria para ser eficaz (AGBENIGA; WEBB, 2018). Alguns autores consideram a estimulação de baixa voltagem menos eficiente que a estimulação de média ou alta voltagem, em relação às características de qualidade da carne (SAVELL, 1985; LAWRIE, 2006).

A estimulação elétrica de média voltagem, comumente realizada com picos de 300 V, é um sistema de nova geração desenvolvido na Austrália, pela Meat and Livestock Australia, sendo mais eficaz que o de baixa voltagem e mais vantajoso do que o alta voltagem, por ser mais econômico e com maior segurança operacional (MEAT TECHNOLOGY UPDATE, 2007). Esses sistemas garantem que apenas uma carcaça entre em contato com os eletrodos enquanto as carcaças suspensas no trilho percorrem a barra de eletrodos na velocidade da

corrente (PEARCE et al., 2009). A média voltagem tem mostrado resultados muito eficazes em carcaças de cordeiros (TOOHEY et al., 2008.; PEARCE et al., 2009). Entretanto, há poucos dados sobre sua aplicação em carcaças bovinas (HOPE-JONES et al., 2010; HOPKINS et al., 2014; ZHANG et al., 2019; JI et al., 2021). Tais estudos relataram que a média voltagem acelera o estabelecimento do *rigor mortis* e a taxa de declínio do pH, resultando em melhorias nas características da carne bovina especialmente na maciez.

Já as altas voltagens correspondentes ao intervalo de 500 - 1100 V ou mais de pico (BOUTON et al., 1980; SIMMONS et al., 2008; ADEYEMI; SAZILI, 2014) dão espaço para maior tempo de atraso na aplicação, entre 20 e 60 minutos *postmortem* (HWANG; THOMPSON, 2001) são aplicadas em um túnel de estimulação através de barras de atrito, com as carcaças suspensas pelo tendão de Aquiles ou pelo membro pélvico no trilho (LAWRIE, 2006), atuando diretamente nos músculos de toda a carcaça para induzir a contração (HUI; NIP; ROGERS, 2001). Esses sistemas tendem a resultar em grande queda do pH e a extensão de queda é relativamente consistente, no entanto muitas vezes o pH após a estimulação, é potencialmente muito baixo, resultando em superestimulação. O custo desse sistema é mais alto do que a baixa voltagem e média voltagem. Além disso os requisitos de segurança para seu uso comercial são particularmente mais rigorosos (SIMMONS et al., 2008).

2.2.3. Aplicação prática da estimulação elétrica

A estimulação elétrica, como já foi dito anteriormente, tem trazido resultados positivos para a maciez, uma vez que as carcaças de animais estimulados eletricamente produzem carnes mais macias do que as não estimuladas, quando se utiliza resfriamento convencional (HWANG; THOMPSON, 2001.; HWANG, DEVINE; HOPKINS, 2003).

Hopkins et al. (2014) afirmaram que a estimulação elétrica de média voltagem em carcaças bovinas, teve efeito significativo no declínio do pH e na antecipação do estabelecimento do *rigor mortis*. Resultados similares foram relatados por Zhang et al. (2019), verificando que o estímulo elétrico de 300 V em carcaças bovinas, acelerou a taxa de declínio do pH, provocando melhorias, na maciez mesmo após 14 dias de maturação, e na cor do varejo, que foi significativamente melhor predominância da cor vermelho-cereja, desejável na carne das carcaças estimuladas quando comparadas às carnes de carcaças não estimuladas.

Ji et al. (2021) avaliaram as carcaças de oito bovinos mestiços chineses utilizando estimulação de média voltagem (300 V) e observaram que, a média voltagem acelerou o

declínio do pH e melhorou a maciez, apresentando menor força de cisalhamento na carne de carcaças estimuladas quando comparada com a carne de carcaças não estimuladas.

Diante dos resultados do uso de dessa tecnologia, já evidenciados, acredita-se que a estimulação elétrica de média voltagem poderia ser uma alternativa viável para melhorar as características de qualidade da carne de animais zebuínos com diferentes condições sexuais, promovendo um produto final com maior padronização, valor agregado, satisfação dos consumidores e maior proporção de carne macia em um menor período de maturação (vantagem econômica redução do custo do armazenamento no frio).

3. OBJETIVO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito da estimulação elétrica de média voltagem sobre a queda do pH das carcaças e das características de cor e maciez da carne, provenientes de bovinos Nelore de diferentes condições sexuais, terminados em confinamento.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Animais e local

O estudo foi realizado no Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) da Universidade de São Paulo (USP), em Pirassununga/SP.

As carcaças utilizadas neste experimento foram de animais provenientes de um estudo desenvolvido para avaliar o efeito da condição sexual sobre o desempenho, as características de carcaça e a qualidade da carne de bovinos Nelore, aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da FZEA/USP (Protocolo N° 6493190121).

Setenta e dois bovinos da raça Nelore, com peso médio inicial de $350 \pm 24,7$ kg e $609 \pm 31,5$ dias de idade, foram utilizados no estudo, sendo 12 novilhas, 12 machos castrados cirurgicamente, 24 machos imunocastrados e 24 machos não-castrados. Os animais foram confinados e alimentados com uma dieta contendo 69% de concentrado e 21% de forragem (silagem de milho). Os animais permaneceram no confinamento por um período médio de 98 dias e foram abatidos com peso médio de $488 \pm 38,9$ kg.

4.2. Abate

Quando a média da espessura de gordura, avaliada por ultrassonografia na região entre a 12^a e a 13^a costelas atingiu 5 mm, os animais foram abatidos no Abatedouro da Escola da USP, localizado a aproximadamente 300 m do local do confinamento. O abate foi realizado de acordo com os procedimentos humanitários exigidos pela legislação brasileira. Em função da limitação da capacidade de abate, os animais foram divididos e abatidos em 5 grupos, sendo que os primeiros três grupos de 16 animais foram abatidos com 91, 93 e 98 dias de confinamento, respectivamente, enquanto o 4^o e o 5^o grupo (n=12) foram abatidos com 101 e 115 dias de confinamento, respectivamente.

4.3. Tratamentos e amostras

Aproximadamente 30 minutos após a sangria, as carcaças foram divididas longitudinalmente e as meias-carcaças de cada animal foram destinadas a um dos seguintes tratamentos: EE - estimuladas eletricamente (meias-carcaças direitas) e NE - não estimuladas eletricamente (controle; meias-carcaças esquerdas).

A estimulação elétrica foi realizada utilizando um eletroestimulador (modelo UFX7 NR-12; Fluxo Equipamentos Eletrônicos Ltda; Chapecó, Santa Catarina, Brasil), ajustado para aplicar uma corrente elétrica com tipo de onda quadrada alternada (CA) de 15 Hz com voltagem de 300 V. O período de aplicação total foi de 78 s, com 10 s de estimulação (pulso), seguindo de 3 s de descanso, totalizando 6 ciclos. Para a aplicação da eletroestimulação foram posicionados dois eletrodos, sendo um na região do tendão de Aquiles e outro no músculo Trapézio (Figura 1), de modo que a corrente elétrica percorresse toda a carcaça. Em seguida, as carcaças foram transferidas para a câmara fria (0-2°C), onde permaneceram por 24 horas.

Imediatamente depois da aplicação da estimulação elétrica (1 min) e durante o período de resfriamento (1, 3, 6, 9, 12 e 24 horas), foram registrados o pH e a temperatura das carcaças, utilizando um medidor de pH digital (modelo HI99163; Hanna Instruments, São Paulo, Brasil) e um termômetro digital tipo espeto (marca Incoterm, 6030.08.1.00; Multi-thermometer; São Paulo, Brasil) no músculo *Longissimus thoracis* (LT) na região entre as 12^a e 13^a costelas (Figura 2).



Figura - 1. Posicionamento dos eletrodos posicionados no tendão de Aquiles e no músculo Trapézio (identificados pelas setas vermelhas na imagem).

Fonte: própria autoria.



Figura - 2. Medição do pH e temperatura dentro da câmara de refrigeração.

Fonte: própria autoria

Após 24h de resfriamento o músculo LT foi excisado das meias-carcaças e dividido na região entre a 12^a e a 13^a costelas para retirada de três amostras (2,5 cm de espessura; sentido caudo-cranial), as quais foram identificadas, embaladas a vácuo e maturadas por 1, 7 ou 14 dias. Adicionalmente foram retiradas duas amostras do mesmo músculo, para análises de vida útil e comprimento de sarcômero.

4.4. Cor, perdas por cocção e força de cisalhamento

Após os períodos de maturação específicos, as amostras foram retiradas das embalagens a vácuo e deixadas por 30 minutos dentro da geladeira (4–6 °C) para estabilizarem. Em seguida foi realizada uma avaliação objetiva da cor da carne de acordo com o sistema CIELab (CIE, 1986), utilizando um espectrofotômetro portátil, modelo CM2500d (Konica Minolta Brasil, São Paulo, Brasil) com iluminante padrão A, ângulo de observação de 10° e abertura do obturador de 30 mm. Valores finais de L* (luminosidade), a* (intensidade de vermelho) e b* (intensidade de amarelo) de cada amostra foram obtidos através da média de três observações, realizadas em pontos distintos da superfície do músculo (Figura 3A).

Após a análise da cor, as amostras foram pesadas e assadas em um forno elétrico industrial (Modelo F130/L – Fornos Elétricos Flecha de Ouro Ind. e Com. Ltda., São Paulo, Brasil), a uma temperatura de 170 °C (Figura 3B). A temperatura interna dos bifês foi monitorada por meio de termômetros individuais inseridos dentro da amostra, sendo que ao atingirem temperatura interna de 40 °C, as amostras foram viradas e permaneceram no forno até atingir uma temperatura interna de 71 °C, quando foram então retiradas do forno, conforme metodologia recomendada pela American Meat Science Association (AMSA, 2015).

