



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

VANESSA PEREIRA MACEDO

QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DA CARNE
DE BOVINOS DE TRÊS DIFERENTES GRUPOS
ZOOTÉCNICOS

Salvador

2019

VANESSA PEREIRA MACEDO

**QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DA CARNE
DE BOVINOS DE TRÊS DIFERENTES GRUPOS
ZOOTÉCNICOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência de Alimentos, Faculdade de Farmácia,
Universidade Federal da Bahia, como requisito para a
obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Lopes Oliveira

Coorientador: Prof Dr Jarbas Miguel da Silva Junior

Salvador

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Macedo, Vanessa Pereira
Qualidade Físico-Química e Sensorial da Carne de
Bovinos de Três Diferentes Grupos Zootécnicos /
Vanessa Pereira Macedo. -- Salvador, 2019.
80 f. : il

Orientador: Ronaldo Lopes Oliveira.
Coorientador: Jarbas Miguel da Silva Junior.
Dissertação (Mestrado - Ciência de Alimentos) --
Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Farmácia,
2019.

1. Bovinos. 2. Longissimus. 3. Painel Sensorial.
4. Perfil Zootécnico. 5. Qualidade Físico-Química. I.
Oliveira, Ronaldo Lopes. II. da Silva Junior, Jarbas
Miguel. III. Título.

TERMO DE APROVAÇÃO

VANESSA PEREIRA MACEDO

**QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DA CARNE DE
BOVINOS DE TRÊS GRUPOS ZOOTÉCNICOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (nível Mestrado Acadêmico) da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência de Alimentos.

Aprovada em 18 de outubro de 2019.

BANCA EXAMINADORA



Dr. Ronaldo Lopes Oliveira
Universidade Federal da Bahia
Orientador



Drª. Analivia Martins Barbosa
Universidade Federal da Bahia



Dr. Thadeu Mariniello Silva
Universidade Federal da Bahia

AGRADECIMENTOS

Ao grandioso Deus que, mais uma vez, me concede a grande oportunidade de galgar mais um degrau nos caminhos do conhecimento, e a Jesus Cristo, nosso maior exemplo de vida.

À minha família, que, estando longe ou perto, me fornece o apoio afetuoso necessário para enfrentar os novos desafios e recomeçar. Um agradecimento mais do que especial à minha mãe Eunice Macedo, que sempre foi e sempre será minha grande heroína.

À Universidade Federal da Bahia, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, bem como à Faculdade de Farmácia e à Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, pelo suporte logístico e de pessoal, possibilitando a realização do presente trabalho de pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ronaldo Lopes Oliveira, pelos ensinamentos valiosos e todo o suporte e acolhimento oferecidos durante este período.

À Prof^ª Dr^ª Rebeca Dantas Xavier Ribeiro, coorientadora, por todo o apoio, colaboração e eficiente coordenação dos trabalhos conduzidos durante a realização do presente estudo.

À Prof^ª Dr^ª Janice Izabel Druzian, pelos saberes compartilhados na área de ciência de alimentos, essenciais para o meu crescimento profissional.

Ao Grupo de Estudos em Nutrição de Ruminantes (GENRU), pelo empenho e generosidade de seus participantes. Um agradecimento especial a Sergiane Araújo, Mateus Neto, Neiri Jean, Aline Rocha, Anny Graycy, Jaqueline Trajano, Gabriela Cambuí, Susana Gesteira, Caius Pellegrini, Tiago Rocha, Pedro Mazza, Daniela Pionorio, Larissa Queiroz, Fernanda Maria, Jarbas Miguel, Paulo Roberto, Thiago Nascimento e demais estudantes de graduação e pós-graduação a participarem deste estudo.

Aos professores Dr. Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro e Dr^ª Carolina Oliveira de Souza, pelos conhecimentos transmitidos para a realização da análise de ácidos graxos, bem como a Paulo Lemos, Jaqueline Reis e Denilson Assis, por todo suporte e apoio oferecido.

Ao professor Dr. Thadeu Mariniello, pela valiosa cooperação com este trabalho de pesquisa.

Ao Professor Dr. Mauricio Costa Alves da Silva, pela sua imprescindível colaboração e estímulo à realização do Mestrado em Ciência de Alimentos.

À turma de 2017.1, pelos momentos de companheirismo, solidariedade e união.

Aos srs. Ricardo e Nadja, estimados colegas de convivência diária na EMEVZ, e demais colaboradores, responsáveis pela organização e limpeza dos nossos ambientes de trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo suporte financeiro.

MACEDO, Vanessa Pereira. **QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DA CARNE DE BOVINOS DE TRÊS DIFERENTES GRUPOS ZOOTÉCNICOS**. 2019. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Farmácia. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.

RESUMO

A carne bovina é considerada uma grande fonte de proteínas de alto valor biológico, vitaminas do complexo B e importantes minerais. A avaliação dos vários atributos do tecido muscular envolve diversos aspectos, sendo o processo de transformação do músculo em carne dependente de uma série de fatores que, juntos, vão exercer influência na sua qualidade final. O perfil genético do animal é um grande aspecto relacionado às características de carcaça, e o cruzamento entre bovinos de diferentes genótipos, como os zebuínos e os taurinos, pode melhorar os atributos de qualidade da carne, como a maciez. Objetivou-se avaliar as características físico-químicas e sensorial da carne de bovinos de diferentes grupos zootécnicos. Foram utilizados 18 bovinos, terminados a pasto, divididos em três grupos: Nellore (Nell), $\frac{1}{2}$ Nell \times $\frac{1}{2}$ Angus (NellAn) e $\frac{1}{4}$ Nell \times $\frac{1}{4}$ Angus \times $\frac{1}{2}$ Senepol (*Three crossbreed*). Após abate, processamento e estocagem das carcaças, foram retiradas amostras de *Longissimus lumborum* para realização de análises físico-químicas e sensoriais, a saber: pH, Capacidade de retenção de água, Cor, Força de Cisalhamento, Perdas por cocção, Proteína, Cinzas, Umidade, Lipídios, Colágeno, Atividade de água, Ácidos graxos e Análise sensorial. As análises estatísticas foram feitas utilizando-se ANOVA seguida de teste de Duncan, determinando-se as diferenças significativas e tendências ($P < 0.05$; $P < 0.10$). O *Three crossbreed* apresentou carne com melhores atributos físico-químicos de capacidade de retenção de água e de cor, demonstrando menor potencial em produzir cortes escuros. No que diz respeito à composição de ácidos graxos, os animais cruzados apresentaram, significativamente, menores proporções de ácidos graxos saturados. *Three crossbreed* apresentou valores menores dos AGS 12:0 e 14:0, reduzindo, assim, os índices de aterogenicidade e trombogenicidade, além de melhorar o índice hipocolesterolêmico. Além disso, obteve melhores escores de aceitação nos atributos sensoriais de maciez e suculência. O *Three crossbreed*, portanto, apresenta-se como melhor opção para aumentar a qualidade da carne, mostrando melhor desempenho nos atributos físico-químicos e sensoriais mais desejáveis, como capacidade de retenção de água, cor, maciez e suculência, fatores estes de grande importância tanto para produtores quanto para consumidores.

Palavras-chave: Bovinos; *Longissimus*; Painel sensorial; Perfil zootécnico; Qualidade físico-química.

ABSTRACT

Beef is considered a great source of high biologic valuable proteins, complex B vitamins and important minerals. The meat tissue traits evaluation involves a range of parameters, being muscle to meat conversion dependent on several factors, which, working together, have effect on ultimate meat quality. Animal genetic profile is an important aspect related to carcass traits, and the crossbreeding among steers from different genotypes, as zebu and taurine breeds, can improve meat quality traits, as tenderness. The aim of this study was to evaluate physicochemical and sensory traits of beef from different bovine genetic groups. Eighteen steers pasture finished were pooled into three groups: Nellore (Nell), $\frac{1}{2}$ Nell \times $\frac{1}{2}$ Angus (NellAn) and $\frac{1}{4}$ Nell \times $\frac{1}{4}$ Angus \times $\frac{1}{2}$ Senepol (Three crossbreed). After slaughtering, processing and carcass cooling, *Longissimus lumborum* cuts were collected and submitted to physicochemical and sensory analysis, as follows: pH, Water Holding Capacity, Color, Shear Force, Cooking loss, Protein, Ashes, Moisture, Fat, Collagen, Water activity, Fatty Acid Composition and Sensory evaluation. Statistic Analysis was performed by ANOVA, and least square means were compared by using Duncan's test, and thus determining significant differences and trends ($P < 0.05$; $P < 0.10$). Three crossbreed presented beef with better water holding capacity and color parameters, showing less trend to develop dark cutting meat. Regarding to fatty acid composition, crossbreds had significant lower SFA content. Three crossbreed had significant lower amounts of SFA 12:0 and 14:0, and thus lower atherogenicity and thrombogenicity indexes, also improving hypocholesterolemic index. Moreover, Three crossbreed was the best rated in juiciness and tenderness at sensory panel. Therefore, Three crossbreed is a better option than zebu and half-blood to increase meat production, demonstrating a trend in to improve physicochemical and sensory traits, and these factors are greatly important for meat producers and consumers.

Keywords: *Longissimus*; Physicochemical analysis; Sensory panel; Steers; Zootechnical profile

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Figura 1. A fibra muscular e seus constituintes.....	19
Figura 2. Estrutura miofibrilar e o complexo actina-troponinas-tropomiosina	20
Figura 3. Atuação do cálcio e do ATP no processo de contração muscular	21
Figura 4. Taurinos continentais: Raças Blonde D'Aquitaine (esquerda) e Charolês (direita)...	35
Figura 5. Taurinos britânicos: Raças Angus (esquerda) e Red Poll (direita).....	36
Figura 6. Zebuínos: Raças Nelore e Gir (da esquerda para a direita).....	37
Figura 7. Bovinos da raça Senepol.....	41

LISTA DE TABELAS

CHAPTER II

¼ NELLORE × ¼ ANGUS × ½ SENEPOL (*THREE CROSSBREED*) EXHIBITED IMPROVED PHYSICOCHEMICAL COMPOSITION, FATTY ACID PROFILE AND SENSORY ATTRIBUTES COMPARED TO THOSE OF THE NELLORE BREED AND NELLORE × ANGUS CROSSBREED

Table 1. Physicochemical composition of <i>Longissimus lumborum</i> from Nellore (Nell), ½ Nell × ½ Angus (NellAn) and ¼ Nell × ¼ Ang × ½ Sen (Three crossbreed).....	77
Table 2. Fatty acid composition from <i>Longissimus lumborum</i> of Nellore (Nell), ½ Nell × ½ Angus (NellAn) and ¼ Nell × ¼ Ang × ½ Sen (Three crossbreed).....	78
Table 3. Sum, ratios of fatty acid groups, enzymatic activity and health compounds found <i>Longissimus lumborum</i> of Nellore (Nell), ½ Nell × ½ Angus (NellAn) and ¼ Nell × ¼ Ang × ½ Sen (Three crossbreed).....	79
Table 4. <i>Longissimus lumborum</i> sensory evaluation results from Nellore (Nell), ½ Nell × ½ Angus (NellAn) and ¼ Nell × ¼ Ang × ½ Sen (Three crossbreed).....	80

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCB Senepol	Associação Brasileira de Criadores de Bovinos Senepol
ABIEC	Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne
ADP	Adenosina difosfato
AGMI	Ácidos graxos monoinsaturados
AGPI	Ácidos graxos poliinsaturados
AGS	Ácidos graxos saturados
AI	Atherogenicity index/índice de aterogenicidade
AL	Ácido linoléico
ALN	Ácido alfa linolênico
AMSA	American Meat Science Association
ANOVA	Analysis of variance
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
ATP	Adenosina trifosfato
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CIE	Commission International I'Eclairage
CL	Cooking loss
CLA	Conjugated linoleic acid/Ácido linoléico conjugado
CRA	Capacidade de retenção de água
DFD	Dark, firm and dry
DHA	Docosahexaenoic acid
DPA	Docosapentaenoic acid
EPA	Eicosapentaenoic acid
FA	Fatty acids
FAME	Fatty Acids Methyl Esters
FAPESB	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia
FIS	Federal Inspection Service
HDL	High density lipoproteins
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MUFA	Monounsaturated fatty acids
NIR	Near Infrared
PUFA	polyunsaturated fatty acids
SAS	Statistical Analysis System

SCD	Stearoyl coenzyme A desaturase
SEM	Standard error of the mean
SFA	Saturated fatty acids
TI	Thrombogenicity index/índice de trombogenicidade
UFA	Unsaturated fatty acids
WBSF	Warner-Bratzler Shear Force
WHC	Water Holding Capacity

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Percentual
n ^o	número
<i>L</i> *	Índice de luminosidade
<i>a</i> *	índice de vermelho
<i>b</i> *	Índice de amarelo
<i>C</i> *	Chroma
<i>S</i> *	Índice de saturação
12:0	ácido láurico
14:0	ácido mirístico
15:0	ácido pentadecanóico
16:0	ácido palmítico
17:0	ácido margárico
18:0	ácido esteárico
19:0	ácido nonadecanóico
<i>cis</i>	ligação <i>cis</i>
<i>trans</i>	ligação <i>trans</i>
14:1 <i>c</i> 9	ácido 9-tetradecenóico
15:1 <i>c</i> 10	ácido <i>cis</i> -10 pentadecenóico
16:1 <i>c</i> 9	ácido <i>cis</i> 9-hexadecenóico
18:1 <i>c</i> 9	ácido oléico
18:1 <i>t</i> 11	ácido vacênico
18:1 <i>c</i> 11	ácido <i>cis</i> -vacênico
ω -3/ <i>n</i> -3	ômega-3
ω -6/ <i>n</i> -6	ômega-6
18:2 <i>n</i> -6	ácido linoléico
α	alfa
18:3 <i>n</i> -3	ácido α -linolênico
20:3 <i>n</i> -6	ácido di-homogama linolênico
20:5 <i>n</i> -3	ácido eicosapentaenóico
20:4 <i>n</i> -6	ácido araquidônico
22:5 <i>n</i> -3	ácido docosapentaenóico
22:6 <i>n</i> -3	ácido docosaheptaenóico

18:2 <i>c</i> 9, <i>t</i> 11	ácido rumênico ou CLA
R\$	reais
Kg	quilogramas
m	metros
h	horas
°C	graus Celsius
pH	potencial hidrogeniônico
pH ₂₄	pH após 24 horas
pH ₀	pH inicial
pH _U	Ultimate pH/pH final
a _w	Water activity/atividade de água
kgf	Quiloforça
®	marca registrada
g	gramas
mg	miligramas
mL	mililitros
min	minuto
µm	micrômetros
GC	gas chromatography/cromatografia gasosa
µL	microlitros
Σ	somatório
h:H	índice hipo e hipercolesterolêmico
Δ ⁹ C16	atividade da enzima dessaturase para ácido palmítico
Δ ⁹ C18	atividade da enzima dessaturase para ácido esteárico
<i>P</i>	índice de significância
<	menor que
>	maior que

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral.....	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 Músculo esquelético: importância no animal vivo.....	19
3.2 A transformação do músculo em carne.....	21
3.3 Aspectos físico-químicos e sensoriais da carne bovina.....	23
3.3.1 Potencial hidrogeniônico (pH).....	23
3.3.2 Água: fator essencial para a manutenção da qualidade.....	24
3.3.3 Cor.....	25
3.3.4 A carne <i>DFD</i>	27
3.3.5 Lipídios e ácidos graxos.....	27
3.3.5.1 O papel dos ruminantes.....	29
3.3.6 Qualidade sensorial da carne bovina.....	31
3.3.6.1 Textura: maciez e suculência.....	31
3.3.6.2 Maciez.....	32
3.3.6.3 Suculência.....	33
3.3.6.4 <i>Flavor</i>	34
3.4 As raças bovinas e sua importância para a produção de carne.....	35
3.5 Estratégias de melhoramento genético para o aumento na qualidade da carne bovina.....	38
REFERÊNCIAS	42

CHAPTER II

¼ NELLORE × ¼ ANGUS × ½ SENEPOL (*THREE CROSSBREED*) EXHIBITED IMPROVED PHYSICOCHEMICAL COMPOSITION, FATTY ACID PROFILE AND SENSORY ATTRIBUTES COMPARED TO THOSE OF THE NELLORE BREED AND NELLORE × ANGUS CROSSBREED

ABSTRACT	57
1 INTRODUCTION	58
2. MATERIALS AND METHODS	59
2.1. Ethical consideration, treatment, animals and management.....	59
2.2. Slaughter and physicochemical properties of meat.....	60
2.2. Fatty acid composition.....	61
2.3. Sensory attributes.....	63
2.4. Statistical analysis.....	63
3 RESULTS	63
3.1. Physicochemical properties.....	63
3.2. Fatty acid composition.....	64
3.3. Sensory attributes.....	65
4 DISCUSSION	65
4.1. Physicochemical properties.....	65
4.2. Fatty acid composition.....	66
4.3. Sensory attributes.....	68
5 CONCLUSIONS	69
CONFLICT OF INTEREST STATEMENT	69
ACKNOWLEDGMENTS	69
REFERENCES	70

CAPÍTULO I

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1 INTRODUÇÃO

A carne vermelha é rica em proteínas e vitaminas do complexo B, além importantes minerais como ferro, zinco e fósforo (WILLIAMS, 2007), além de ácido fólico, vitamina A e selênio (BIESALSKI, 2005). Estes nutrientes podem se encontrar de forma insuficiente ou mesmo estar ausentes nos vegetais, o que faz da carne um alimento de grande importância nutricional para o homem (BIESALSKI, 2005).

O aumento da qualidade da carne está relacionado ao conhecimento e controle de alguns dos seus atributos (JOO et al., 2013). Para a indústria, é de grande importância o conhecimento a respeito dos parâmetros de qualidade da carne exigidos pelos consumidores no momento da compra (VIMISO et al., 2012), sendo que, dentre os atributos de qualidade que exercem influência na preferência de consumo, a maciez e a aparência recebem destaque, e estes atributos sofrerão alterações de acordo com a ocorrência de diversos eventos ligados tanto às características intrínsecas dos animais quanto aos cuidados antes e após o abate dos mesmos (BRESSAN et al., 2001).

A produção de carne bovina no Brasil passou por grandes mudanças, as quais incluem a abertura de novos mercados para a exportação, o que demanda maiores investimentos na melhoria do rebanho e do ambiente de criação dos mesmos, visando o aumento na produtividade (PEREIRA, 2017). A qualidade da carne depende, inicialmente, da escolha do melhor animal, o qual, sob determinadas condições ambientais, deve produzir um alimento com características adequadas às demandas de mercado (MATARIM, 2015).

A genética animal é um importante fator a afetar determinadas características da carne, como o perfil e a deposição de lipídios, por exemplo (ROTTA et al., 2009). Existem diversas raças de bovinos, e a escolha do melhor perfil biológico para atender às exigências do mercado é a porta de entrada para a obtenção de êxito em determinado sistema de produção (ROSA et al., 2013). Dois grupos de bovinos se destacam: os taurinos (*Bos taurus*) e os zebuínos (*Bos indicus*) (CHAVES et al., 2017).

A carne dos zebuínos apresenta baixo escore de maciez (ROSA et al., 2013) e menor teor de gordura (PRADO et al., 2008), sendo este um fator negativo para a produção de carne bovina de qualidade no país (LAGE et al., 2012), principalmente porque, dentre as raças produzidas no Brasil, as de origem zebuína, especificamente a raça Nelore, são predominantes no rebanho brasileiro (ACNB, 2018).

Já os taurinos produzem carne caracterizada pela maior qualidade, uma vez que apresentam maior maciez e suculência, com alto grau de deposição de gordura (ROSA et al.,

2013). A raça Angus é um grande exemplo, pois, sendo detentora das características anteriormente descritas, apresenta padrão adequado para exportação (ABA, 2017). Entretanto, sendo mais adaptados ao clima temperado, os taurinos são sensíveis ao clima tropical, não conseguindo ter um desempenho satisfatório (BURROW et al., 2001).

Visando melhorar os padrões de produção da carne e sua qualidade, o melhoramento genético se torna uma importante ferramenta para melhorar a qualidade da carne, a qual continua sendo um grande problema para o sistema produtivo brasileiro, especialmente no que diz respeito à deposição de gordura e maciez (LAGE et al., 2012).

O termo cruzamento é utilizado para se referir à reprodução entre indivíduos de raças ou espécies diferentes, e o seu objetivo é obter um animal com melhor perfil genético para alcançar os padrões produtivos desejados (EUCLIDES FILHO, 1999). O cruzamento entre os grupos zootécnicos *Bos indicus* e *Bos taurus* é considerado como eficiente na melhoria dos atributos de qualidade da carne, aumentando a deposição de gordura e a maciez (LAGE et al., 2012). Entretanto, problemas de adaptabilidade ainda podem ocorrer quanto maior for o grau sanguíneo de *Bos taurus* nos cruzamentos (FERRAZ; FELÍCIO, 2010). Ao mesmo tempo, quanto maior o grau *Bos indicus*, maiores são os problemas de qualidade da carne, como baixa maciez e suculência (ELZO et al., 2012).

Uma outra opção são os taurinos com maior tolerância às altas temperaturas e ao ataque de parasitas, como os taurinos adaptados, os quais unem características de adaptabilidade ao clima tropical e produção de carne de alta qualidade, sendo um grande exemplo a raça Senepol (ROSA et al., 2013). Esta raça tem sido uma grande alternativa ao melhoramento dos rebanhos no Brasil, e vem sendo muito utilizada em cruzamentos (MARTINS, 2018). Entretanto, ainda são muito escassas as informações a respeito das características físico-químicas e sensoriais da carne oriunda desta raça, bem como de seus cruzamentos.

O objetivo deste estudo foi avaliar os parâmetros de qualidade da carne de bovinos de três grupos zootécnicos envolvendo as raças Nelore, Angus e Senepol, visando atestar a melhoria dos atributos físico-químicos e sensoriais da carne dos animais cruzados, com foco na obtenção de carne com qualidade desejada ao consumo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência bovinos de diferentes perfis zootécnicos nos atributos de qualidade da carne.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar as características físico-químicas e sensoriais da carne de bovinos de três grupos zootécnicos distintos, envolvendo as raças Nelore, Angus e Senepol;

Atestar se existem mudanças significativas nos parâmetros de qualidade da carne de animais cruzados;

Avaliar se o cruzamento envolvendo o taurino adaptado Senepol melhora os atributos de qualidade da carne, especialmente no que se refere aos índices nutracêuticos e de aceitação sensorial.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Músculo esquelético: importância no animal vivo

O alto grau de organização do aparato muscular do animal se fundamenta na necessidade do mesmo em desempenhar uma série de atividades mecânicas, como locomoção e manutenção do equilíbrio, dentre outras funções (HUFF LONERGAN et al., 2010). Isso ocorre através da atuação da fibra muscular, a qual consegue transformar energia química em movimento (LANA; ZOLLA, 2016).

Do ponto de vista estrutural, o músculo esquelético é constituído por feixes (ou fascículos) de fibras musculares, as quais se subdividem em miofibrilas, onde está contida a estrutura dos sarcômeros (LIEBER, 2002). A fibra muscular é envolta pelo sarcolema, o qual se distribui ao longo da fibra muscular, e o sarcoplasma é o citoplasma no qual se encontram o núcleo, o retículo sarcoplasmático, as mitocôndrias e as miofibrilas, dentre outros constituintes (WARRIS, 2000). Cada fibra muscular contém, dentro do seu sarcoplasma, um agrupamento longitudinal de miofibrilas que, por sua vez, são constituídas por estruturas ainda menores, chamadas de miofilamentos (WARRIS, 2000). Os músculos apresentam aspecto estriado por conta da presença das miofibrilas, nas quais o processo de contração ocorre por ação dos sarcômeros (HUFF LONERGAN et al., 2010). A Figura 1 ilustra a estrutura do músculo esquelético e da fibra muscular.

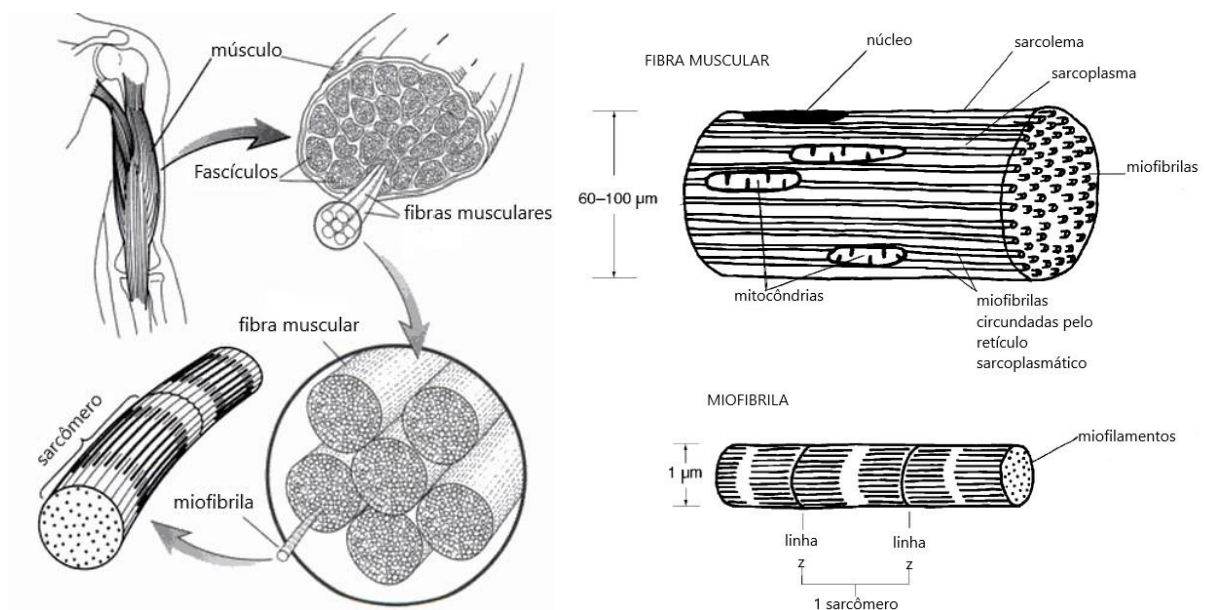


Figura 1. A fibra muscular e seus constituintes. Adaptado de: Warris (2000) e Lieber (2002).

Nas miofibrilas, encontram-se os miofilamentos, os quais se dividem em: filamentos finos, compostos por actina, troponinas (C, T e I) e tropomiosina, e filamentos grossos, compostos pela miosina (LISTRAT et al., 2016). Observadas sob corte longitudinal em microscopia eletrônica, as miofibrilas são visualizadas como bandas alternadas de cor escura e clara, denominadas bandas A e I, respectivamente, e uma linha Z, a qual divide a banda I pela metade e delimita a estrutura do sarcômero (LISTRAT et al., 2016). Detalhes da estrutura miofibrilar a nível microscópico podem ser observados na Figura 2.

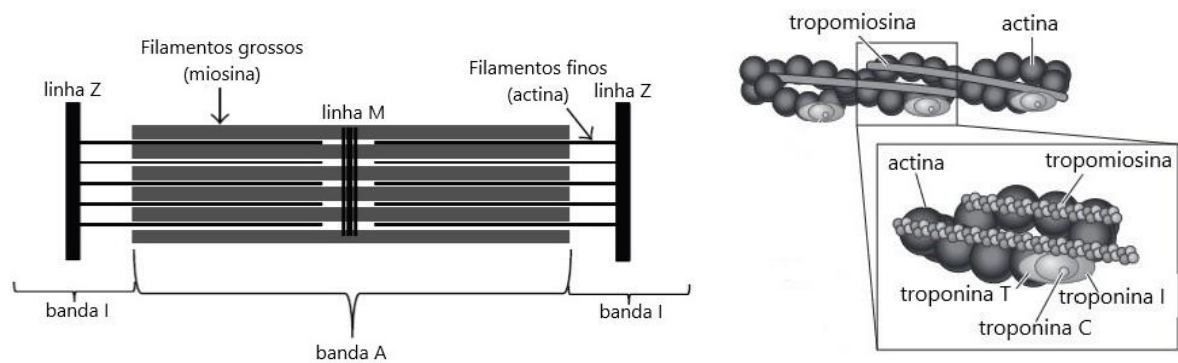


Figura 2. Estrutura miofibrilar e o complexo actina-troponinas-tropomiosina. Adaptado de: Listrat et al. (2016) e Kuo & Erhlich (2015).