As amostras permaneceram em temperatura ambiente (± 25 °C) até resfriarem, quando foram novamente pesadas para cálculo da perda por cocção (PPC). Em seguida, as amostras foram envolvidas em filme plástico e resfriadas (4-6 °C) por 12 horas. Após esse período foram retirados seis cilindros (1,27 cm de diâmetro) de cada amostra, no sentido paralelo ao das fibras musculares, para determinação da força de cisalhamento (FC), utilizando um equipamento analisador de textura (TMS-PRO; Food Technology Corporation, Sterling, Virginia, USA; Figura 4), acoplado a uma lâmina de cisalhamento Warner–Bratzler, calibrado para uma velocidade de 200 mm/min (AMSA, 2015). A força de cisalhamento de cada amostra foi considerada como a média dos seis cilindros e foi expressa em Newton (N).



Figura - 3. A: análise da cor com espectrofotômetro para medições dos valores L^* a^* e b^* ; B: amostras dentro do forno monitorados com termômetros até atingir a temperatura definida.
Fonte: própria autoria.



Figura - 4. Avaliação da força de cisalhamento por meio de texturômetro.
Fonte: própria autoria.

4.5. Comprimento de Sarcômero

Para determinação do comprimento de sarcômero, foi utilizada uma amostra crua. Foram retirados seis cilindros (1,27 cm de diâmetro), no sentido paralelo ao das fibras, os quais foram colocados em um recipiente de plástico contendo 0,2 M de solução de sacarose e fixador, e

armazenados em geladeira (4 - 6 °C), por 12 horas. O comprimento do sarcômero foi avaliado pelo método de difração a laser (Figura 5), através do equipamento Helium Neon Laser Model 05-LHR-021 e Power supply - Model # 05-LPL-911-065 115/230 Vac. (Melles Griot, Carlsbad, CA, USA) de acordo com o método proposto por Cross et al. (1981). De cada cilindro, foram realizadas seis mensurações de comprimento de sarcômero, de forma que o comprimento de sarcômero de cada amostra foi considerado como o valor médio das 36 avaliações.

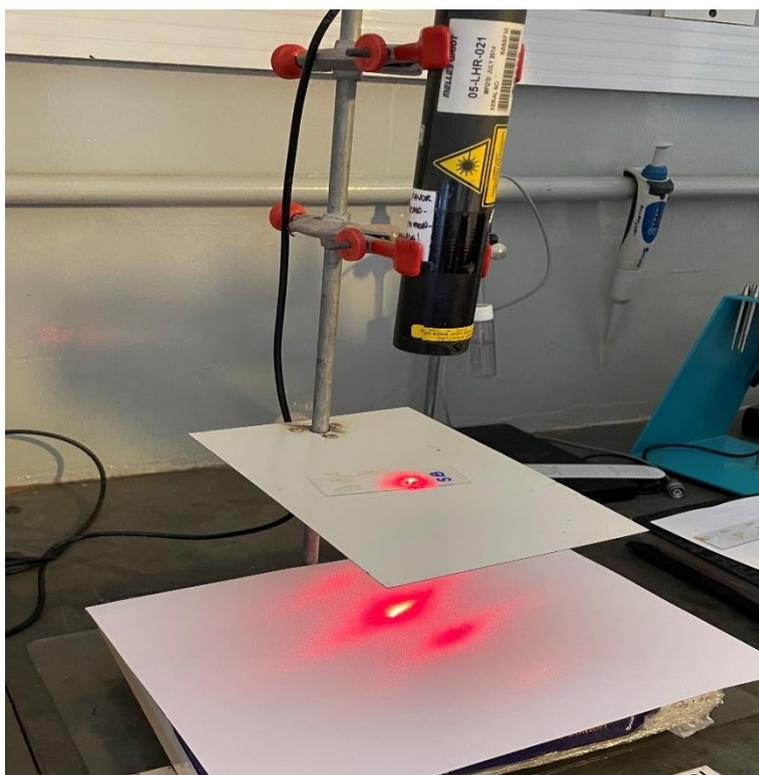


Figura - 5. Equipamento de difração a laser para avaliação do comprimento de sarcômero. Fonte: própria autoria.

4.6. Vida útil e oxidação lipídica

Uma amostra de 1 cm de espessura foi colocada sobre um absorvente de purga em bandejas de poliestireno e envolvidas em papel filme permeável ao oxigênio por 3 dias, sob condições simuladas de exposição no varejo (4-6° C e iluminação de 1.000 lux) conforme a metodologia proposta por Vatansever et al. (2000; figura 6A). Ao final desse período, a cor objetiva da carne foi avaliada de acordo com a mesma metodologia descrita previamente. Em seguida, as amostras foram congeladas (-20 °C) em papel alumínio para as análises de oxidação lipídica.

Para a avaliação da oxidação lipídica, foram pesadas 5 gramas de cada amostra, as quais foram trituradas, homogeneizadas em um ultraturrax e analisadas para determinação das concentrações de substância reativas ao ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS), de acordo com a metodologia proposta por Vyncke (1975) e modificada por Sorensen e Jorgensen (1996). Foi utilizado o espectrofotômetro - digital 325-1000 nm (Modelo. GT7220; Global Trade Technology; Jaboticabal, SP, BR) para as leituras das absorbâncias, as quais foram realizadas em 532 e 600 nm. Uma curva padrão com 8 pontos foi preparada utilizando-se uma solução de tetraetoxipropano (TEP) de concentração conhecida (Figura 6B). A concentração de malonaldeído (MDA) das amostras foi obtida por meio da equação fornecida pela curva padrão. O resultado foi expresso em mg de MDA por kg de amostra.



Figura - 6. A: vida útil, simulação do produto no varejo; B: oxidação lipídica, leitura das absorbâncias das amostras no espectrofotômetro.

Fonte: própria autoria.

4.7. Análises estatísticas

Os dados foram avaliados com um delineamento experimental inteiramente casualizado com dois tratamentos (EE ou NE). O efeito dos tratamentos sobre as características estudadas foi avaliado por análise de variância utilizando o procedimento MIXED do software SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA), considerando o efeito fixo de tratamento e os efeitos aleatórios de condição sexual e data do abate.

As medidas de pH, temperatura e as características de qualidade de carne maturadas foram analisadas como medidas repetidas no tempo (CROWDER; HAND, 1990), considerando os efeitos fixos de tratamento, tempo e a interação entre ambos como efeitos fixos, além dos efeitos aleatórios de data de abate e condição sexual. Quando houve efeito significativo dos

fatores principais, as médias dos tratamentos foram comparados pelo teste *t Student*, através da opção PDIFF.

A partir dos valores de FC as amostras foram agrupadas em classes de maciez, de acordo com os valores apresentados por Destefanis et al. (2008), em: Macia ($FC < 42,87$ N); Intermediária ($42,87 \leq FC \leq 52,68$) ou Dura ($FC > 52,68$). Com base nessa classificação foram calculadas as percentagens de cada classe em função do tratamento e do tempo de maturação.

5. RESULTADOS

5.1 Curvas de pH e temperatura das carcaças no *postmortem*

Houve uma interação entre os tratamentos e o tempo da avaliação para o pH ($P < 0,0001$; Figura 7). As carcaças dos animais EE apresentaram menor pH desde o tempo 0 até 24h após o abate ($P < 0,001$), em comparação com as carcaças NE.

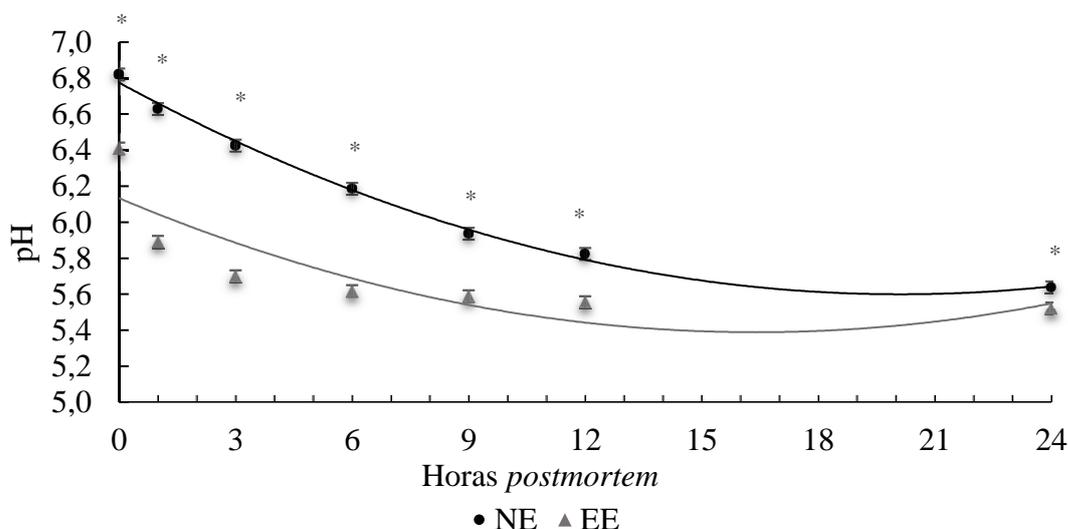


Figura - 7. Médias dos valores de pH das carcaças em função do tempo *postmortem* e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.

* Indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste t de Student ($P < 0,05$).