Inicialmente, através de estímulo nervoso, íons cálcio (Ca^+), penetram no retículo sarcoplasmático e estimulam a liberação de mais Ca^+ para o sarcoplasma, havendo sua ligação com a troponina C, o que faz com que, através da ação da troponina T, o complexo tropomiosina se desfaça e ocorra a ligação entre actina e miosina (ativação do complexo actina-miosina) (LANA; ZOLLA, 2016). Por ação do ATP, o qual se liga à miosina em um sítio específico de ação da ATPase, haverá a quebra do mesmo em ADP e fosfato (Pi), sendo este último liberado para estimular o deslizamento da miosina sobre a actina, e isso faz com que a contração ocorra e os sarcômeros encurtem, processo este que, com a liberação do ADP, se torna mais forte e irreversível, caso não haja mais ATP para induzir uma mudança de conformação da miosina, e, assim, recomeçar o ciclo, já que somente o ATP consegue se ligar ao sítio específico da cabeça da miosina, mudando a conformação da mesma e induzindo a dissociação do complexo actina-miosina (LANA; ZOLLA, 2016). O ATP é a principal fonte de energia para o adequado funcionamento dos músculos no animal vivo, suprido, principalmente, pela glicose, e, em menor grau, pelos ácidos graxos, sendo o glicogênio a mais importante forma de armazenamento de energia dentro da musculatura, utilizada quando os níveis de glicose e ácidos graxos estão comprometidos (WARRIS, 2000).

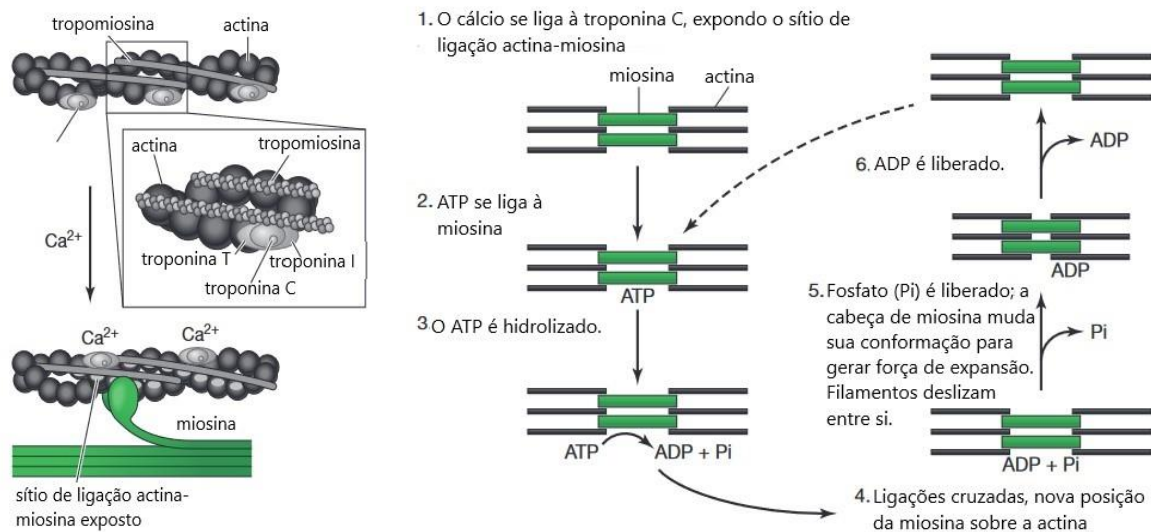


Figura 3. Atuação do cálcio e do ATP no processo de contração muscular. Adaptado de: Kuo; Erhlich, 2015.

A presença de oxigênio é fundamental para a atividade muscular no animal vivo, e, em momentos de ausência temporária do mesmo, como no caso de atividade física muito intensa, o seu aporte pode não ocorrer de forma suficientemente rápida para os músculos, levando à utilização temporária das reservas de glicogênio muscular, com produção somente de ácido láctico (ocorrendo, então, neste momento, apenas a via glicolítica), até que o oxigênio retorne aos músculos (WARRIS, 2000). Assim, a renovação muscular de ATP utiliza mecanismos aeróbicos (rota oxidativa), devido à atividade mitocondrial, e anaeróbicos (rota glicolítica), onde, dentro do sarcoplasma, há a produção de ácido láctico (LISTRAT et al., 2016).

3.2 A transformação do músculo em carne

No momento da morte do animal, com a interrupção da circulação sanguínea, interrompe-se, também, o aporte de oxigênio para os músculos, bem como de glicose e ácidos graxos livres, e, com isso, o metabolismo passa a ser anaeróbico, com quebra das reservas de glicogênio muscular (glicólise) para que haja o suprimento de ATP, havendo, assim, a produção de ácido láctico, que, sem a circulação sanguínea para drená-lo, vai se acumulando no tecido muscular, levando à acidificação do mesmo (WARRIS, 2000). Em outras palavras, após a morte do animal, as reservas de glicogênio passam a ser metabolizadas através da via glicolítica, utilizando-se das reservas de ATP restantes, com produção de ácido láctico, levando à diminuição do pH do meio (MALTIN et al., 2003).

Sendo o ATP essencial para que o processo de relaxamento muscular ocorra, a diminuição dos níveis deste metabólito leva ao desencadeamento do *rigor mortis*, caracterizado pela ocorrência de ligações cruzadas irreversíveis entre actina e miosina (LEFAUCHEUR, 2010). Além disso, à medida em que ocorre a queda de pH e o resfriamento da carcaça, o retículo sarcoplasmático vai perdendo a capacidade em recuperar o cálcio para o seu interior, e isso faz com que este se acumule no sarcoplasma (MATARNEH et al., 2017). Assim, para que o processo de *rigor mortis* ocorra, os níveis de ATP decrescem e os níveis de cálcio se elevam (MALTIN et al., 2003).

Pode-se dividir o processo de transformação do músculo em carne em três fases: a primeira, chamada de **pré-rigor**, onde, no máximo, 30 minutos após a morte do animal, o músculo continua ativo, em fase de contração e relaxamento (CHRYSTALL; DEVINE, 1985); a segunda, chamada de **rigor**, que corresponde ao momento de esgotamento do aporte de energia, como ATP e glicogênio, fazendo com que o músculo perca elasticidade e atinja um estado de contração permanente; e a última, chamada de **pós-rigor**, ou fase de amaciamento, onde começam a ocorrer fragilidade e rompimento do arcabouço das miofibrilas (SENTANDREU et al., 2002) graças ao processo de degradação das proteínas responsáveis pela integridade estrutural do músculo (KOOHMARAIE, 1994). Isso ocorre através da ação de proteases sobre estas proteínas, levando, portanto, ao processo de amaciamento (“*tenderization*”) (LANA; ZOLLA, 2016).

Assim, após o encurtamento do sarcômero decorrente da formação do complexo actina-miosina, inicia-se o processo denominado de resolução do *rigor mortis*, onde, inicialmente, há a degradação da linha Z do sarcômero, e, posteriormente, proteólise das proteínas miofibrilares (BRADEN, 2013). Assim, o processo de amaciamento ocorre pela degradação das proteínas do complexo actina-miosina, para reduzir a sua rigidez (LANA; ZOLLA, 2016). De acordo com Takahashi (1996), estes eventos têm relação com os níveis de cálcio presentes, os quais vão se ligar a sítios específicos da linha Z, causando o seu enfraquecimento estrutural, bem como o enfraquecimento do complexo actina-miosina e demais proteínas estruturais. O sistema calpaína inclui enzimas com atividade proteolítica cuja ativação depende dos níveis de cálcio presentes, sendo as mais conhecidas a μ -calpaína e a m-calpaína (GOLL et al., 2003). O cálcio acumulado no sarcoplasma no decorrer dos eventos *postmortem* estimula a ação das calpaínas (MATARNEH et al., 2017). As calpaínas são as principais enzimas envolvidas no processo de proteólise (HUFF LONERGAN, 2014), seguidas por catepsinas, caspases e proteassomas, pouco estudadas (MATARNEH et al., 2017).

3.3 Aspectos físico-químicos e sensoriais da carne bovina

3.3.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

A redução do pH *post mortem* é dependente da reserva de glicogênio muscular e sua posterior metabolização a ácido lático para alcançar um pH final adequado (IMMONEN et al., 2000). Durante a transformação do músculo em carne, o pH muscular, que até então se encontrava em torno de 7,2, decresce para valores próximos a 5,6 em 24 horas *postmortem* (MATARNEH et al., 2017). A taxa de queda do pH varia de acordo com a espécie animal, sendo mais rápida nas aves e nos suínos e mais lenta nos bovinos e ovinos (MATARNEH et al., 2017). O pH da carne bovina atinge, após 24 horas, uma faixa de 5,5 a 5,9 (ROÇA, [2018]a).

No momento do abate do animal, o músculo deve conter estoque suficiente de glicogênio para atingir o pH ideal, sendo que, quando o aporte é insuficiente, o pH atingirá valores elevados, podendo comprometer a qualidade da carne (YOUNG et al., 2004). O conteúdo em glicogênio dependerá de fatores como estado nutricional do animal e o *stress* pré-abate, que podem influenciar na concentração deste substrato (IMMONEN et al., 2000). Sob baixos níveis de energia, o *rigor mortis* ocorre precocemente, porque as baixas reservas energéticas não são capazes de produzir ácido lático suficiente para reduzir adequadamente o pH (FELÍCIO, 1997). O *stress* crônico, particularmente, pode desencadear a interrupção precoce do metabolismo *postmortem* enquanto o pH ainda está elevado, afetando negativamente a qualidade da carne (MATARNEH et al., 2017).

O pH da carne tem influência sobre as características anteriormente descritas devido à sua relação com o ponto isoelétrico das proteínas musculares. O ponto isoelétrico (pI) é o valor de pH onde as cargas positivas e negativas do músculo se igualam (carga neutra) (BRADEN, 2013). Isso significa que as cargas positivas e negativas das proteínas miofibrilares estão igualmente ligadas umas às outras, e a capacidade de retenção de água está reduzida a um mínimo (APPLE; YANCEY, 2013). Considerando que o pI seja de 5,1, faixas de pH muito próximos ou muito distantes deste valor causam problemas de qualidade (BRADEN, 2013). Assim, valores de 5,0 a 5,3 reduzem muito a capacidade de retenção de água, enquanto que valores mais distantes, para cima ou para baixo do pI, elevam substancialmente a capacidade de retenção de água devido ao excesso de cargas negativas ou positivas disponíveis para atraírem a água (APPLE; YANCEY, 2013), sendo considerados críticos valores de pH a partir de 6,0 ou menores que 5,4 (MATARNEH et al., 2017).

3.3.2 Água: fator essencial para manutenção da qualidade

A água está presente na carne em proporção aproximada de 75%, sendo que a maior parte dessa água está contida nas miofibrilas, e os componentes do tecido muscular, fora a água, são as proteínas, as quais podem estar tanto na forma solúvel, como as proteínas do sarcoplasma, quanto insolúvel, a exemplo das proteínas miofibrilares, do citoesqueleto e do aparato conectivo (HUGHES et al., 2014). A água está presente dentro das miofibrilas (dentro e entre os filamentos) nos espaços entre as miofibrilas, dentro e entre as fibras musculares e feixes de fibras musculares, e no espaço extracelular (HAMM, 1986; OFFER; COUSINS, 1992). A movimentação da água através dos espaços intra e extracelular ocorre de acordo com os processos de encurtamento ou dilatação das fibras musculares (HAMM, 1986).

De acordo com JUÁREZ et al. (2012), o estado de interação da água com o músculo pode se dar por meio de interações químicas ou pela encapsulação da água no interior do mesmo, podendo esta ser expelida mediante imposição de força, alterando a capacidade de retenção de água (CRA). Assim, a água, basicamente, está presente no músculo nas formas ligada, imobilizada e livre (BRADEN, 2013). No primeiro caso, a água está fortemente ligada às proteínas miofibrilares por interação entre suas respectivas cargas, apresentando mobilidade bastante limitada; No segundo caso, a água está armazenada dentro do arcabouço muscular, sem estar tão fortemente ligada às proteínas miofibrilares como no caso anterior, sendo esta a maior fração de água ligada às proteínas musculares; E, no último caso, a água está contida dentro do músculo, mas apenas mantida por capilaridade (BRADEN, 2013).

A conversão do músculo em carne afeta, de forma predominante, a água imobilizada (HUFF-LONERGAN; LONERGAN, 2005). Quando, após a produção de ácido lático e redução de pH, atinge-se o ponto isoelétrico das proteínas, ocorre um equilíbrio entre as cargas negativas e positivas da rede protéica (carga zero) e isso leva a uma atração entre as cargas opostas das proteínas do músculo, causando ligação destas entre si e uma redução no espaço entre as miofibrilas, diminuindo, assim, a ligação das proteínas com a água, o que leva a uma menor CRA (HUFF LONERGAN; LONERGAN, 2005; OFFER, 1991). Em outras palavras, as fibras musculares tendem a encurtar lateralmente devido à maior atração entre as proteínas do sistema miofibrilar, causada, inicialmente, pelo acúmulo de íons hidrogênio, fazendo com que os filamentos se atraiam (PEARCE et al., 2011). Assim, à medida que o pH se aproxima do pI das proteínas musculares, a CRA diminui significativamente, chegando a níveis mínimos (WARNER, 2017).

Do contrário, quando a taxa de queda do pH é mais lenta, permanecendo em valores elevados, ocorre o oposto (WARNER, 2017), já que haverá uma maior proporção de proteínas musculares disponíveis para ligarem-se às moléculas de água, aumentando a CRA, e isso também pode levar a problemas de qualidade, como o desenvolvimento de carne *DFD* (*dark, firm and dry*), abordada posteriormente. A deficiência de glicogênio muscular leva a uma interrupção precoce do processo *postmortem* quando o pH ainda está elevado, podendo resultar na condição descrita (WARNER, 2017; MATARNEH et al., 2017).

Um outro conceito importante é o de atividade de água. A atividade de água (a_w) pode ser definida como a força de ligação da água com o alimento que a contém, fazendo com que a mesma possa estar mais ou menos disponível para participar de determinadas reações (LABUZA, 1975) relacionadas ao crescimento microbiano e alterações na estabilidade química e sensorial (FENNEMA; CARPENTER, 1984). Em outras palavras, a a_w avalia o montante de água livre que está disponível para ser utilizada por micro-organismos patogênicos e/ou deterioradores (MASON et al., 2018). Dessa forma, a a_w , assim como os demais parâmetros de qualidade, é um adicional preditor da estabilidade química e microbiológica dos alimentos (FENNEMA; CARPENTER, 1984).

A a_w máxima é a da água pura (1,0), enquanto que nas soluções este valor é menor que 1,0, e, dessa forma, os alimentos terão a_w sempre inferior à da água pura (GRANT, 2004). A carne apresenta alta a_w , com valores em torno de 0,98 a 0,99 (LEISTNER; RÖDEL, 1975). Isto significa que a água da carne fresca encontra-se mais facilmente disponível para ser utilizada no crescimento de micro-organismos e em determinadas reações químicas (FENNEMA; CARPENTER, 1984).

3.3.3 Cor

A cor da carne é influenciada pela ação das proteínas heme, tendo destaque, por ordem de importância, a mioglobina, hemoglobina e o citocromo C (MANCINI; HUNT, 2005). A mioglobina é a proteína determinante das mudanças de cor da carne, por possuir um anel heme, onde está localizado o ferro, o qual possui seis sítios de ligação, e o sexto deles pode apresentar-se livre ou disponível para se ligar a moléculas de oxigênio (O_2), monóxido de carbono (CO) ou óxido nítrico, e, assim, a depender do ligante presente e do estado de oxidação ou redução do ferro, a mioglobina poderá assumir as seguintes formas químicas (MANCINI, 2013):

Cor vermelho-púrpura: ocorre por conta da deoximioglobina, onde o sexto sítio de ligação encontra-se livre (Fe^{+2}), e esta condição ocorre no interior da carne, o qual não foi exposto ao oxigênio, como no caso de carnes embaladas a vácuo ou recém-cortadas; **Cor vermelho-cereja brilhante:** decorre da exposição da deoximioglobina ao oxigênio (em um processo chamado de “*bloom*”), sendo chamada, então, de oximioglobina (Fe^{+2}); **A cor marrom,** por sua vez, decorre da oxidação do ferro, com produção de metamioglobina (Fe^{+3}), cuja formação se inicia na camada intermediária localizada entre a superfície, vermelha, e o interior da carne, de cor púrpura, e nesta região intermediária a pressão parcial de oxigênio é insuficiente tanto para a ocorrência de oxigenação quanto de deoxigenação. Posteriormente, esta camada de metamioglobina migra gradativamente para a superfície, tornando-se visível.

A produção de metamioglobina é considerada indesejada (MATARNEH et al., 2017) e está relacionada a uma menor vida de prateleira da carne (MANCINI, 2013). Dentre os fatores que contribuem para a formação da metamioglobina estão temperatura, pH, crescimento microbiano e embalagem (MANCINI, 2013).

Fatores como pH afetam a forma como a água está distribuída e retida na carne, afetando as características de cor (MATARNEH et al., 2017), e, assim, um pH final alto leva a uma maior retenção de água e carne mais escura, e vice-versa (BRADEN, 2013). De acordo com Hughes et al. (2014) ao entrar em contato com a luz, a superfície da carne pode absorvê-la, refletí-la ou dispersá-la, e, assim, o consumidor, ao detectar a cor da carne, pode decidir pelo seu consumo ou não. O mesmo autor descreve que, ao incidir sobre o meio, pode haver uma difusão ou desvio da luz de acordo com a presença de maior ou menor quantidade de “material” que o alimento contém, ou seja, das estruturas presentes no tecido muscular.

Quando há uma maior quantidade de água intercelular e na superfície da carne, maior será a sua reflectância, e a carne será considerada luminosa, mas, caso contrário, quando existe muita água intracelular, a carne será escura, absorvendo a luz, a exemplo da carne *DFD* (BRADEN, 2013). Isso ocorre porque, quando o pH está elevado, ocorrem menores perdas em pigmentos e desnaturação, contribuindo para um maior escurecimento e maior absorbância (MATARNEH et al., 2017).

Para o setor industrial, a cor da superfície da carne é de grande importância quando da avaliação qualidade da mesma (SHARIFZADEH et al., 2014). A cor da carne exerce influência na decisão de compra do consumidor, sendo aquelas que apresentam coloração vermelho brilhante mais atrativas, ao contrário de carnes com coloração marrom (GOVINDARAJAN; SNYDER, 1973).

3.3.4 A carne *DFD*

Quando a taxa de queda do pH é lenta, a carne pode desenvolver uma condição denominada de *DFD* (*dark, firm and dry*), apresentando-se escura, firme e seca por conta da desigualdade de cargas no músculo, fazendo com haja um aumento da sua capacidade de retenção de água, mantendo a mesma dentro do espaço intracelular, e, dessa forma, a carne fica menos reflexiva à luz, absorvendo-a, e tornando-se, portanto, mais escura (BRADEN, 2013), sendo mais propensa à deterioração microbiológica (MATARNEH et al., 2017), com curta vida de prateleira (FELÍCIO, 1997).

Esta condição está relacionada ao *stress* pré-abate e, conseqüentemente, à baixa concentração de glicogênio, devido à sua metabolização mais rápida antes do abate, comprometendo a queda de pH (WARNER, 2017). De acordo com Yu & Lee (1986), pode-se classificar o pH final das carcaças em três faixas: baixa, quando abaixo de 5,8, intermediária, quando varia de 5,8 a 6,3, e alta, quando acima de 6,3, sendo esta última faixa mais propensa a produzir carne *DFD*.

3.3.5 Lipídios e ácidos graxos

A demanda por alimentos mais saudáveis por parte do mercado consumidor levou a uma maior preocupação em relação ao teor de ácidos graxos da carne, com tentativas no sentido de melhorar este perfil e atender às suas necessidades nutricionais, sendo que algumas raças de animais produzem carne com maior ou menor percentual de gordura, o que poderia influenciar a composição em ácidos graxos (FERNANDES et al., 2014).

O teor de gordura e ácidos graxos saturados da carne vem sendo objeto de discussões envolvendo o seu excesso de consumo, que pode levar ao desenvolvimento de doenças (NUERNBERG et al., 2005). Entretanto, a gordura é importante para o desenvolvimento corporal e manutenção das suas atividades funcionais, sendo responsável pelo aporte de ácidos graxos e vitaminas lipossolúveis para o organismo, além de conferir textura, sabor e aroma à carne (NUERNBERG et al., 2005).

Enquanto no tecido adiposo prevalecem os lipídios neutros, ou triacilgliceróis, no músculo estão, em grandes proporções, os fosfolipídios, os quais exercem papel importante na estrutura das membranas celulares, contendo altos níveis de ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) (WOOD et al., 2008).

Os ácidos graxos saturados estão presentes na gordura subcutânea e intramuscular, as quais protegem a carne contra os efeitos do congelamento e cozimento, além de melhorar o aroma e sabor da mesma (PRADO et al., 2011). Em animais e plantas, os ácidos graxos saturados predominantes são mirístico (14:0), palmítico (16:0) e esteárico (18:0), estando presentes tanto na gordura animal quanto em óleos de sementes (CHRISTIE, 2018).

Já os ácidos graxos insaturados englobam os monoinsaturados, representados, principalmente, pelo ácido oléico (18:1 *n*-9), e os poliinsaturados, os quais abrangem dois grupos considerados essenciais: ácidos graxos ômega-6 (ω -6 ou *n*-6) e ômega-3 (ω -3 ou *n*-3), cujos representantes são os ácidos linoléico (18:2 *n*-6) e α -linolênico (18:3 *n*-3), respectivamente (SIMOPOULOS, 1991). São chamados de ácidos graxos essenciais porque não podem ser sintetizados pelo organismo dos mamíferos, incluindo os humanos, devendo ser adquiridos pela dieta (SIMOPOULOS, 1991).

Enquanto os ácidos graxos saturados (AGS), em especial aqueles que contenham, em sua cadeia, 14 carbonos ou mais, possuem ação trombogênica, os ácidos graxos monoinsaturados (AGMI) e poliinsaturados (AGPI) demonstraram possuir ação oposta (HORNSTRA; LUSSENBURG, 1975). Além disso, os ácidos graxos saturados 12:0, 14:0 e 16:0 são considerados hipercolesterolêmicos, enquanto 18:0 possui ação neutra (YU et al., 1995; OJHA et al., 2017).

O ácido oléico é o monoinsaturado mais abundante em plantas e animais, fazendo parte dos lipídios estruturais e de deposição, além de ser o precursor dos ácidos graxos da família *n*-9 (CHRISTIE, 2018). O ácido oléico apresenta ação hipocolesterolêmica, com comprovada redução nos níveis da lipoproteína de baixa densidade (LDL) (MATTSON; GRUNDY, 1985), além de ação antitrombogênica (MCDONALD et al., 1989).

O AL, amplamente distribuído no meio ambiente, está presente, em grande parte, nas sementes de plantas, e o ALN, por sua vez, encontra-se nas folhas verdes, especificamente nos cloroplastos e sementes (SIMOPOULOS, 1991). A obtenção de *n*-3 e *n*-6 para o organismo pode se dar não só pela ingestão de alimentos que os contém, mas também pela utilização dos ácidos graxos AL e ALN, os quais sofrerão ação de enzimas chamadas dessaturase e elongase, e estas, através de processos de oxidação e adição de carbonos, darão origem a ácidos graxos contendo dupla ligação *cis* (MARTIN et al., 2006). O metabolismo destes ácidos graxos envolve a conversão do AL em ácido araquidônico (20:4 *n*-6) e do ALN nos ácidos eicosapentaenóico (EPA) (20:5 *n*-3) e docosahexaenóico (DHA) (22:6 *n*-3) (SIMOPOULOS, 1991). Estes ácidos graxos *n*-6 e *n*-3 dão origem a diversas substâncias biologicamente ativas, como eicosanóides e docosanóides, com funções pró e anti-inflamatórias, respectivamente (CHRISTIE, 2018).

O AL é altamente requerido para integrar os fosfolipídios envolvidos na manutenção estrutural das membranas e, também, das lipoproteínas responsáveis pelo transporte de lipídios, principalmente a lipoproteína de alta densidade (*HDL*), além de sofrer dessaturação e alongação, formando o ácido araquidônico, o qual auxilia na manutenção das funções celulares (WIJENDRAN; HAYES, 2004).

Além disso, tanto o EPA quanto o DHA podem reduzir os riscos de doença cardíaca isquêmica, sendo reconhecidos, dentro do grupo *n-3*, como eficientes promotores da saúde cardiovascular (WIJENDRAN; HAYES, 2004).

Assim, os AGPI das famílias *n-6* e *n-3* são importantes na prevenção e combate de doenças cardiovasculares, cada um com um perfil distinto de ação (WIJENDRAN; HAYES, 2004), sendo recomendada uma maior ingestão destes, principalmente os de cadeia longa, especificamente o EPA e o DHA (ENSER et al., 2001).

Em tempos remotos da evolução humana, a relação *n-6:n-3* era de, no máximo, 1:1 a 2:1, e, nos últimos anos, esta relação alcançou uma faixa de cerca de 20:1, o que poderia ser explicado pelo aumento gradativo no consumo de cereais, por exemplo, os quais são grandes fontes de AL 18:2 (havendo, portanto, um maior aporte de *n-6*) e uma redução no aporte de fontes de ALN (18:3 *n-3*) (EATON et al., 1998). Isso pode levar à produção de quantidades elevadas de eicosanóides a partir do ácido araquidônico, o que pode levar a problemas cardiovasculares, reações alérgicas e maior taxa de multiplicação celular (SIMOPOULOS, 2002).

O equilíbrio no teor de *n-6* e *n-3* se relaciona com um saudável estado do sistema cardiovascular, sendo sugerida uma relação de, aproximadamente, 6:1 (WIJENDRAN; HAYES, 2004). Segundo Martin et al. (2006) relações de 2:1 a 4:1 são recomendáveis quando o estilo de alimentação não permite a ingestão adequada dos ácidos graxos EPA e DHA. As fontes mais importantes dos ácidos graxos *n-3* para os seres humanos são os óleos de peixe, os peixes, os ovos e a carne bovina (SCOLLAN et al., 2001).

3.3.5.1 O papel dos ruminantes

Ao longo de seu ciclo evolutivo, os ruminantes desenvolveram uma câmara de fermentação em seu trato digestivo, chamada de rúmen, com a função de degradar fibras vegetais (SILANIKOVE, 1994). A flora microbiana presente no aparato digestivo do animal é responsável pelo processo fermentativo da ingesta (JOHNSON et al., 1993), e sua população inclui, em ordem de importância, bactérias, protozoários e fungos (KOZLOSKI, 2017).

O metabolismo lipídico nos ruminantes começa a partir do momento em que os lipídios contidos na dieta adentram o ambiente ruminal, onde serão submetidos a um processo de hidrólise por ação dos micro-organismos presentes, liberando, assim, ácidos graxos livres, e, então, os ácidos graxos insaturados serão submetidos à biohidrogenação, gerando, como produto final, o ácido esteárico (18:0) (HARFOOT; HAZLEWOOD, 1997). Um outro processo que ocorre em paralelo é a chamada síntese *de novo*, onde os ácidos graxos são utilizados como substrato para o metabolismo dos micro-organismos residentes no rúmen (HARFOOT; HAZLEWOOD, 1997). Assim, o perfil de ácidos graxos, após as modificações microbianas acima descritas, será diferente daquele até então presente no alimento ingerido (HARFOOT; HAZLEWOOD, 1997).