Foi observada uma interação significativa entre os tratamentos e o tempo da avaliação para a temperatura das carcaças ($P = 0,0278$; Figura 8). Não houve diferença entre os grupos em relação a temperatura das carcaças avaliadas no tempo 0, no entanto, entre 1h e 9h, as carcaças NE apresentaram menor temperatura ($P < 0,05$) em relação as EE, sendo que as 12h e 24h não houve diferença entre os grupos.

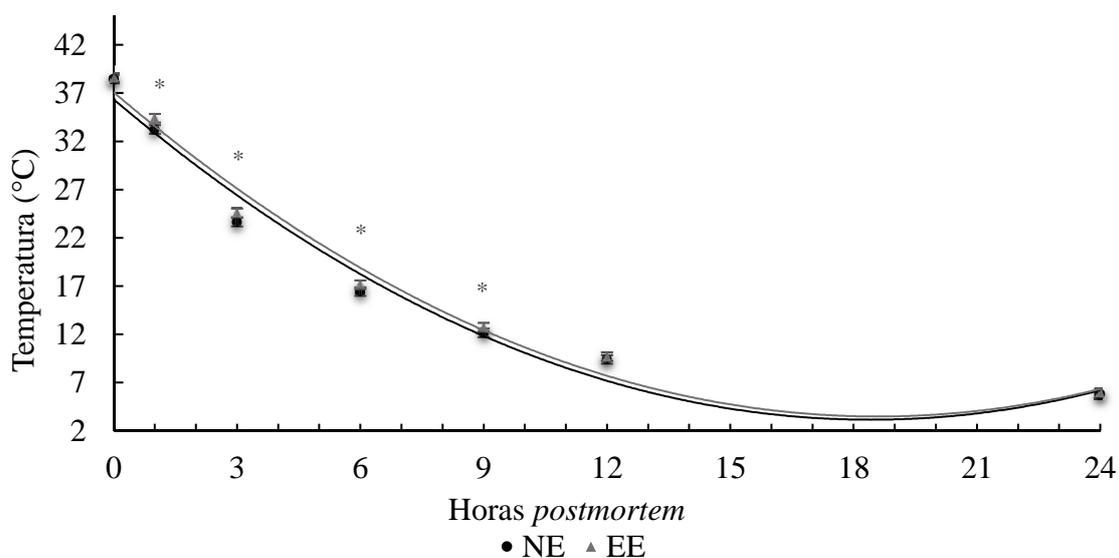


Figura - 8. Médias dos valores de temperatura das carcaças em função do tempo *postmortem* e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas. * Indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste t de Student ($P < 0.05$).

5.2 Cor da carne

Houve uma tendência ($P = 0,0639$) de interação entre os tratamentos e o tempo de maturação, para os valores de luminosidade (L^*) da carne. Amostras do tratamento EE apresentaram maior luminosidade (mais claras) do que as carcaças NE ($P < 0,05$) nos tempos 1 e 7. Contudo, no tempo 14 de maturação não houve diferença entre os grupos (Figura 9).

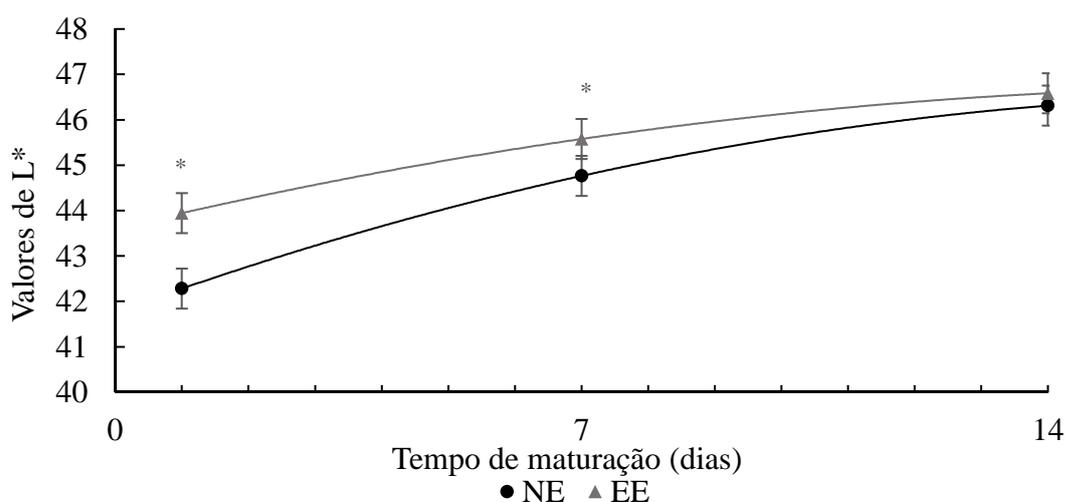


Figura - 9. Média dos valores de L^* da cor em função do tempo de maturação e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas. * Indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste t de Student ($P < 0.05$).

Não houve interação significativa entre os tratamentos e o tempo de maturação para os valores de a^* e b^* da carne. Não houve diferença entre os grupos nos distintos tempos de maturação (Figuras 10 e 11, respectivamente).

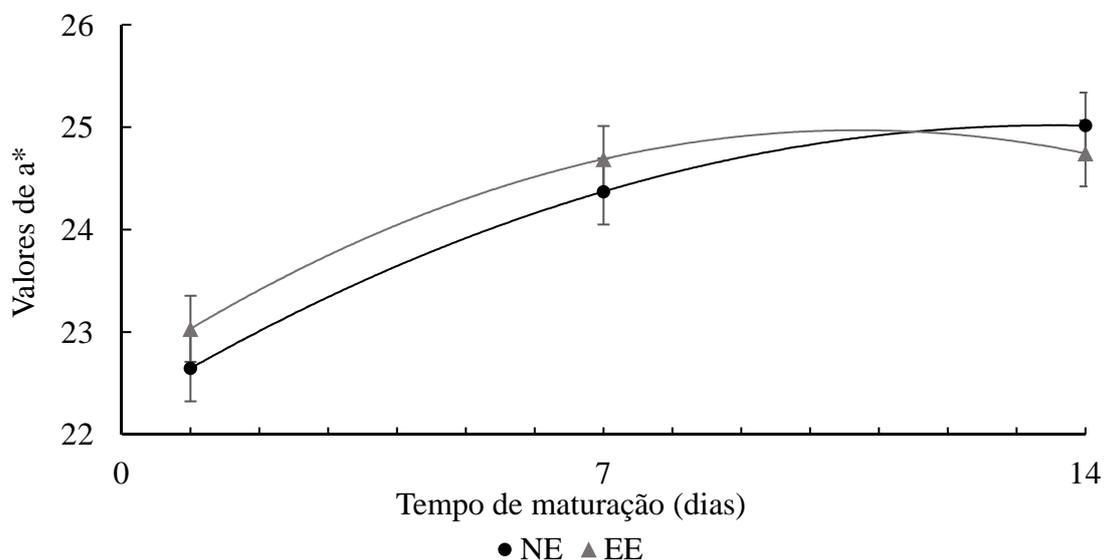


Figura - 10. Média dos valores de a^* da cor em função do tempo de maturação e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.

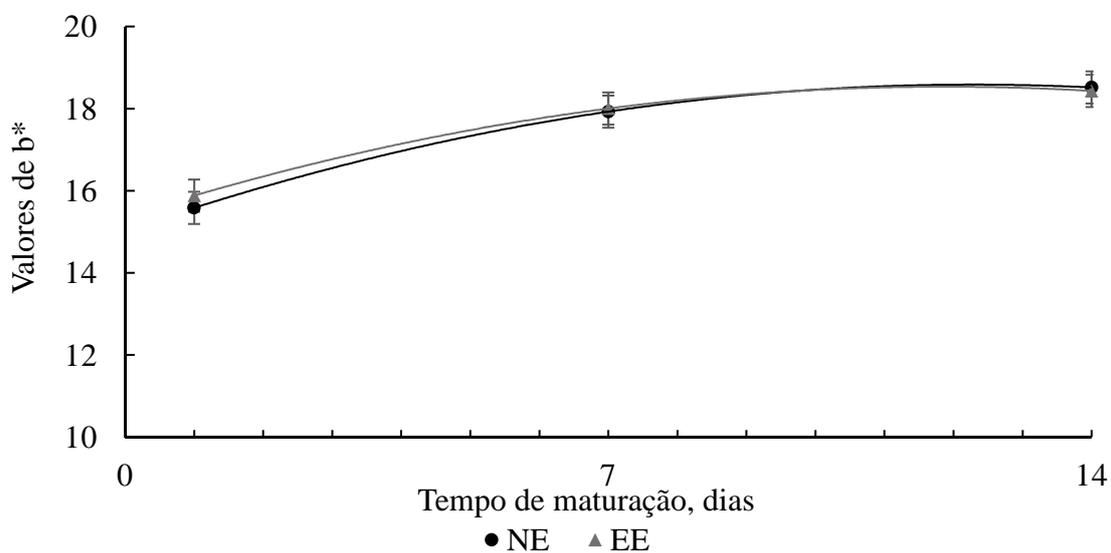


Figura - 11. Média dos valores de b^* da cor em função do tempo de maturação e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.

5.3 Força de cisalhamento

Foi observada uma interação entre os tratamentos e a força de cisalhamento ($P < 0,0001$; Figura 12).