Os elevados níveis de ácidos graxos saturados em lipídios de ruminantes estão, portanto, associados ao processo de biohidrogenação dos lipídios (BAUMAN et al., 1999). Em outras palavras, a gordura destes animais apresenta maior teor de ácidos graxos saturados por conta da biohidrogenação dos ácidos graxos insaturados adquiridos na alimentação (FRENCH et al., 2000). Além do 18:0, são formados os ácidos graxos *trans*, os conjugados e diversos outros, chamados de intermediários (JENKINS et al., 2006). Há, portanto, a síntese de diversos ácidos graxos de cadeia longa, como os isômeros dos ácidos linolênico e linoléico conjugados e demais outros (BUCCIONI et al., 2012). Dentre os ácidos graxos de configuração *trans*, recebe destaque o ácido vacênico (18:1 *trans* 11) (CHRISTIE, 2018), também chamado de *trans*-vacênico (BAUMAN et al., 1999), sendo um dos intermediários gerados durante o processo de biohidrogenação (HARFOOT; HAZLEWOOD, 1997).

A biohidrogenação de AL e ALN gera diversos ácidos graxos intermediários ou subprodutos, a exemplo dos isômeros do ácido linoléico conjugado (*CLA*), cujo maior representante é o 18:2 *cis* 9, *trans* 11 (CHRISTIE, 2018) ou ácido rumênico (KRAMER et al., 1998). A presença de *CLA* nos alimentos oriundos de ruminantes é de caráter único, e se dá quando o processo de biohidrogenação ocorre de forma incompleta (BAUMAN et al., 1999). Sua síntese ocorre, também, nos tecidos animais, tendo como precursor o ácido *trans*-vacênico (18:1 *trans*-11) (BAUMAN et al., 1999).

Os *CLA*'s consistem em um conjunto de isômeros geométricos e posicionais do AL, apresentando ligações duplas conjugadas (BAUMAN et al., 1999). A descoberta destes isômeros, associados a funções anticarcinogênicas, nos lipídios de ruminantes, é um fator positivo na reavaliação do consumo da gordura proveniente de produtos oriundos desses animais, que são sua principal fonte (BESSA et al., 2000).

O *CLA* possui ação antiaterogênica, antidiabética e anticarcinogênica, além de modulatória do sistema imune, ósseo e de redução da gordura corporal (LEE et al., 2005). Estudos com animais demonstraram efeitos benéficos do *CLA* no fortalecimento do sistema imune após uma infecção, principalmente com relação à perda de peso (anorexia), inibindo, também, os efeitos catabólicos decorrentes da estimulação do sistema imune (MILLER et al., 1994), além de melhorar a eficiência alimentar (CHIN et al., 1994). Além disso, existe uma relação entre o *CLA* e o controle do desenvolvimento de tumores (IP et al., 1994; IP et al., 1991). Assim, apesar de apresentar aspectos indesejáveis, como grande quantidade de ácidos graxos saturados, por conta do processo de biohidrogenação ruminal, a gordura de ruminantes apresenta a vantagem de conter *CLA*, o qual exerce papel positivo na saúde humana (BAUMAN et al., 1999).

3.3.6 Qualidade sensorial da carne bovina

Os aspectos sensoriais da carne se tornaram fatores preponderantes para o seu crescente e contínuo consumo, sendo textura, sabor e *flavor* os principais atributos (FRANK et al., 2017), incluindo-se, também, a aparência (WARNER, 2017). Em outras palavras, a qualidade sensorial da carne inclui, basicamente, a avaliação de sua textura, como maciez e suculência, dentre outros atributos, e, também, do seu sabor e aroma (RESCONI et al., 2013). Em relação à carne bovina, especificamente, os principais atributos sensoriais são *flavor*, maciez e suculência, sendo os mais utilizados para avaliar a aceitação sensorial do consumidor (O'QUINN et al., 2018).

3.3.6.1 Textura: maciez e suculência

A textura é um atributo sensorial complexo, envolvendo aspectos relacionados ao processo mastigatório e à sensação provocada pelo alimento dentro da boca (“*mouthfeel*”), e, assim, engloba diversas características sensoriais relacionadas à palatabilidade do alimento (JUÁREZ et al., 2012). A textura da carne sentida durante a mastigação também está relacionada ao conteúdo em gordura e à capacidade de retenção de água, já que influenciam na sensação lubrificante (JUÁREZ et al., 2012). A textura também pode ser avaliada com a ajuda de equipamentos denominados de texturômetros, com o objetivo de mensurar mecanicamente a resistência da carne ao corte e à pressão (HUIDOBRO et al., 2005).

Além disso, as perdas em fluido da carne, relacionadas ao processo de cocção, são de grande interesse econômico, visto que afetam a sua textura devido à perda de peso e conteúdo, por conta de modificações em proteínas e lipídios provocadas pelo aquecimento (PURSLOW et al., 2016). Durante a cocção, além das perdas em água, perdem-se íons e lipídios (ZORZI et al., 2013).

3.3.6.2 Maciez

A maciez da carne está relacionada com o conceito de resistência da mesma à uma força imposta (JUÁREZ et al., 2012), e é o atributo sensorial mais importante a influenciar a decisão de compra do consumidor, podendo ser afetada por diversos fatores, como comprimento de sarcômero, velocidade de ocorrência de glicólise (KOOHMARAIE, 1994), temperatura, pH, teor de colágeno, ação de proteínas responsáveis pelo processo de amaciamento e características do próprio tecido muscular (WHIPPLE et al., 1990).

O aparato muscular, onde estão inseridas as miofibrilas, e o aparato conectivo, especificamente o colágeno, são os maiores fatores a serem considerados na característica de maciez da carne (MUIR et al., 1998). Ou seja, a rigidez miofibrilar se refere ao arcabouço miofibrilar e do citoesqueleto, os quais sofrerão modificações bioquímicas e estruturais no período *post mortem*, e a rigidez do aparato conectivo (“*background toughness*”) se refere à presença do colágeno, o qual apresenta-se mais resistente às modificações descritas (OUALI, 1990).

O processo de resfriamento da carcaça pode levar ao encurtamento pelo frio (*cold shortening*) na etapa anterior ao *rigor mortis* (pré-rigor), levando ao endurecimento da carne (MARSH, 1977). Isso ocorre porque a bomba de cálcio deixa de funcionar, e, assim, ocorre uma maior permeabilidade das membranas do retículo sarcoplasmático ao cálcio, fazendo com que este se acumule nas miofibrilas, estando presentes, ainda, quantidades suficientes de ATP para promover o ciclo de contração (ROÇA, 2018b). Uma maior cobertura de gordura subcutânea promove uma maior proteção contra o resfriamento, contribuindo para uma maior atividade glicolítica do músculo, com menor pH e maior estímulo à ação das proteases, promovendo, assim, um aumento na maciez (DIAS, 2012).

O tecido conectivo envolve cada um dos componentes do tecido muscular, protegendo-os de possíveis danos à suas estruturas durante o processo de contração, além de fornecer suporte para a acomodação do aparato vascular e nervoso (MARSH, 1977).

O epimísio recobre cada músculo, o perimísio envolve os feixes de fibras e o endomísio é o invólucro de cada fibra muscular contida nos feixes (PURSLOW, 2018). O epimísio costuma ser removido da carne, apresentando menor importância no estudo dos atributos da mesma (PURSLOW, 2018). O perimísio apresenta estrutura mais complexa e mais forte, incluindo ligações cruzadas contínuas ao longo dos feixes de fibras musculares (PURSLOW, 1989), sendo, portanto, a camada mais importante na análise de maciez da carne (PURSLOW, 1985). Segundo Light et al. (1985) a maior ou menor presença de ligações cruzadas termo-estáveis ou termo-lábeis é um fator a afetar a textura da carne. Dessa forma, as alterações que ocorrem na textura da carne durante o processo de aquecimento também se relacionam à presença do colágeno, o qual sofre processos de desnaturação e solubilização, a depender de agentes externos, como umidade relativa, taxa de aquecimento, além de ocorrência de encurtamento durante o aquecimento (POWELL et al., 2000).

A maciez pode ser avaliada por meio de análise instrumental, a qual simula as forças envolvidas no processo de mastigação, como o cisalhamento, a compressão e a tensão, além da realização de análise sensorial, devendo ambas ocorrerem em paralelo (JUÁREZ et al., 2012).

3.3.6.3 Suculência

A suculência é mais um elemento sensorial relacionado ao *mouthfeel*, estando, também, inter-relacionado aos atributos de *flavor* e maciez (HONIKEL; HAMM, 1994). Este atributo se relaciona com a sensação de umidade durante a mastigação, decorrente da liberação de fluidos pela carne, e a sensação promovida pelo fluxo salivar (HARRIS, 1976). Assim, estes dois fatores se uniram num só atributo (WINGER; HAGYARD, 1994).

Aspectos como umidade, teor de lipídios e capacidade de retenção de água influenciam na característica de suculência (SMITH; CARPENTER, 1974). A gordura intramuscular promove uma melhor experiência sensorial, devido à sensação untuosa à mastigação (PEREIRA, 2002), podendo, assim, melhorar a sensação de suculência, bem como de maciez e *flavor* (FRANK et al., 2016). Perdas em água podem comprometer a qualidade da carne, reduzindo o seu peso e tamanho, e, assim, comprometer os aspectos de maciez e suculência (OFFER; TRINICK, 1983). Além disso, perdas em água durante a cocção da carne reduzem a flexibilidade e a maciez das suas proteínas (WARNER, 2017).

A suculência também pode ser avaliada através de análises instrumentais, como a capacidade de retenção de água (HONIKEL; HAMM, 1994), a qual se relaciona inversamente com as perdas decorrentes do processo de cocção (WARNER, 2017).

3.3.6.4 Flavor

O *flavor* é o atributo conjunto de sabor e aroma de um alimento, identificado pelo aparelho sensorial (KHAN et al., 2015), sendo um fator altamente relacionado à aceitação sensorial dos alimentos cárneos (SHAHIDI, 1994). O *flavor* somente ocorre através do aquecimento (cocção) da carne, sendo a carne crua pobre em aroma e sabor (MOTTRAM, 1998).

Os principais componentes precursores do *flavor* são os compostos solúveis em água e os lipídios (MOTTRAM, 1998). Os compostos solúveis em água já identificados no desenvolvimento do *flavor* incluem aminoácidos, peptídeos, açúcares (como glicose, frutose e ribose) (MACY et al., 1964), nucleotídeos e tiamina, dentre outros compostos nitrogenados (MOTTRAM, 1998). Os Nucleotídeos, peptídeos e aminoácidos, por exemplo, são responsáveis pelas características de amargor, doçura, acidez, dentre outras (SHAHIDI, 1994).

Já os lipídios presentes na carne liberam compostos flavorizantes (FRANK et al., 2016). Ou seja, triacilgliceróis e fosfolipídios estruturais sofrem oxidação, e geram, assim, compostos aromáticos (ELMORE et al., 1997). As substâncias aromáticas são as mais ativas no desenvolvimento do *flavor* (MOTTRAM, 1998), e, de forma geral, a ocorrência de *flavor* se dá através do aquecimento de compostos não voláteis, resultando em substâncias voláteis que vão contribuir com o desenvolvimento deste atributo (KHAN et al. 2015).

Estão presentes na porção magra da carne os fosfolipídios estruturais e os triglicerídeos, inseridos na gordura intramuscular (MOTTRAM, 1998), contendo ácidos graxos saturados e insaturados, os quais serão oxidados e degradados (MACLEOD, 1994). Os triglicerídeos (lipídios apolares) podem estar visíveis quando a carne apresenta-se marmoreada (RESCONI et al., 2013).

Os fosfolipídios apresentam maior importância na produção de compostos voláteis (MOTTRAM; EDWARDS, 1983), sendo muito mais ricos em ácidos graxos insaturados, especificamente os poli-insaturados (AGPI), que são as principais fontes destes compostos (MOTTRAM, 1998), já que são mais susceptíveis à oxidação (RESCONI et al., 2013). Assim, os AGPI encontram-se mais concentrados na fração lipídica polar (MARMER et al., 1984). Ao serem submetidos ao aquecimento, os ácidos graxos insaturados darão origem a substâncias como álcoois, cetonas e aldeídos, por exemplo (ELMORE et al., 1999), as quais irão contribuir para o *flavor* desejável (MOTTRAM, 1998). Além da degradação oxidativa dos lipídios, existem outras reações envolvidas no desenvolvimento do *flavor*, as quais incluem as reações de *Maillard* e de *Strecker* e a degradação da tiamina (RESCONI et al., 2013).

3.4 As raças bovinas e sua importância para a produção de carne

Os bovinos de corte apresentam especificidades quanto aos atributos de qualidade da carne, por conta das diferenças na velocidade de crescimento (precocidade), ou seja, a velocidade de desenvolvimento corporal do animal até chegar à fase final, onde ocorre o acabamento, com a deposição de gordura nos adipócitos, e, conseqüentemente, na carcaça (CHAVES et al., 2017).

A partir de um ancestral comum, o *Bos primigenius*, o qual seguiu diferentes rotas migratórias, estabeleceram-se dois grupos raciais principais: o primeiro denominado de *Bos primigenius namandicus*, responsável pela formação dos bovinos de origem indiana (*Bos taurus indicus*), e o segundo denominado de *Bos primigenius primigenius*, que deu início à formação dos bovinos de origem européia (*Bos taurus taurus*) (ROSA et al., 2013). Assim, dois grupos raciais se tornaram fonte principal de pesquisa: os zebuínos (*Bos indicus*) e os taurinos (*Bos taurus*) devido às suas distintas características (MACHUGH et al., 1997).

Taurinos do continente europeu incluem, basicamente, as raças dos países baixos, das regiões do noroeste europeu, sudoeste da Inglaterra e do interior do continente, podendo ser divididos em dois subgrupos: o primeiro com peso variando de 450 a 500 quilos, tendo como exemplo as raças Hereford, Belgian Blue, Holandês, Jersey e Guernsey, incluindo animais leiteiros e de dupla aptidão, e o segundo com peso de abate variando de 500 a 610 kg, aproximadamente, sendo considerados os de maior porte, com grande desenvolvimento muscular e alta produção de carne. As raças Blonde D'Aquitaine, Limousin, Charolês, Simental e Chianina são alguns exemplos (ROSA et al., 2013). Na Figura 6 estão alguns exemplos de Taurinos continentais.