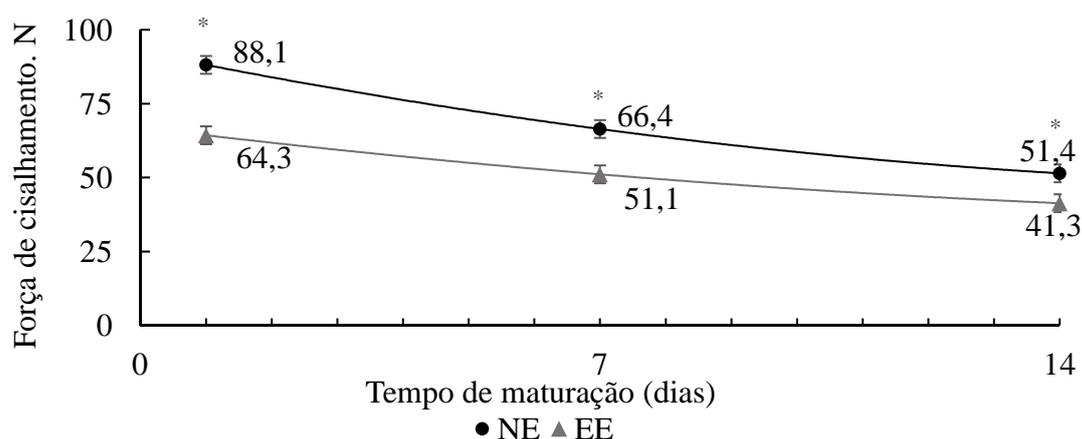


Figura - 12. Média dos valores da força de cisalhamento (N) em função do tempo de maturação e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.

* Indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste t de Student ($P < 0,05$).

5.4 Perdas por cocção

Não houve interação entre os fatores em relação as perdas por cocção (Figura 13) no entanto, as carcaças EE apresentaram maior percentagem de PPC ($P = 0,0177$) em relação as carcaças NE. Não foi observado efeito de tempo nas PPC.

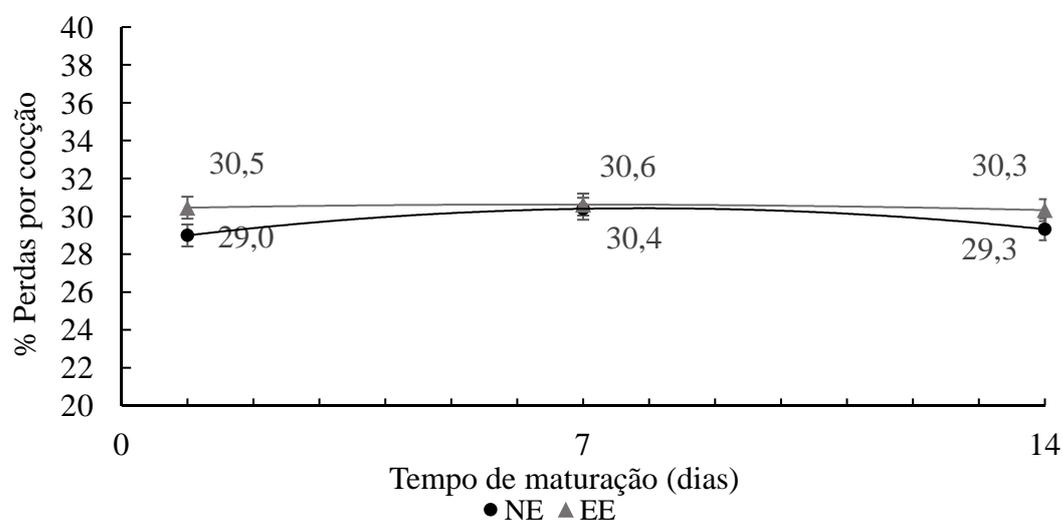


Figura - 13. Média dos valores das perdas por cocção (PCC) em função do tempo de maturação e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.

5.5 Comprimento de sarcômero

O comprimento do sarcômero não foi influenciado pelos tratamentos (Figura 14).

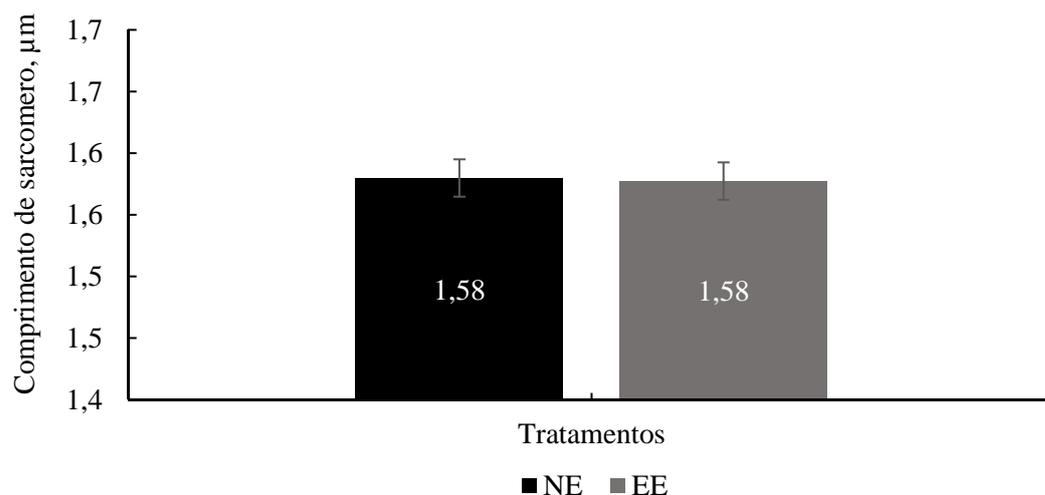


Figura - 14. Média dos valores do comprimento do sarcômero em função dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.

5.6 Vida útil

Não foi observado efeito de tratamento sobre os valores de L^* , a^* e a saturação (C^*), entretanto as amostras do tratamento NE apresentaram maior intensidade de amarelo (b^* ; $P = 0,0313$) e maior ângulo de tonalidade (H^* ; $P = 0,0030$), em comparação as amostras do tratamento EE (Tabela 1).

Tabela 1. Médias, erro padrão da média (EPM) e probabilidades (Pr>F) das características da cor em função dos tratamentos.

Características da cor ¹	Tratamentos ²		EPM	Pr > F
	NE	EE		
L*	43,6	43,6	0,97	0,8962
a*	19,4	19,7	0,66	0,5024
b*	16,2	15,6	0,51	0,0313
C	25,3	25,1	0,77	0,6742
H	40,0	38,4	0,80	0,0030

¹L*: luminosidade (preto a branco); a*: intensidade de vermelho (verde a vermelho); b*: intensidade de amarelo (azul a amarelo); C: Croma; H: Hue. ²NE= não estimulado; EE= estimulado eletricamente $C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$; $H = \text{atan}(b^*/a^*) \times 180/\pi$

Fonte: própria autoria. ²EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.

5.7 Substâncias reativas ao ácido Tiobarbitúrico (TBARS)

Não foi observado efeito dos tratamentos sobre as concentrações de (Figura 16).

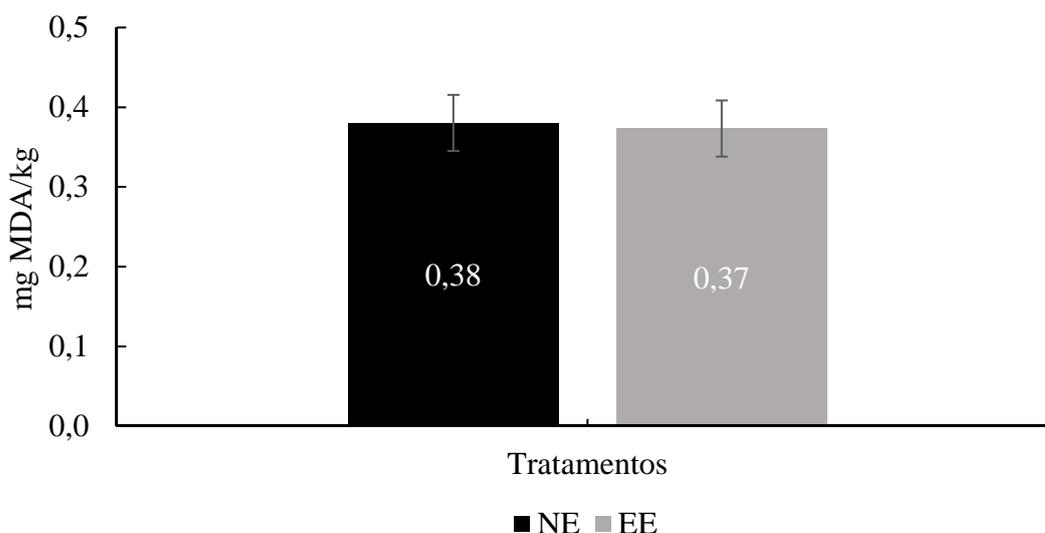


Figura - 15. Média dos valores de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) em função dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.

5.8 Evolução da maciez

As amostras NE não-maturadas (1d) foram todas classificadas como duras ($FC > 52,68$ N), enquanto as do tratamento EE 93% foram consideradas duras e 7% como intermediárias ($42,87 \leq FC \leq 52,68$; Figura 16). Nenhuma amostra foi considerada macia, em ambos os tratamentos.

Após 7 dias de maturação, 79% das amostras do tratamento NE continuavam classificadas como duras, 18% como intermediárias e 3% como macias ($FC < 42,87$), enquanto no tratamento EE, 26% das amostras foram classificadas como macias, 31% como intermediárias e 43% como duras.

Com 14 dias de maturação, o tratamento NE apresentou 43% de amostras duras, 39% intermediárias e apenas 25% macias, enquanto no tratamento EE, 56% foram consideradas macias, 39% intermediárias e apenas 6% duras.