Figura 4. Taurinos continentais: Raças Blonde D'Aquitaine (esquerda) e Charolês (direita).
Fonte: <http://www.abccriadores.com.br/Racas.aspx>

Os **Taurinos mochos das ilhas britânicas** se destacam por serem os de menor porte entre as raças taurinas e considerados os mais precoces quanto à idade reprodutiva, acabamento, maciez e suculência da carne, devido ao alto grau de marmoreio (CHAVES et al., 2017; ROSA et al., 2013). Podem estar prontos para o abate quando alcançam peso de cerca de 420 a 450 quilos (ROSA et al., 2013). Na figura 7 estão inclusos dois exemplos de taurinos britânicos.

A raça Angus se destaca pela precocidade para atingir a puberdade, resultando em um menor ciclo de crescimento e peso menor, e são capazes de atingir o peso de abate ainda jovens, aliado à produção de carne de alta qualidade, caracterizada pelo alto grau de marmorização, fato este que traz grandes benefícios econômicos aos produtores (ABA, 2017).



Figura 5. Taurinos britânicos: Raças Angus (esquerda) e Red Poll (direita). Fontes: <http://www.abccriadores.com.br/Racas.aspx>; <https://www.redpoll.org/gallery/72157681553777283/>

Estes dois grupos citados se diferenciam, basicamente, pela taxa de crescimento, que é maior nos taurinos continentais, os quais também apresentam menor precocidade sexual e de deposição de gordura que os britânicos, além de maiores custos de manutenção e um menor grau de acabamento (CUNDIFF et al., 1993; CHAVES et al., 2017; ROSA et al., 2013).

Os taurinos europeus, devido ao longo processo de seleção, apresentam características produtivas elevadas, desde que em seu ambiente de criação (ROSA et al., 2013), requerendo, para isto, temperaturas de maior conforto térmico (ROSSATO et al., 2009). Quando criadas em clima tropical, não conseguem apresentar os mesmos atributos de produtividade por conta dos estressores ambientais (temperatura, ataque de parasitas, entre outros) (BURROW et al., 2001).

Os **Zebuínos**, em comparação com os taurinos, são tolerantes às condições climáticas tropicais (altas temperaturas e umidade, infestação parasitária e maior exposição aos raios solares) (ROSA et al., 2013), unindo rusticidade e boa performance sob baixas condições nutricionais (RESTLE et al., 1999).

Assim, sob condições tropicais e subtropicais, o zebu é uma alternativa, devido à sua característica de resistência (SANTANA JR. et al., 2016). O peso de abate destes animais varia de 460 a 500 Kg (ROSA et al., 2013). Dentre os fatores que diferenciam os zebuínos dos taurinos, estão a presença de cupim e barbela, membros de maior comprimento e cascos mais resistentes, apropriados para caminhadas a longa distância, pele mais fina e solta (facilitando a troca de calor) e, ao mesmo tempo, mais resistente aos raios solares e ao ataque de parasitas, graças à sua coloração escura e secreção de substância repelente pelas glândulas sudoríparas, apresentando, além disso, menores exigências em água e nutrientes, menor trato digestivo e baixa taxa de metabolismo basal, o que gera menos calor, contribuindo com a característica de adaptabilidade (ROSA et al., 2013; MAGEE et al., 2014).

Estes animais apresentam, entretanto, menor desempenho quanto ao crescimento muscular e carne com menor deposição de gordura e baixa maciez, quando comparados aos taurinos, além de não apresentarem gordura de marmoreio (intramuscular) (CHAVES et al., 2017).

Cerca de 90% do rebanho brasileiro é composto por animais zebuínos da raça Nelore (AROEIRA et al., 2017), a qual se tornou predominante no Brasil devido à sua produtividade e adaptabilidade às condições tropicais (TIZIOTO et al., 2012), mostrando rusticidade e boa performance sob baixas condições nutricionais e estando altamente presente na cadeia produtiva de carne (RESTLE et al., 1999). Exemplos de zebuínos estão na Figura 8.



Figura 6. Zebuínos: Raças Nelore e Gir (da esquerda para a direita). Fonte: <http://www.abccriadores.com.br/Racas.aspx>

Pode-se afirmar que, em termos de acabamento de carcaça, as raças continentais são mais tardias do que as zebuínas, as quais são mais tardias que as mochas britânicas (LOPES et al., 2008). Em contrapartida, as raças taurinas continentais de maior porte são as que apresentam o maior rendimento de cortes cárneos (FELÍCIO, 1999).

3.5 Estratégias de melhoramento genético para o aumento na qualidade da carne bovina

Determinadas características afetam as despesas e o retorno econômico do sistema produtivo, como o crescimento e os atributos da carcaça (JORGE JÚNIOR et al., 2007), e o conceito de melhoramento genético animal se fundamenta na adoção de estratégias para modificar o perfil genético do rebanho de forma a promover um aumento da rentabilidade para o setor produtivo, utilizando-se, para isto, dos processos de seleção e cruzamento (YOKOO et al., 2015; ALENCAR, 2004).

Seleção consiste na escolha dos melhores animais que irão dar origem à geração posterior (SALMAN, 2007), e objetiva, simplesmente, o aprimoramento de determinado padrão gênico de interesse a ser transmitido para a geração seguinte, como no caso do aprimoramento das raças puras, e, dessa forma, são escolhidos os melhores animais para serem precursores da próxima geração (EUCLIDES FILHO, 1999). A seleção de animais para as características de importância econômica é utilizada de forma estratégica com o objetivo de alcançar melhoras no desempenho produtivo (ALENCAR, 2004).

O cruzamento consiste na reprodução entre indivíduos com diferentes perfis raciais ou mesmo entre diferentes espécies (SALMAN, 2007), e a união de alguns genótipos é de grande importância para que se possam alcançar melhorias no sistema de produção, no sentido de reduzir custos e melhorar o retorno financeiro (EUCLIDES FILHO et al., 2002). Os cruzamentos são utilizados quando pretende-se produzir animais com desempenho superior aos seus ascendentes a partir da heterose, ou vigor híbrido, a qual é mais intensa quanto mais distante geneticamente forem as raças cruzadas, a exemplo das raças zebuínas e taurinas (CARDOSO, 2009).

A heterose está relacionada à ocorrência de heterozigose, onde os cromossomos homólogos apresentam diferenças entre si (EUCLIDES FILHO, 1996). A heterozigose calcula o quanto os alelos de um *locus* específico podem originar-se de raças diferentes, e quando os cruzamentos envolvem dois animais de raças distintas, os mestiços apresentarão 100% de heterozigose, já que existe 100% de probabilidade de que cada um desses alelos seja proveniente destas duas raças (FRIES, 1996).

Através da utilização de cruzamento entre taurinos e zebuínos, o sistema produtivo, além da heterose, consegue usufruir dos efeitos da combinação de características de grande importância, como a rusticidade dos zebuínos e o caráter precoce e melhor desempenho em crescimento e acabamento de carcaça dos taurinos (EUCLIDES FILHO, 1996).

Os cruzamentos podem proporcionar carne e carcaça de melhor qualidade, sendo de grande importância o aproveitamento, por parte dos produtores, dos benefícios gerados por esta técnica (PEREIRA et al., 2015).

Ao longo de muitos anos, houve a incorporação de uma grande variedade de bovinos no Brasil, tanto com relação ao perfil racial quanto aos locais de origem, e grande parte desses animais, inicialmente, eram de origem Ibérica. No século XX, a atenção dada ao melhoramento genético dos animais levou à busca por conhecimento a respeito do acasalamento das raças zebuínas com as de origem europeia (EUCLIDES FILHO, 1999). O país sofreu intensas modificações na produção de carne nos últimos anos, alcançando elevado patamar de produção e contando com grande número de animais, com destaque para as raças zebuínas (LUCHIARI FILHO, 2006).

Hoje, o Brasil é detentor de 214,69 milhões de cabeças de gado, com um número de animais abatidos chegando a 44,23 milhões de cabeças por ano, sendo que o setor pecuário movimentou um montante de R\$ 597,22 bilhões em 2018, segundo a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC) (ABIEC, 2019). Além disso, o Brasil ocupa o segundo lugar em produção e o primeiro lugar em exportação de carne bovina a nível mundial (USDA, 2019). O maior volume da carne bovina brasileira exportada abastece países como Hong Kong (24%), China (19%), Egito (11%) e países da União Europeia (7%), além de Chile (7%) e Irã (5%), dentre outros (ABIEC, 2019).

Nos últimos anos, houve uma melhora no perfil do rebanho local com a introdução de raças taurinas, como Aberdeen Angus, na região sul do país, onde o clima é mais ameno, contribuindo com uma melhor adaptabilidade do rebanho (AROEIRA et al., 2016). No restante do país, por sua vez, predominaram os cruzamentos dos taurinos com animais zebuínos (FERRAZ; FELÍCIO, 2010). Os cruzamentos entre zebuínos e taurinos britânicos tem como foco a melhoria dos parâmetros de precocidade (LOPES et al., 2008). A raça Angus representa o maior volume de sêmen comercializado para a pecuária de corte no país, sendo o genótipo de escolha para a melhoria do rebanho brasileiro (ASBIA, 2019). No cruzamento simples, há o acasalamento entre duas raças, como Nelore \times Angus, por exemplo, gerando mestiços $\frac{1}{2}$ Nelore $\frac{1}{2}$ Angus, (ou F_1), detentores do mais alto grau de heterozigose (100%) (MENEZES et al., 2016; EUCLIDES FILHO, 1996).

Entretanto, o cruzamento *Bos indicus* \times *Bos taurus* pode dar origem a animais mais exigentes nutricionalmente (NRC, 1996), além de ainda gerar problemas de adaptabilidade, como maior susceptibilidade a parasitas, gerando maiores custos com relação ao seu controle (FERRAZ; FELÍCIO, 2010).

Concomitantemente, aumentando o grau sanguíneo de *Bos indicus* nos cruzamentos, a maciez e a suculência da carne diminuem (PHELPS et al., 2017). $\frac{1}{2}$ *Bos indicus* ou mais nos cruzamentos ainda pode comprometer a qualidade da carne, de acordo com Johnson et al. (1990). E este é um fator importante, considerando que, quanto maior a porcentagem de *Bos indicus* nos cruzamentos, maiores são os valores observados para a força de cisalhamento e menor a maciez, devido à maior atividade da enzima calpastatina nos animais zebuínos, a qual atua inibindo a fase de amaciamento da carne, por inibir a ação das calpaínas (PRINGLE et al., 1997; SHACKELFORD et al., 1995; JOHNSON et al., 1990; WHIPPLE et al., 1990; CROUSE et al., 1989).

Os **taurinos adaptados ao clima tropical** foram formados com o intuito de dar origem a animais taurinos com características de adaptabilidade às condições tropicais através de processos de seleção e cruzamento, sendo exemplos as raças Caracu, Senepol e Bonsmara. Além da adaptabilidade aos trópicos, estes animais produzem carne com qualidade característica das raças taurinas européias (ROSA et al., 2013; BATTISTELLI, 2012).

Os taurinos adaptados são recomendados em combinação com animais *Bos indicus* puros ou derivados de cruzamento *Bos indicus* \times *Bos taurus* para contribuir com atributos de produtividade e, ao mesmo tempo, reforçar suas características de adaptabilidade (BURROW, 2006). Assim, cruzamentos envolvendo zebuínos e taurinos adaptados e não adaptados podem ser de grande utilidade para melhorar a produção de carne bovina brasileira, tornando o sistema produtivo mais competitivo (EUCLIDES FILHO et al., 2002).

A raça Senepol (Figura 9) é um exemplo de taurino adaptado formado através do cruzamento entre o taurino africano N'Dama e o taurino britânico Red Poll a partir da década de 1900, com o objetivo de criar uma raça taurina adaptada ao clima tropical do Caribe, em substituição aos taurinos europeus até então utilizados, os quais apresentavam baixo desempenho produtivo devido às condições climáticas da região (HUPP, 1978).

No cruzamento triplo terminal, por exemplo, os produtos F_1 são acasalados com uma terceira raça ($\frac{1}{2}$ Nelore $\frac{1}{2}$ Angus \times terceira raça), produzindo descendentes chamados de *Three-Cross* ($\frac{1}{4}$ Nelore $\frac{1}{4}$ Angus $\frac{1}{2}$ terceira raça), gerando, também, uma heterozigose de 100% (MENEZES et al., 2016; EUCLIDES FILHO, 1996). Sendo assim, a utilização destas raças é de grande utilidade quando se deseja obter um animal com 50% de sangue taurino adaptado às condições tropicais (BATTISTELLI, 2012).



Figura 7. Bovinos da raça Senepol. Fonte: <http://senepol.org.br/fotos/caracteristicas-e-vantagens/>

Esta raça apresenta grande adaptabilidade ao clima tropical, como resistência ao ataque de parasitas e às altas temperaturas, além de crescimento rápido, encurtando, assim, o ciclo de produção e, ao mesmo tempo, produzindo carne em quantidade, devido à alta musculabilidade, e em qualidade, por conta da maciez, o que proporciona maiores ganhos ao produtor (ABCB Senepol, 2019). É recomendada em cruzamentos com Angus × Nelore para melhorar determinadas características de adaptabilidade, como menor proporção de pelos nos animais, por exemplo (SILVA et al., 2018).

Animais da raça Senepol começaram a ser introduzidos no Brasil no ano 2000, e hoje o país conta com o maior rebanho do mundo (ABCB Senepol, 2019), sendo considerada uma raça recente e de grande valor comercial no país (PEREIRA, 2017).

No Brasil e no mundo, trabalhos na literatura envolvendo análise de qualidade da carne em envolvendo esta raça e seus cruzamentos ainda são pouco expressivos (FRANCISCO et al., 2016; HUERTA-LEIDENZ et al., 2004; NASSU et al., 2013; BRITO, 2013; LOPES et al., 2012; JEREZ-TIMAURE et al., 2015), entretanto, abates técnicos realizados no Brasil mostraram resultados promissores, tanto para a raça pura quanto em cruzamentos *Three cross* com as raças Nelore e Angus (PEREIRA; SILVA, 2004; ABCB Senepol, 2019).