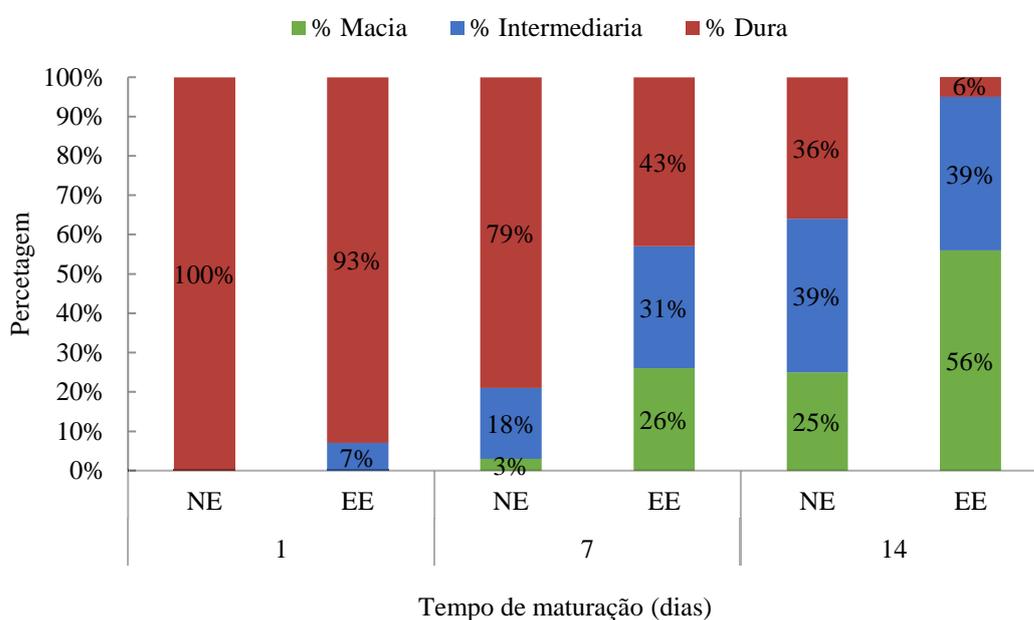


Figura - 16. Percentagem de amostras de acordo com a classe de maciez, em função do tempo de maturação e dos tratamentos. EE - carcaças estimuladas eletricamente; NE – carcaças não estimuladas.

6. DISCUSSÃO

A estimulação elétrica é uma tecnologia que tem sido utilizada há anos com o objetivo de melhorar as características de qualidade da carne. O uso dessa técnica faz com que os músculos se contraíam, acelerando a glicólise anaeróbica, ocasionando um declínio do pH logo após o estímulo, implicando na redução do tempo para que as carcaças atinjam o *rigor mortis*. Em função disso, a estimulação elétrica ajuda a prevenir o encurtamento das fibras musculares pelo frio, pois leva ao esgotamento rápido das reservas de ATP, o que impede a contração muscular e, conseqüentemente, o encurtamento das fibras musculares quando submetidas a baixas temperaturas. Essas alterações ocasionadas pela estimulação elétrica trazem efeitos positivos na qualidade da carne, principalmente melhorias na maciez e na cor.

Neste estudo, a aplicação da EE resultou em uma redução de 0,41 unidades de pH, imediatamente após sua aplicação, em comparação as carcaças NE. Essa diferença (menor pH nas carcaças EE) foi mantida até 24h após o abate, embora ambos os tratamentos tenham atingido um pH final (24h) considerado normal ($< 5,8$). Semelhante ao observado neste estudo, Balan et al. (2020) avaliaram o efeito da estimulação elétrica (90 V aplicado 40 min após sangria), combinado com diferentes temperaturas de pré-condicionamento das carcaças, observaram uma redução do pH de 0,43 unidades imediatamente após estímulo, quando comparado com as carcaças NE.

O pH menor nas carcaças EE demonstra que a estimulação teve eficácia possivelmente devido a glicólise acelerada e ao esgotamento rápido do ATP, logrando obter essa queda mais marcante, semelhante aos resultados reportados na literatura, como o realizado por Ji et al. (2021) em carcaças de bovinos mestiços chineses com estímulo de 300 V (45 min post mortem), os quais observaram uma redução do pH das carcaças EE em comparação às NE. No entanto, segundo os mesmos autores a diferença entre os tratamentos foi observada somente até 12h após a aplicação da EE, diferente desse estudo onde as diferenças entre os tratamentos persistiram até 24h pós-abate.

Por outro lado, Mckenna, Maddock e Savell, (2003) aplicaram um estímulo elétrico de 500 V em carcaças de novilhos comerciais de texas e observaram menores pH nas carcaças EE apenas nas 3 primeiras horas *postmortem*, sendo que após 6 e 24 horas não houve diferença entre os tratamentos. Segundo Rosenvold et al. (2008) a estimulação elétrica afeta o tempo para atingir o *rigor mortis*, que, segundo os autores, é alcançado quando as carcaças atingem um pH de 5,5 a 5,8 (HANNULA; PUOLANNE, 2004). Neste estudo, as carcaças EE alcançaram um

valor de pH de 5,6 durante as 6 primeiras horas *postmortem*, enquanto nas NE esse valor só foi atingido 24h *postmortem*.

O efeito da estimulação elétrica na temperatura das carcaças tem apresentado resultados variados. Apesar de relatos de aumento da temperatura devido ao estímulo elétrico (KOH et al., 1987), alguns estudos (JEREMIAH; MARTIN; MURRAY, 1985; LI et al., 2006) não encontraram efeito da estimulação elétrica na temperatura.

Neste estudo, a temperatura das carcaças EE foi mais alta do que das NE, desde a primeira até 9h *postmortem*, sendo que depois desse período não houve diferença entre os tratamentos. O aumento na temperatura das carcaças EE pode ser atribuído ao fato de o estímulo elétrico acelerar a glicólise, gerando calor e elevando assim a temperatura das carcaças. Resultados semelhantes foram relatados por Stolowski et al (2006), onde carcaças de novilhos cruzados Brahman x Angus, estimuladas com 500 V causaram um aumento da temperatura em seis diferentes músculos, sendo que no *Longissimus dorsi* observaram temperaturas mais altas após 1, 3, 6, 9 e 21h nas carcaças estimuladas eletricamente em comparação às NE. Segundo os autores, foi devido ao aumento típico da taxa de glicólise. Entretanto, Jeremiah et al. (1985) avaliaram o efeito da estimulação elétrica de 550 V em carcaças de diferentes raças e relataram que o estímulo não teve efeito na temperatura *postmortem*, pois não foram observadas diferenças entre as carcaças estimuladas e não estimuladas em qualquer um dos tempos (2, 4 e 6 h).

A interação entre o pH e a temperatura no músculo durante o desenvolvimento do *rigor mortis* tem um papel importante na qualidade da carne. Jacob e Hopkins (2014) afirmaram que o pH do músculo depende, até certo ponto, da temperatura durante o período *postmortem*, devido ao efeito fundamental que a temperatura tem na velocidade das reações bioquímicas. Esses dois fatores *postmortem* são provavelmente os mais influentes na qualidade da carne, em termos de maciez, cor e capacidade de retenção de água (MANCINI; HUNT, 2005; THOMPSON et al., 2006). O declínio acelerado do pH, resultado da glicólise acelerada (SIMMONS et al., 2008), quando a temperatura do músculo ainda é alta podem ocasionar desnaturação das proteínas musculares, particularmente da μ -calpaína (KOOHMARAIE, 1996; KIM et al., 2014). Jacob e Hopkins (2014) afirmam que essas condições de pH muito baixo e alta temperatura podem ser proporcionadas também pela estimulação elétrica e, em algumas ocasiões, pode resultar em características de qualidade anormal típica da carne conhecida como pálida, mole e exsudativa (PSE).

O Meat Standards Australia (MSA) estabeleceu a janela de pH/temperatura, que descreve a relação entre essas variáveis durante o resfriamento, de $> 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ pH=6 $< 35\text{ }^{\circ}\text{C}$

(THOMPSON, 2002; HOPKINS et al., 2014; WARNER et al., 2014), baseada nos resultados de Locker e Hagyard (1963), que mostraram que o encurtamento miofibrilar ocorria quando o músculo pré-rigor era mantido em temperaturas baixas ou altas. Em baixas temperaturas ocorre o encurtamento pelo frio (*cold shortening*), quando o pH > 6 e a temperatura < 12°C, enquanto em altas temperaturas ocorre encurtamento pelo calor (*heat shortening*) quando o pH < 6 e a temperatura > 35° C (THOMPSON, 2002; AMPC, 2015). Segundo Hertog-Meischke et al. (1997) carcaças EE com valores de pH <6,0 e com temperaturas >30 °C, resultam em menor capacidade de retenção de água, e sugerem que isso pode ser devido à desnaturação das proteínas (miosina). Isto foi confirmado por Warner et al. (2014) os quais relataram que algumas fábricas de processamento de carne bovina na Austrália e no Reino Unido reportaram carcaças com baixos valores do pH (<6,0) em combinação de temperaturas altas (35-40°C), causando exaustação precoce da atividade proteolítica e aumento da perda por gotejamento, tendo condições semelhantes a carnes PSE em carcaças de suínos.

Neste estudo a maioria dos valores se encontram dentro da janela pH/temperatura recomendada pelo MSA, evitando o risco de ocorrer encurtamento pelo frio ou pelo calor. Entretanto, após 1h do estímulo elétrico, o pH estava em 5,9 com uma temperatura de 34,4 °C, um pouco mais abaixo do recomendado pela MSA, o que pode ser atribuído ao fato de que algumas carcaças apresentaram maior percentagem de gordura, fazendo com que a temperatura tivesse uma queda mais lenta. Porém, não foi observado nenhum efeito do encurtamento pelo calor nas características de qualidade da carne, principalmente na maciez.

Hwang et al. (2004) acrescentaram que condições de altas temperaturas de *rigor mortis*, podem resultar na desnaturação de proteínas, maiores perdas por cozimento e sugerem que o encurtamento do sarcômero também pode contribuir para esse efeito de perdas por cocção. Isso poderia explicar a maior perda por cocção no tratamento EE observada neste estudo, em todos os tempos *postmortem*, possivelmente devido a desnaturação das proteínas. Diferente do observado neste estudo, McKenna et al. (2003), que não observaram diferenças nas perdas por cocção (em 3 dias de maturação) usando um estímulo de 500V em carcaças bovinas comerciais do Texas. Da mesma forma, Balan et al. (2019) não observaram diferenças nas perdas por cocção (em 2 e 14 dias de maturação) em amostras de carcaças de toros holandeses, estimuladas com 90 V.

Semelhante ao observado neste estudo, onde não foi observado efeito da estimulação elétrica sobre o comprimento de sarcômero, efeito atribuído a que ambos os tratamentos finalizam com um pH ideal (<5,8). Kim et al. (2012) e Balan et al. (2019) também não encontraram diferença entre as carcaças EE e NE.

Segundo Swatland (2004) a desnaturação das proteínas pode aumentar a quantidade da luz refletida da superfície, resultando em uma carne aparentemente mais pálida. Li et al. (2011) afirmam que a cor mais clara e vermelha é devida a redução da atividade mitocondrial, que reduz a taxa de consumo de oxigênio; também segundo os autores esse efeito ocorre no início do período *postmortem*, mas pode persistir durante a exposição no varejo. Neste estudo a carne das carcaças EE e maturadas por 1 e 7 dias apresentaram cores mais claras (maiores valores de L^*) em comparação as carnes das carcaças NE. Entretanto, após 14 dias de maturação essa diferença não foi mantida. A maior luminosidade das carcaças EE nos primeiros dias de maturação pode ser explicada devido ao enfraquecimento ou até mesmo ruptura das fibras causado pelo estímulo, fazendo com que a luz penetre mais e seja mais refletida, sendo que ao longo do tempo ocorre proteólise fazendo com que os valores de L^* em ambos os tratamentos sejam similares. Os valores de a^* e b^* não diferiram entre os grupos em nenhum dos tempos de maturação, esses resultados podem ser devido a capacidade de retenção de água em ambos os tratamentos tenha sido a mesma. Esses resultados diferem dos achados por Li et al. (2011), com estímulo de 80 V em carcaças de bovinos suecos, observaram valores mais elevados de L^* a^* e b^* nas carnes de carcaças EE. Por outro lado, nesse mesmo estudo, os valores de L^* e a^* diferiram apenas no primeiro dia de maturação, sendo que após esse período somente o valor de L^* manteve-se diferente até o dia 3 de maturação. De acordo com os autores a EE produziu uma cor mais vermelha brilhante, resultante da maior capacidade de oxigenação da mioglobina e que esse efeito foi atenuado pela maturação subsequente. Um outro estudo realizado por Nazli et al. (2010) com estímulo de 500 a 800 V em carcaças bovinas, as carnes das carcaças EE apresentaram uma cor mais brilhante, principalmente mais vermelha (a^*) no segundo e sétimo dia de maturação.

A cor é um dos atributos mais importantes da carne, pelo qual o consumidor toma a decisão da compra, a cor desejável procurada no varejo é vermelha brilhante, é por isso que manter essa condição da cor na carne no varejo é fundamental. Sammel et al. (2002) acrescentam que a carne no varejo apresenta uma cor menos estável, devido a redução da atividade da metamioglobina redutase e o aumento da produção de metamioglobina. Neste estudo, não foi observado efeito dos tratamentos nos valores de L^* e a^* no teste de vida útil da carne; entretanto, houve um aumento nos valores de b^* e H, implicando uma carne de cor mais amarelada e com maior intensidade nas carcaças NE em relação a EE.

Não foram encontrados muitos estudos que avaliaram o efeito da estimulação elétrica sobre a vida útil de carnes bovinas. Zhang et al. (2019) com estímulo de 300 V em carcaças de bovinos mestiços chineses avaliaram a cor com exibição no varejo durante 0, 7 e 14 dias, de

carcaças estimuladas e observaram um aumento nos valores de a^* , b^* e na saturação (Croma) aos dias 0 e 7 de exposição, na carne de carcaças EE. Porém, após 14 dias não observaram diferença entre os tratamentos. Em estudo com cordeiros, Rosenvold e Wiklund (2011) avaliaram o efeito da estimulação elétrica (80 V) em carnes em exibição no varejo durante 3, 6, 7 e 8 dias, mas não observaram efeito da estimulação elétrica para os valores de L^* , a^* e b^* .

Ganhão, Morcuende e Estévez (2010) afirmam que a oxidação lipídica produz hidroperóxidos os quais podem ser decompostos em outros produtos como aldeídos, cetonas e outros compostos carbonílicos que estão relacionados à ocorrência de ranço nas amostras. Neste estudo o processo de oxidação lipídica, avaliada pelos valores de TBARS, foram similares em ambos os tratamentos. Resultados semelhantes foram relatados por Ji et al. (2021), onde os valores de TBARS não diferiram entre amostras de carcaças EE (300 V) e NE.

Outro atributo importante na qualidade da carne é a maciez, pois é a principal preocupação entre os consumidores da carne bovina, sendo o fator mais crítico para determinar a satisfação ao consumo. Apesar da estimulação elétrica influenciar outras características da qualidade da carne, um dos principais objetivos é antecipar a maciez da carne (SIMMONS et al., 2008).

Existem algumas teorias de como a estimulação elétrica melhora a maciez da carne, sendo que alguns autores atribuem esse efeito à prevenção do encurtamento pelo frio (CROSS, 1979; BOUTON et al., 1980; DEVINE et al., 2014), enquanto outros acrescentam que a maciez é melhorada devido a interação entre o declínio mais rápido do pH e a temperatura (SIMMONS et al., 2008). Hwang et al. (2003) relatam que a estimulação elétrica pode ser ideal para ativar as enzimas endógenas da carne que estão envolvidas na melhora da maciez durante a maturação.

Neste estudo, a EE diminuiu a FC em todos os tempos de maturação, em comparação com as NE, com reduções médias de 27%, 23% e 20% para as amostras maturadas por 1, 7 e 14 dias, respectivamente. Esses resultados de menor FC das carcaças EE são devido a um efeito proteolítico maior e/ou uma quebra mecânica da estrutura física que resultou em amaciamento. Resultados semelhantes foram descritos por Ji et al. (2021) com uma estimulação de 300 V em carcaças de gado mestiço chinês, os quais observaram uma diminuição na FC até as 16 semanas de maturação. Além disso, os mesmos autores observaram que as amostras EE atingiram valores de força de cisalhamento abaixo de 54 N após 8 semanas, atingindo o nível aceitável para os consumidores chineses, que segundo Lian et al. (2016), seria de valores menores que 55,4 N. Resultados similares foram obtidos neste estudo, apresentado média dos valores abaixo de 51 N após 7 dias de maturação.

Os mesmos autores (Ji et al., 2021) também avaliaram a associação entre FC e maciez sensorial para o mercado chinês, sugerindo valores de FC > 55,43 N percebidos como “duros”, enquanto FC < 41,4 N, foram percebidos como “macios”. Um outro estudo realizado por Jiang, Wang e Ma (2011), comparando diferentes sistemas de estimulação elétrica encontraram que a menor força de cisalhamento se teve com um estímulo de 80 V aos 7 dias de maturação, a FC diminuiu 23,03% quando comparada a carne de carcaças NE.

A classificação da carne em classes de maciez utilizada neste estudo foi realizada com base nos dados de Destefanis et al. (2008), como segue: macia (FC < 42,87 N); intermediária ($42,87 \leq FC \leq 52,68$) ou dura (FC > 52,68). Nas amostras não maturadas (1d), a totalidade das amostras do tratamento NE foi classificada como dura (FC > 52,68), enquanto as amostras EE apresentaram 93% de carnes dura e 7% na classe intermediária, sugerindo um efeito da EE já no início do período de maturação. Com o aumento do tempo de maturação acentuou-se a diferença entre os tratamentos, sendo que após 7 dias, as amostras NE apresentaram apenas 3% de amostras macias, comparado a 26% do tratamento EE. Aos 14 dias de maturação, 56% das amostras EE foram classificadas como macias e apenas 6% como duras, enquanto no grupo NE, 26% foram consideradas macias e 36% ainda estavam classificadas como duras.

Não foram encontrados na literatura informações sobre o efeito da EE nas categorias de maciez. No entanto, Mizuno (2020) avaliou o efeito do tempo de maturação (1 a 28 dias) em amostras de bovinos machos não-castrados, da raça Nelore e relatou que após 15 dias de maturação 69% das amostras foram classificadas como macias, 12% como duras e 19% como intermediárias, utilizando o mesmo critério descrito por Destefanis et al. (2008), ou seja, numericamente maior do que os 25% observados neste estudo, para amostras maturadas por 14 dias e não-estimuladas.

Os resultados obtidos neste estudo apontam que a estimulação elétrica de média voltagem contribui para aumentar a maciez da carne e esse efeito ocorre, em todos os tempos de maturação, sendo que aparentemente, quanto maior o tempo de maturação, maior o efeito da EE no amaciamento da carne. Além do potencial de diminuir a força de cisalhamento, a estimulação elétrica pode ser uma opção para reduzir o tempo de maturação, sem prejuízos para a maciez.