REFERÊNCIAS

- ABA – Associação Brasileira de Criadores de Angus. 2017. Disponível em: <https://angus.org.br/angus/vantagens-da-raca/porque-criar/>. Acesso em: 17/04/2018.
- ABCB - Associação Brasileira de Criadores de Bovinos Senepol. [2019] Disponível em: < <http://senepol.org.br/acessotemporario.net/vantagens/>>. Acesso em: 20 de setembro de 2019.
- ABCB - Associação Brasileira de Criadores de Bovinos Senepol. [2019] Disponível em: < <http://senepol.org.br/senepol-no-brasil/>>. Acesso em: 20 de setembro de 2019.
- ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. 2019. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/control/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>. Acesso em: 12 de março de 2019.
- ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. 2019. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/Sumario2019.aspx>. Acesso em: 12 de março de 2019.
- ACNB – Associação de Criadores de Nelore do Brasil. [2018]. Disponível em: < <http://www.nelore.org.br/Raca/Historico>>. Acesso em: 21 de dezembro de 2018.
- ALENCAR, M. M. de. **Perspectivas para o melhoramento genético de bovino de corte no Brasil**. 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPPSE/15172/1/PROCIMMA2004.00003.pdf>. Acesso em: 25/06/2018.
- APPLE, J. K.; YANCEY, J. W. S. Water-Holding Capacity of Meat. In: KERTH, C. R. **The Science of Meat Quality**. Oxford: John Wiley & Sons, Inc., 2013, p. 119-145.
- AROEIRA, C. N.; TORRES FILHO, R. A.; FONTES, P. R.; GOMIDE, L. A. M.; RAMOS, A. L. S.; LADEIRA, M. M.; RAMOS, E. M. Freezing, thawing and aging effects on beef tenderness from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. **Meat Science**, v.116, p.118-125, 2016.
- AROEIRA, C. N.; TORRES FILHO, R. de A.; FONTES, P. R.; RAMOS A. de L. S.; GOMIDE, L. A. de M.; LADEIRA, M. M.; RAMOS, E. M. Effect of freezing prior to aging on myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nelore and Aberdeen Angus cattle. **Meat Science**, v.125, p.16-21, 2017.
- ASBIA - Associação Brasileira de Inseminação Artificial. 2019. **Venda de sêmen de Angus cresce 28% no Brasil**. Disponível em: <http://www.asbia.org.br/venda-de-semen-angus-cresce-28-no-brasil/>. Acesso em: 19/08/2019.
- BATTISTELLI, J. V. F. **Alternativas de Cruzamento Utilizando Raças Taurinas Adaptadas ou Não sobre Matrizes Nelore para a Produção de Novilhos Precoces**. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campo Grande, 2012.
- BAUMAN, D. E.; BAUMGARD, L. H.; CORL, B. A.; GRIINARI, J. M. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. **Proceedings of the American Society of Animal Science**, 1999.

BESSA, R. J. B.; SANTOS-SILVA, J.; RIBEIRO, J. M. R.; PORTUGAL, A. V. Reticulo-rumen biohydrogenation and the enrichment of ruminant edible products with linoleic acid conjugated isomers. **Livestock Production Science**, v. 63, p. 201-211, 2000.

BIESALSKI, H. -K. Meat as a component of a healthy diet – are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet? **Meat Science**, v. 70, p. 509-524, 2005.

BRADEN, K. W. Converting muscle to muscle: the physiology of rigor. In: KERTH, C. R. **The Science of Meat Quality**. Oxford: John Wiley & Sons, Inc., 2013, p. 79-97.

BRITO, G. F. de. **Desempenho e características da carcaça e da carne de bovinos de diferentes grupos genéticos**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

BUCCIONI, A.; DECANDIA, M.; MINIERI, S.; MOLLE, G.; CABIDDU, A. Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. **Animal Feed Science and Technology**, v. 174, p.1-25, 2012.

BURROW, H. M.; MOORE, S. S.; JOHNSTON, D. J.; BARENDSE, W.; BINDON, B. M. Quantitative and molecular genetic influences on properties of beef: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 41, p.893-919, 2001.

BURROW, H. M. **Utilization of diverse breed resources for tropical beef production**. In: Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte, 2006.

CARDOSO, F. F. Ferramentas e estratégias para o melhoramento genético de bovinos de corte. Bagé: Embrapa Pecuária Sul. **Documentos**. 43 p. 2009.

CHAVES, A. R. D.; LIMONI, B. H. de S.; GOMES, M. de N. B.; DUARTE, M. T.; BRIXNER, B. M.; SOARES, E. S. de M.; PORTELA, L. da C.; BRITO, T. R. R.; PERESTRELO, A. A.; PAULA, L. C. de. Raças Bovinas e a qualidade da carne. **Anais...X Mostra Científica Famez**, Campo Grande, p.294-300, 2017.

CHIN, S. F.; STORKSON, J. M.; ALBRIGHT, K. J.; COOK, M. E.; PARIZA, M. W. Conjugated linoleic acid is a growth factor for rats as shown by enhanced weight gain and improved feed efficiency. **The Journal of Nutrition**, v.124, p.2344-2349, 1994.

CHRISTIE, W. W. Fatty Acids: Polyunsaturated with methylene-interrupted double bonds. **The Lipid Web**, 2018. Disponível em: <http://www.lipidhome.co.uk/lipids/fa-eic/fa-poly/index.htm>. Acesso em: 24/11/2018.

CHRISTIE, W. W. Fatty Acids: Straight-Chains Saturated. **The Lipid Web**, 2018. Disponível em: <http://www.lipidhome.co.uk/lipids/fa-eic/fa-sat/index.htm>. Acesso em: 23/11/2018.

CHRYSTALL, B. B.; DEVINE, C. E. Electrical stimulation: its early development in New Zealand. In: PEARSON, A. M.; DUTSON, T. R. **Advances in Meat Research**. Connecticut: AVI Publishing Company, Inc., 1985, p.73- 119.

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

CUNDIFF, L. V.; SZABO, F.; GREGORY, K. E.; KOCH, R. M.; DIKEMAN, M. E.; CROUSE, J. D. **Breed comparisons in the germplasm evaluation program at MARC**. Presented at the Beef Improvement Federation 25th Anniversary Conference, Asheville, N. C. 1993.

DIAS, V. A. D. **Polimorfismos dos genes IGF2, PMCH e RORC em bovinos Nelore e cruzados: variabilidade e relação com características de carcaça e da carne**. 40 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento Animal). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2012.

EATON, S. B.; EATON III, S. B.; SINCLAIR, A. J.; CORDAIN, L.; MANN, N. J. Dietary intake of long-chain polyunsaturated fatty acids during the paleolithic. In: SIMOPOULOS, A. P. (Ed.). **The Return of n3 Fatty Acids into the Food Supply. I Land-Based Animal Food Products and Their Health Effects**. Basel: Karger, v. 83, p.12-23, 1998.

ELMORE, J. S.; MOTTRAM, D. S.; ENSER, M.; WOOD, J. D. Effect of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p.1619-1625, 1999.

ELMORE, J. S.; MOTTRAM, D. S.; ENSER, M.; WOOD, J. D. Novel thiazoles and 3-thiazolines in cooked beef aroma. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.45, p.3603-3607, 1997.

ELZO, M. A.; JOHNSON, D. D.; WASDIN, J. G.; DRIVER, J. D. Carcass and meat palatability breed differences and heterosis effects in an Angus-Brahman multibreed population. **Meat Science**, v. 90, p.87-92, 2012.

ENSER, M.; SCOLLAN, N.; GULATI, S.; RICHARDSON, I.; NUTE, G.; WOOD, J. The effects of ruminally-protected dietary lipid on the lipid composition and quality of beef muscle. **Anais...** Proceedings of the 47th International Congress of Meat Science and Technology, v. 1, p.12-13, 2001.

EUCLIDES FILHO, K.; FIGUEIREDO, G. R. de; EUCLIDES, V. P. B.; SILVA, L. O. C. da; CUSINATO, V. Q. Eficiência bionutricional de animais da raça Nelore e seus mestiços com Caracu, Angus e Simental. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, p.331-334, 2002.

EUCLIDES FILHO, K. E. Cruzamento em gado de corte. Embrapa-CNPGC. **Coleção Criar**. 68 p. 1996.

EUCLIDES FILHO, K. Melhoramento genético animal no Brasil: fundamentos, história e importância. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte. **Documentos**. 63 p. 1999.

FELÍCIO, P. E. Fatores *ante e post mortem* que influenciam na qualidade da carne bovina. In: **Produção de Novilho de Corte**. 1 ed. Piracicaba: FEALQ, 1997, v. único, p. 79-97.

FELÍCIO, P. E. de. Perspectivas para a tipificação de carcaça bovina. **Anais...** Simpósio Internacional sobre Tendências e Perspectivas da Cadeia Produtiva de Carne Bovina –

SIMPOCARNE. São Paulo, 1999. Disponível em: <https://www.fea.unicamp.br/sites/fea/files/dta/laboratorios/PPCD/Simpocarne1.pdf> Acesso em: 13/07/2018.

FENNEMA, O.; CARPENTER, J. Water activity in muscle and related tissues. **Reciprocal Meat Conference Proceedings**, v.37, 1984.

FERNANDES, A. R. M.; SAMPAIO, A. A. M.; OLIVEIRA, E. A. de; PIVARO, T. M.; HENRIQUE, W.; ROSA, B. L.; OSÓRIO, J. C. da S.; OSÓRIO, M. T. M. Ácidos graxos da gordura de cobertura do contrafilé de bovinos Nelore e Canchim terminados em confinamento e alimentados com diferentes níveis de concentrado nas dietas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, p.467-476, 2014.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. de. Production systems – Na example from Brazil. **Meat Science**, v.84, p.238-243, 2010.

FRANCISCO, V. C.; SILVA, M. L. P.; FLEMING, V. N.; SAKAMOTO, L. S.; FERREIRA, A. U. C.; NASSU, R. T. **Análise sensorial descritiva de carne bovina proveniente de animais cruzados**. In: XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Gramado, 2016.

FRANK, D.; OYTAM, Y.; HUGHES, J. Sensory Perceptions and new consumer attitudes to meat. In: PURSLOW, P. **New Aspects of Meat Quality**. Duxford: Academic Press, Elsevier, p.667-698, 2017.

FRANK, D.; BALL, A.; HUGHES, J.; KRISHNAMURTHY, R.; PIYASIRI, U.; STARK, J.; WATKINS, P.; WARNER, R. Sensory and flavor chemistry characteristics of Australian beef: influence of intramuscular fat, feed, and breed. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.64, p.4299-4311, 2016.

FRENCH, P.; STANTON, C.; LAWLESS, F.; O'RIORDAN, E. G.; MONAHAN, F. J.; CAFFREY, P. J.; MOLONEY, A. P. Fatty acid composition, including conjugated linoleic acid, of intramuscular fat from steers offered grazed grass, grass silage, or concentrated-based diets. **Journal of Animal Science**, v.78, p.2849-2855, 2000.

FRIES, L. A. Calculando e decompondo heterozigoses. **Anais...** Simpósio Nacional de Melhoramento Animal. Ribeirão Preto, 1996.

GOLL, D. E.; THOMPSON, V. F.; LI, H.; WEI, W.; CONG, J. The Calpain System. **Physiological Reviews**, v.83, p.731-801, 2003.

GOVINDARAJAN, S.; SNYDER, H. E. Fresh meat color. **CRC Critical Reviews in Food Technology**, v.4, p.117-140, 1973.

GRANT, W. D. Life at low water activity. **Philosophical Transactions of Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, v.359, p.1249-1267, 2004.

HAMM, R. Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. In: BECHTEL, P. J. (Ed.). **Muscle as a food**. New York: Academic Press, Inc., 1986, p.135-199.

HARFOOT, C. G.; HAZLEWOOD, G. P. Lipid metabolism in the rumen. In: HOBSON, P. N.; STEWART, C. S. **The Rumen Microbial Ecosystem**. London: Blackie Academic & Professional, 2^a ed., p.382-426, 1997.

HARRIS, P. V. Structural and other aspects of meat tenderness. **Journal of Texture Studies**, v. 7, p.49-63, 1976.

HONIKEL, K. O.; HAMM, R. Measurement of water-holding capacity and juiciness. In: PEARSON, A. M.; DUTSON, T. R. **Advances in Meat Research. Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products**. Salisbury: Springer-Science+Business Media Dordrecht, 1994, p.125-161.

HORNSTRA, G.; LUSSENBURG, R. N. Relationship between the type of dietary fatty acid and arterial thrombosis tendency in rats. **Atherosclerosis**, v.22, p.499-516, 1975.

HUERTA-LEIDENZ, N. P; RODAS-GONZÁLEZ, A. R.; SMITH, G. Effect of Vacuum Aging and Influence of Sire on Palatability of Beef *Longissimus* from Grass-fed F1 Senepol × Zebu bulls. **Revista Científica**, v.15, p.0, 2004.

HUFF LONERGAN, E. Tenderizing mechanisms: Enzymatic. In: DICKEMAN, M.; DEVINE, C. **Encyclopedia of Meat Science**. London: Academic Press, Elsevier, p.438-443, 2^a ed., 2014. HUFF LONERGAN, E.; ZHANG, W.; LONERGAN, S. M. Biochemistry of *postmortem* muscle – Lessons on mechanisms of meat tenderization. **Meat Science**, v. 86, p. 184-195, 2010.

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

HUGHES, J. M.; OISETH, S. K.; PURSLOW, P. P.; WARNER, R. D. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. **Meat Science**, v. 98, p. 520-532, 2014.

HUIDOBRO, F. R. de; MIGUEL, E.; BLÁZQUEZ, B.; ONEGA, E. A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. **Meat Science**, v. 69, p.527-536, 2005.

HUPP, H. D. History and development of Senepol cattle. In: HUPP, H. D. **Agricultural Experiment Station Report**, p. 12, 1978.