7. CONCLUSÕES

A estimulação elétrica de média voltagem acelera a redução do pH das carcaças, contribuindo para o aumento da maciez e as características de cor da carne fresca. Adicionalmente, a estimulação elétrica acelera o processo de amaciamento da carne maturada, contribuindo para a redução do tempo de maturação, sem causar prejuízos para a qualidade, especialmente na maciez.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERLE, E. D., REEVES, E. S., JUDGE, M. D., HUNSLEY, R. E., PERRY, T. W. Palatability and muscle characteristics of cattle with controlled weight gain: time on a high energy diet. **Journal of Animal Science**. v. 52, n. 4, p. 757-763, 1981.

ABERLE, E.D., FORREST, J. C., GERRARD, D. E., MILLS, E. W., HEDRICK, H. B., JUDGE, M. D., ROBERT A. MERKEL, R. A. Principles of Meat Science. 4. ed. Iowa: Kendall/Hunt **Publishing Company**. p.354, 2001.

ADEYEMI KD, SAZILI AQ. Efficacy of carcass electrical stimulation in meat quality enhancement: a review. **Asian-Australas Journal Animal Sciences**. v. 27, n. 3, p. 447-456, 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.

AMPC, Australian Meat Processor Corporation. Fact sheet – What is electrical stimulation? Program: food safety, product integrity and meat science. 2015.

AMSA. **Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat**. 2. ed. Champaign, Illinois: American Meat Science Association, 2015.

ANDERSON, M.J., LONERGAN, S.M., FEDLER, C.A., PRUSA, K.J., BINNING, J.M., HUFF-LONERGAN, E. Profile of biochemical traits influencing tenderness of muscles from the beef round. **Meat Science**. v. 91, n. 3, p. 247 – 254, 2012.

ASGHAR, A.; HENRICKSON, R. L.; KASTNER, C. L. Post-mortem stimulation of carcasses: Effects on biochemistry, biophysics, microbiology, and quality of meat. **C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v. 18, n.1, p. 1-58, 1982.

BALAN, P.; FAROUK, M.; STURAT, A. D.; KEMP, R.; CRAIGE, C.; KIM, Y. H. 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 (8) p. 1050-1059, 2019.

BALAN, P.; FAROUK, M.; STURAT, A.D.; KEMP, R.; CRAIGE, C.; KIM, Y.H.B. Effects of additional electrical stimulation and pre-rigor conditioning temperature on the ageing potential of hot-boned bovine muscles. **Animal Science Journal**. v. 33, n.10, p. 1642 – 1655, 2020.

BENDALL, J. R. Electrical stimulation of rabbit and lamb carcasses. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 27, n. 9, p. 819–826, 1976.

BENDALL, J.R. The electrical stimulation of carcasses of meat animals. In: Lawrie RA, editor. **Developments in Meat Science**. Applied Science; p. 37-59, 1980.

BOLUMAR, T., ENNEKING, M., TOEPFL, S., HEINZ, V. New developments in shockwave technology intended for meat tenderization: Opportunities and challenges. A review **Meat Science**. v. 95, n. 4, 931 - 939, 2013.

BOUTON, P. E.; FORD A. L.; HARRIS, P. V.; SHAW, F.D. Electrical stimulation of beef sides. **Meat Science**. v. 4, n. 2. p. 145–155, 1980.

BRADEN, KIRK W. Converting muscle to meat: the physiology of rigor. **The science of meat quality**. p. 79-97, 2013.

CARSE, W. A. Meat quality and the acceleration of post-mortem glycolysis by electrical stimulation. **International Journal of Food Science & Technology**. v. 8, n. 2, p. 163-166, 1973.

CHANNON, H. A., BAUD, S. R., WALKER, P. J. Modified atmosphere packaging improves retail display life of lambcuts with variation between loin and knuckle. **Australian Journal of Experimental Agriculture**. v. 45, n. 5 p. 585–592, 2005.

CHRYSTALL, B. B.; DEVINE. C. E. Electrical Stimulation: Its Early Development in New Zealand. **Advances in meat research**, p. 73-119, 1985.

CHRYSTALL, B.B.; DEVINE, C.E.; LESTER D.C. Studies in electrical stimulation: Post-mortem decline in nervous response in lambs. **Meat Science**. v. 4, n. 1, p. 69-76, 1980.

CHUNBAO, LI., JING, LI., XIN, LI., MARCHEN, H., KERSTIN, L. 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.

CIE. **Technical report: colorimetry**. 3. ed. Viena: CIE Central Bureau, 1986.

CROSS, H. R. Effects of electrical stimulation on meat tissue and muscle properties-a review. **Journal of Food Science**. v. 44, n. 2, 509–514, 1979.

CROSS, H. R.; WEST, R. L.; DUTSON, T. R. Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. **Meat Science**. v. 5, n. 4, p. 261–266, 1981.

CROUSE, J. D., CUNDIFF, L.V., KOCH, R.M., KOOHMARAIE, M., SEIDEMAN, V. Comparisons of *Bos indicus* and *Bos taurus* inheritance for carcass beef characteristics and meat palatability. **Journal of Animal Science**, v. 67, n. 10, p. 2661-2668, 1989.

CROWDER, M. J.; HAND, J. Analysis of repeated measures, **London: Chapman and Hall**. 1990.

DESTEFANIS, G., BRUGIAPAGLIA, A., BARGE, M. T., DAL MOLIN, E. Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner–Bratzler shear force. **Meat science**, v. 78, n. 3, 153-156, 2008.

DEVINE, C. E.; HOPKINS, D. L.; HWANG, I. H.; FERGUSON, D. M.; RICHARDS, I. Electrical Stimulation. *Meat Sciences*. v. 2, p. 486-496, 2014.

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. v. 1, cap. 4, p. 63-89, 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.

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.

FERNANDES, A.R., SAMPAIO, A. M., HENRIQUE, W., OLIVEIRA, E. A., TULLIO, R. R., PERECIN, D. Características da carcaça e da carne de bovino sob diferentes dietas em confinamento. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, V. 60, n. 1 p. 139- 147, 2008.

FLORES, M., TOLDRA, F. Chapter 13 - The Eating Quality of Meat: III—Flavor. **Lawrie's Meat Science (Eighth Edition)**. Woodhead Publishing. p. 383 – 417, 2017.

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.

GANHÃO, R.; MORCUENDE, D.; ESTÉVEZ, M. Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: Influence on colour and texture deterioration during chill storage. *Meat Science*, v. 85, n. 3, p. 402-409, 2010.

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.

HANNULA, T.; PUOLANNE, E. The effect of cooling rate on beef tenderness: The significance of pH at 7 °C. *Meat Science*. v. 67, n. 3, p, 403-408, 2004.

HENCKEL, P.; OKSBJERG, N.; ERLANDSEN, E.; BARTON-GADE, P.; BEJERHOLM, C. Histo- and biochemical characteristics of the longissimus dorsi muscle in pigs and their relationships to performance and meat quality. **Meat Science**. v. 47, n.3-4, p. 311-321, 1997.

HERTOG-MEISCHKE, M.J.A.; SMULDERS, F.J.M.; VAN LOGTESTIJN, J. G.; VAN KNAPEN, F. The effect of electrical stimulation on the water-holding, capacity and protein denaturation of two bovine muscles. **Journal of Animal Science**. v. 75, n. 1, p. 118–124, 1997.

HOCQUETTE J. F., LEHNERT, S., BARENDSE, W., CASSAR-MALEK, I., PICARD, B. Recent advances in cattle functional genomics and their application to beef quality. **Cambridge University Press Animal**, v.1, p 159-173, 2007.

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.

HOPE-JONES, M.; STRYDOM, P.E.; FRYLINCK, L.; WEBB, E.C. The efficiency of electrical stimulation to counteract the negative effects of β -agonists on meat tenderness of feedlot cattle. **Meat Science**. v. 86, n. 3, p. 699-705, 2010.

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.

HUI, Y. H.; NIP, W.; ROGERS, R. **Meat science and applications**. (1st ed.) p. 329 a 347, 2001.

HUNT, M. C.; KING, A. J. AMSA Meat color measurement guidelines. **American MeatScience Association**. 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 tenderness. **Meat Science**. v. 65, n. 2, p. 677-91, 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, n. 3, 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, n. 2, p. 135-144, 2001.

IBRAHIM, R.M., GOLL DE, MARCHELLO, J.A., DUFF, G.C., THOMPSON, V.F., MARES, S.W., AHMAD, H.A. Effect of two dietary concentrate levels on tenderness, calpain and calpastatin activities, and carcass merit in Waguli and Brahman steers. **Journal of Animal Science**, v.86, p.1426-1433, 2008.

JACOB, R.H.; HOPKINS, D.L. Techniques to reduce the temperature of beef muscle early in the post mortem period – a review. **Animal Production Science**. v. 54, n. 4, p. 482-493, 2014.

JEONG, J. Y., HUR, S. J., YANG, H. S.; MOON, S. H.; HWANG, Y. H., PARK, G. B., JOO, S. T. Discoloration characteristics of 3 major muscles from cattle during cold storage. **Journal of Food Science**. v. 74, n. p. C1–C5, 2009.

JEREMIAH, L.E.; MARTIN, A.H.; MURRAY, A.C. The effects of various postmortem treatments on certain physical and sensory properties of three different bovine muscles. **Meat Science**. v. 12, p. 155–176, 1985.

JI, X.; LUO, X.; ZHU, L.; MAO, Y.; LU, X.; CHEN, X.; HOPKINS, D.L.; ZHANG, Y. Effect of medium voltage electrical stimulation and prior ageing on beef shear force during superchilled storage. **Meat Science**. v. 172, p.108320, 2021.

JIANG, Y.-H. WANG, S.-C. MA, M. -H. Effects of different stimulation on tenderness of beef carcasses. **International Conference on New Technology of Agricultural**, p. 827-830, 2011.

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

KIM YHB, 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, p. 62–68, 2012.

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, p. 375-395, 2014.

KOH, K.C.; BIDNER, T.D.; MCMILLIN, K.W.; HILL, G.M. Effects of electrical stimulation and temperature on beef quality and tenderness. **Meat Science**. v. 21, n. 3, p. 189-201, 1987.

KOOHMARAIE, M. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. **Meat Science**, v. 43(1) p. 193–201, 1996.

KOOHMARAIE, M. Role of the neutral proteinases in postmortem muscle protein degradation and meat tenderness. In: **Proc. Recip. Meat Conf.** p. 63, 1992.

KOOHMARAIE, M., KENT, M. P., SHACKELFORD, S. D., VEISETH, E., WHEELER, T. L. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship?. **Meat Science**. v. 62, n. 3, p. 345 – 352, 2002.

LAWRIE, R. A. Lawrie's meat science. 7.ed. **Cambridge**: CRC Press LLC, Chapter. 7, p. 194-200, 2005.

LAWRIE, R. A. Lawrie's meat science. 7.ed. **Cambridge**: CRC Press LLC, p. 194-200, 2006.

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.; CHEN, Y.J.; XU, X.L.; HUANG, M.; HU, T.J.; ZHOU, G.H. Effects of low-voltage electrical stimulation and rapid chilling on meat quality characteristics of Chinese Yellow crossbred bulls. *Meat Science*. v. 72, n. 1, p. 9-17, 2006.

LIANG, R.R.; ZHU, H.; MAO, Y.W.; ZHANG, Y.M.; ZHU, L.X.; CORNFORTH, D.; WANG, R.H.; MENG, X.Y.; LUO, X. Tenderness and sensory attributes of the longissimus lumborum muscles with different quality grades from Chinese fattened yellow crossbred steers. **Meat Science**. v. 112, p. 52-57, 2016.

LOCKER, R.H.; HAGYARD, C. J. A cold shortening effect in beef muscles. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 14, n. 11, p. 787-793, 1963.

LOMIWES, D., FAROUK, M.M., WU, G., YOUNG, O.A. The development of meat tenderness is likely to be compartmentalized by ultimate Ph. *Meat Science*. v. 96, n. 1, p. 646 – 651, 2014.

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

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. Cap.5.2017.

MCKENNA, D.R.; MADDOCK, D.; SAVELL, J.W. Water-holding and color characteristics of beef from electrically stimulated carcasses. **Journal of Muscle Foods**. v. 14, n. 1, p. 33-49, 2003.

MEAT TECHNOLOGY UPDATE. Producing quality sheep meat. Food Science Australia Meat Technology Update, 6/07, December 2007.

MENNECKE, B.E., TOWNSEND, A. M., HAYES, D. J., LONERGAN, S. M. A study of the factors that influence consumer attitudes toward beef products using the conjoint market analysis tool. **Journal of Animal Science**. v. 85, n. 10, p. 2639–2659, 2007.

MIZUNO, Yuri. **Efeito do tempo de maturação sobre a qualidade da carne de bovinos Nelore não-castrados**. 2020. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2021. doi:10.11606/D.74.2021.tde-03052021-145811.

MORGAN, J.B, WHEELER, T.L., KOOHMARAIE, M., SAVELL, J.W., CROUSE, J.D. Meat tenderness and the calpain proteolytic system in longissimus muscle of young bulls and steers. **Journal of Animal Science**. v. 71, n. 6, p.1471–1476, 1993.

MOTTRAM, D. S. Flavour formation in meat and meat products: a review. **Food Chemistry**. v. 62, n. 4, p 415 -424, 1998.

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, 2010.

NORMAN, G. A., DE FELICIO, P. E. Effects of breed and nutrition on the productive traits of Zebu, Charolais and crossbreed beef cattle in south-east Brazil—Part 1: Body and gross carcass composition. **Meat Science**. v. 5, n. 6, p. 425-438, 1981.

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**. v 81, n. 1 p. 188–195, 2009.

PRANDL O, FISCHER A, SCHMIDHOFER T, SINELL H, ESCOBAR JE. **Tecnologia e higiene de la carne**. Editorial Acribia. p.124-126, 1994.

RENERRE, M. Oxidative processes and myoglobin. **Antioxidants in muscle foods**. v. 2000, p. 113-133, 2000.

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.

ROBINS, S.P., SHIMOKOMAKI, M., BAILEY, J. M. The chemistry of the collagen cross-links. Age-related changes in the reducible components of intact bovine collagen fibres. **Biochemistry Journal**. V. 131 773-780, 1973

ROSENVOLD K, WIKLUND E. Retail colour display life of chilled lamb as affected by processing conditions and storage temperature. **Meat Science** v.88 (3), p. 354-360, 2011.

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, n. 2, p. 299-306, 2008.

SAMMEL L.M.; HUNT M.C.; KROPF D.H.; HACHMEISTER K.A.; KASTNER C.L.; JOHNSON D.E. Influence of chemical characteristics of beef inside and outside semimembranosus on color traits. **Journal of Food Science**. v. 67, p.1323–133, 2002.

SAVELL J, MUELLER S, BAIRD B. The chilling of carcasses. **Meat Science**. v. 70, n. 3, p. 449-459, 2005.

SAVELL, J. W. Industrial Applications of Electrical Stimulation. **Advances in meat research**, p. 219-236, 1985.

SAVELL, J. W.; SMITH, G. C.; DUTSON, T. R.; CARPENTER, Z. L.; SUTER, D.A. Effect of electrical stimulation on palatability of beef, lamb and goat meat. **Journal of Food Science**, v. 42, n. 3, p. 702-706, 1977.

SAVELL, J.W., CROSS, H.R. The role of fat in the palatability of beef, pork, and lamb. In 'Designing foods: Animal product options in the marketplace'. (Eds NRC Committee on Technological Options to Improve the Nutritional Attributes of Animal Products) **National Academy of Sciences** p. 345–355. 1988.

SCHEFFLER, T. L.; GERRARD, D. E. Mechanisms controlling pork quality development: The biochemistry controlling post-mortem energy metabolism. **Meat Science**. v. 77, n. 1 p. 7-16, 2007.

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.

SMITH, G. C. Effects of electrical stimulation on meat quality, color, grade, heat ring, and palatability. **Advances in meat research**, p. 121-158, 1985.

SMITH, G. C., BELK, K.E., SOFOS, J.N., TATUM, J.D., WILLIAMS, S.N. Economic implications of improved color stability in beef. (Eds.) Antioxidants in muscle foods: Nutritional strategies to improve quality, Wiley Interscience, p. 397-426, 2000.

SMITH, G. C., CARPENTER, Z. L. Eating quality of animal products and their fat content. Proceedings of the Symposium on Changing the Fat Content and Composition of Animal Products. **National Academy of Sciences**. 1974.

SORENSEN, G.; JORGENSEN, S. T. A critical examination of some experimental variables in the 2-thiobarbituric acid (TBA) test for lipid oxidation in meat products. **Z Lebensm Unters Forsch**. v. 202, n. 3, p. 205–210, 1996.

STOLOWSKI, G.D.; BAIRD, B.E.; MILLER, R.K.; SAVELL, J.W.; SAMS, A.R.; TAYLOR, J.F.; SANDERS, J.O.; SMITH, S.B. Factors influencing the variation in tenderness of seven major beef muscles from three Angus and Brahman breed crosses. **Meat Science**. v 73 (3) p. 475-483, 2006.

SWATLAND H.J. Progress in understanding the paleness of meat with a low pH. **South African Journal of Animal Science**. v. 34, p. 1–7, 2004.

TAYLOR, D.G.; CORNELL, J.G. The effects of electrical stimulation and ageing on beef tenderness. **Meat Science**. v. 12, n. 4. p. 243-251, 1985.

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

THOMPSON, J. Managing meat tenderness. **Meat Science**. v. 62 n. 3, p. 295-308, 2002.

TOOHEY, E.S.; HOPKINS, D.L.; STANLEY, D.F. NIELSEN, S.G. The impact of new generation pre-dressing medium-voltage electrical stimulation on tenderness and colour stability in lamb meat. **Meat Science**. v. 79, n. 4, p. 683-691, 2008.

UYTTERHAEGEN, L.; CLAEYS, E.; DEMEYER, D. The effect of electrical stimulation on beef tenderness, protease activity and myofibrillar protein fragmentation. **Biochimie**. v. 74, n. 3, p. 275-281, 1992.

VATANSEVER, L.; KURT, E.; ENSER, M.; NUTE, G. R.; SCOLLAN, N. D.; WOOD, J. D.; RICHARDSON, R. I. Shelf life and eating quality of beef from cattle of different breeds given diets differing in n-3 polyunsaturated fatty acid composition. **Animal Science**. v. 71, p. 471–482, 2000.

VYNCKE, W. Evaluation of the direct thiobarbituric acid extraction method for determining oxidative rancidity in mackerel (*Scomber scombrus* L.). **Fette, Seifen, Anstrichmittel**. v. 77, n. 6, p. 239–240, 1975.

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, n. 4, p. 363-374, 2014.

WHIPPLE, G., KOOHMARAIE, M., DIKEMAN, M. E., CROUSE, J.D., HUNT, M.C., KLEMM, R.D. Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. **Journal of animal science**, v. 68, n. 9, p. 2716-2728, 1990

WINGER, R.J., HAGYARD, C.J. Juiciness — its importance and some contributing factors. In: Pearson, A.M., Dutson, T.R. (eds) *Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products*. **Advances in Meat Research**, v. 9, p 94 – 124, 1994.

YOUNG O. A., HOPKINS D. L., PETHICK D. W. Critical control points for meat quality in the Australian sheep meat supply chain. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. v. 45, p. 593-601, 2005.

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.