IMMONEN, K.; RUUSUNEN, M.; PUOLANNE, E. Some effects of residual glycogen concentration on the physical and sensory quality of normal pH beef. **Meat Science**, v. 55, p. 33-38, 2000.

IP, C.; CHIN, S. F.; SCIMECA, J. A.; PARIZA, M. W. Mammary cancer prevention by conjugated dienoic derivative of linoleic acid. **Cancer Research**, v. 51, p. 6118-6124, 1991.

IP, C.; SINGH, M.; THOMPSON, H. J.; SCIMECA, J. A. Conjugated linoleic acid suppresses mammary carcinogenesis and proliferative activity of the mammary gland in the rat. **Cancer Research**, v. 54, p. 1212-1215, 1994.

JENKINS, T. C.; ABUGHAZALEH, A. A.; FREEMAN, S.; THIES, E. J. The production of 10-hydroxystearic and 10-ketostearic acids is an alternative route of oleic acid transformation by the ruminal microbiota in cattle. **The Journal of Nutrition**, v.136, p.926-931, 2006.

JEREZ-TIMAURE, N.; MARTÍNEZ, G.; GONZÁLEZ, M. Valor Comercial de la Canal y de la Carne de Toretas Senepol × Brahman em Venezuela. **Revista Científica**, v.25, p.462-470, 2015.

JOHNSON, D. D.; HUFFMAN, R. D.; WILLIAMS, S. E.; HARGROVE, D. D. Effectos of Percentage Brahman and Angus Breeding, Age-season of Feeding and Slaughter End Point on Meat Palatability and Muscle Characteristics. **Journal of Animal Science**, v.68, p.1980-1986, 1990.

JOHNSON, D. E.; HILL, T. M.; WARD, G. M.; JOHNSON, K. A.; BRANINE, M. E.; CARMEAN, B. R.; LODMAN, D. W. Ruminants and other animals. In: KHALIL, M. A. K. **Atmospheric Methane: Sources, Sinks, and Role in Global Change**. Oregon: Springer-Verlag, v. 13, p. 199-229, 1993.

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, p. 828-836, 2013.

JORGE JÚNIOR, J.; CARDOSO, V. L.; ALBUQUERQUE, L. G. de. Objetivos de seleção e valores econômicos em sistemas de produção de gado de corte no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p.1549-1558, 2007.

JUÁREZ, M.; ALDAI, N.; LÓPEZ-CAMPOS, Ó.; DUGAN, M. E. R.; UTTARO, B.; AALHUS, J. L. Beef Texture and Juiciness. In: HUI, Y. H. **Handbook of Meat and Meat Processing**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC, 2012, p.177-206.

KHAN, M. I.; JO, C.; TARIQ, M. R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors – A systematic review. **Meat Science**, v. 110, p.278-284, 2015.

KOOHMARAIE, M. Muscle proteinases and meat aging. **Meat Science**, v. 36, p.93-104, 1994.

KOZLOSKI, G. V. Metabolismo microbiano ruminal. In: KOZLOSKI, G. V. (aut.). **Bioquímica dos ruminantes**. Santa Maria: UFSM, 3ª ed., p. 9-99, 2017.

KRAMER, J. K.; PARODI, P. W.; JENSEN, R. G.; MOSSOBA, M. M.; YURAWECZ, M. P.; ADLOF, R. O. Rumenic acid: a proposed common name for the major conjugated linoleic acid isomer found in natural products. **Lipids**, v. 33, p.835, 1998.

KUO, I. Y.; EHRLICH, B. E. Signaling in muscle contraction. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**, v.7, doi: 10.1101/cshperspect.a006023.

LABUZA, T. P. Sorption phenomena in foods: theoretical and practical aspects. In: RHA, CHOKYUN. **Theory, Determination and Control of Physical Properties of Food Materials**. Boston: D. Redel Publishing Company, v. 1, p. 197-219, 1975.

LAGE, J. F.; PAULINO, P. V. R.; VALADARES FILHO, S. C.; SOUZA, E. J. O.; DUARTE, M. S.; BENEDETI, P. D. B.; SOUZA, N. K. P.; COX, R. B. Influence of genetic type and level

of concentrate in the finishing diet on carcass and meat quality traits in beef heifers. **Meat Science**, v. 90, p. 770-774, 2012.

LANA, A.; ZOLLA, L. Proteolysis in meat tenderization from the point of view of each single protein: A proteomic perspective. **Journal of Proteomics**, v. 147, p.85-97, 2016.

LEE, K. W.; LEE, H. J.; CHO, H. Y.; KIM, Y. J. Role of the conjugated linoleic acid in the prevention of cancer. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 45, p. 135-144, 2005.

LEFAUCHEUR, L. A second look into typing – Relation to meat quality. **Meat Science**, v. 84, p. 257-270, 2010.

LEISTNER, L.; RÖDEL, W. The significance of water activity for micro-organisms in meats. In: DUCKWORTH, R. B. **Water Relations of Foods**. London: Academic Press, p. 309-323, 1975.

LIEBER, R. L. Skeletal muscle anatomy. In: LIEBER, R. L. **Skeletal muscle structure, function, & plasticity**. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, p. 1-44, 2002.

LIGHT, N.; CHAMPION, A. E.; VOYLE, C.; BAILEY, A. J. The role of epimysial, perimysial and endomysial collagen in determining texture in six bovine muscles. **Meat Science**, v. 13, p. 137-149, 1985.

LISTRAT, A.; LEBRET, B.; LOUVEAU, I.; ASTRUC, T.; BONNET, M.; LEFAUCHEUR, L.; PICARD, B.; BUGEON, J. How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. **The Scientific World Journal**, v. 2016, 14 p. 2016.

LOPES, J. S.; RORATO, P. R. N.; WEBER, T.; RODRIGUES, R. D.; COMIN, J. G.; DORNELLES, M. de A. Metanálise para características de carcaças de bovinos de diferentes grupos genéticos. **Ciência Rural**, v.38, p.2278-2284, 2008.

LUCHIARI FILHO, A. Produção de carne bovina no Brasil: qualidade, quantidade ou ambas? In: Simpósio sobre Desafios e Novas Tecnologias na Bovinocultura de Corte. **Palestras...**Brasília, Distrito Federal, 2006.

MACHUGH, D. E.; SHRIVER, M. D.; LOFTUS, R. T.; CUNNINGHAM, BRADLEY, D. G. Microsatellite DNA variation and the evolution, domestication and phylogeography of Taurine and Zebu cattle (*Bos taurus* and *Bos indicus*). **Genetics**, v. 146, p. 1071-1086, 1997.

MACLEOD, G. The flavor of beef. In: SHAHIDI, F. **Flavor of Meat and Meat Products**, Salisbury: Springer Science+Business Media Dordrecht, 1994, p.4-37.

MACY, R. L.; NAUMANN JR, H. D.; BAILEY, M. E. Water-Soluble Flavor and Odor Precursors of Meat. II. Effects of Heating on Amino Nitrogen Constituents and Carbohydrates in Lyophilized Diffusates from Aqueous Extracts of Beef, Pork and Lamb. **Journal of Food Science**, 29, p.142-148, 1964.

MAGEE, D. A.; MACHUGH, D. E.; EDWARDS, C. J. Interrogation of modern and ancient genomes reveals the complex domestic history of cattle. **Animal Frontiers**, v.4, p.7-22, 2014.

- MALTIN, C.; BALCERZAK, D.; TILLEY, R.; DELDAY, M. Determinants of meat quality: tenderness. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 62, p. 337-347, 2003.
- MANCINI, R. Meat Color. In: KERTH, C. R. **The Science of Meat Quality**. Oxford: John Wiley & Sons, Inc., 2013, p. 177-198.
- MANCINI, R. A.; HUNT, M. C. Current research in meat color. **Meat Science**, v. 71, p. 100-121, 2005.
- MARMER, W. N.; MAXWELL, R. J.; WILLIAMS, J. E. Effects of dietary regimen and tissue site on bovine fatty acid profiles. **Journal of Animal Science**, v. 59, p.109-121, 1984.
- MARSH, B. B. The basis of tenderness in muscle foods. **Journal of Food Science**, v. 42, p. 295-297, 1977.
- MARTIN, C. A.; ALMEIDA, V. V. de; RUIZ, M. R.; VISENTAINER, J. E. L.; MATSHUSHITA, M.; SOUZA, N. E. de; VISENTAINER, J. V. Ácidos graxos poli-insaturados ômega-6 e ômega-3: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, v. 19, p. 761-770, 2006.
- MARTINS, T. R. **Parâmetros genéticos para características de importância zootécnica em bovinos da raça Senepol**. 58 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Goiás, Escola de Veterinária e Zootecnia, Goiânia, 2018.
- MASON, A.; MURADOV, M.; ABDULLAH, B.; AL-SHAMMA'A, A.; ALVSEIKE, O. Rapid Non-Destructive Prediction of Water Activity in Dry-Cured Meat. **Proceedings**, v.2, 1003, 2018, doi: 10.3390/proceedings2131003.
- MATARIM, D. L. **Estimativa de parâmetros genéticos para características de carcaça avaliadas por ultrassom, com ênfase na gordura intramuscular, em bovinos Nelore**. 54 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, 2015.
- MATARNEH, S. K.; ENGLAND, E. M.; SCHEFFLER, T. L.; GERRARD, D. E. The conversion of muscle to meat. In: TOLDRÁ, F. **Lawrie's Meat Science**. Duxford: Elsevier Ltd., p.159-185, 8ª ed., 2017.
- MATTSON, F. H.; GRUNDY, S. M. Comparison of effects of dietary saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids on plasma lipids and lipoproteins in man. **Journal of Lipid Research**, v. 26, p.194-202, 1985.
- MCDONALD, B. E.; GERRARD, J. M.; BRUCE, V. M.; CORNER, E. Comparison of the effect of canola oil and sunflower oil on plasma lipids and lipoproteins and on vivo thromboxane A₂ and prostacyclin production in healthy young men. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.50, p.1382-1388, 1989.
- MENEZES, G. R. de O.; ROSA, A. do N. F.; PEREIRA G. de M. Cruzamentos aplicados à pecuária de corte. **Informe Agropecuário**, v.37, p.97-107, 2016.

MILLER, C. C.; PARK, Y.; PARIZA, N. W.; COOK, M. E. Feeding conjugated linoleic acid to animals partially overcomes catabolic responses due to endotoxin injection. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 198, p. 1107-1112, 1994.

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

MOTTRAM, D. S.; EDWARDS, R. A. The role of triglycerides and phospholipids in the aroma of cooked beef. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v.34, p.517-522, 1983.

MUIR, P. D.; DEAKER, J. M.; BOWN, M. D. Effects of forage- and grain-based feeding systems on beef quality: A review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 41, p. 623-635, 1998.

NASSU, R. T.; VERRUMA-BERNARDI, M. R.; TULLIO, R. R.; CRUZ, G. M. da; ALENCAR, M. M. de. Qualidade e perfil sensorial descritivo da carne maturada proveniente de animais cruzados. **ASA**, v.1, p.13-25, 2013.

NUERNBERG, K.; DANNENBERGER, D.; NUERNBERG, G.; ENDER, K.; VOIGT, J.; SCOLLAN, N. D.; WOOD, J. D.; NUTE, G. R.; RICHARDSON, R. I. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of *longissimus* muscle in different cattle breeds. **Livestock Production Science**, v. 94, p. 137-147, 2005.

OFFER, G. Modelling of the Formation of Pale, Soft and Exudative Meat: Effects of Chilling Regime and Rate and Extent of Glycolysis. **Meat Science**, v.30, p.157-184, 1991.

OFFER, G.; COUSINS, T. The Mechanism of Drip Production: Formation of Two Compartments of Extracellular Space in Muscle *Post Mortem*. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 58, p.107-116, 1992.

OFFER, G.; TRINICK, J. On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils. **Meat Science**, v. 8, p. 245-281, 1983.

OJHA, K. S.; HARRISON, S. M.; BRUNTON, N. P.; KERRY, J. P.; TIWARI, B. K. Statistical approaches to access the effect of *Lactobacillus sakei* culture ultrasound frequency on fatty acid profile of beef jerky. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.57, p.1-7, 2017.

O'QUINN, T. G.; LEGAKO, J. F.; BROOKS, J. C.; MILLER, M. F. Evaluation of the contribution of tenderness, juiciness, and flavor to the overall consumer beef eating experience. **Translational Animal Science**, v. 2, p.26-36, 2018.

OUALI, A. Meat tenderization: possible causes and mechanisms. A Review. **Journal of Muscle Foods**, v. 1, p.129-165, 1990.

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

PEREIRA, L. S. **Estimativa de parâmetros genéticos para características reprodutivos as mensuradas por ultrassonografia em fêmeas da raça Senepol**. Monografia (Graduação em Medicina Veterinária). Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Medicina Veterinária, Uberlândia, 2017.

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

PEREIRA, A. S. C.; SILVA, S. da L e. Avaliação de características de carcaça e da qualidade da carne de novilhos Senepol. **Relatório Técnico**. 2004. Disponível em: <http://senepol.org.br/abates-tecnicos/>. Acesso em: 18 de setembro de 2019.

PEREIRA, A. S. C. **Qualidade da carne de bovinos Nelore (*Bos taurus indicus*) suplementados com vitamina E**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, 2002.

POWELL, T. H.; HUNT, M. C.; DIKEMAN, M. E. Enzymatic assay to determine collagen thermal denaturation and solubilization. **Meat Science**, v. 54, p. 307-311, 2000.

PRADO, I. N.; MAGGIONI, D.; ABRAHÃO, J. J. dos S.; ZAWADZKI, F.; VALERO, M. V.; MARQUES, J. de A.; ITO, R. H.; PEROTTO, D. Composição química e perfil de ácidos graxos do músculo *Longissimus* de bovinos de diferentes grupos genéticos alimentados com silagem de sorgo ou cana-de-açúcar e terminados com 3,4 ou 4,8 mm de espessura de gordura de cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, p. 1461-1476, 2011.

PRADO, I. N.; PRADO, R. M.; ROTTA, P. P.; VISANTAINER, J. V.; MOLETTA, J. L.; PEROTTO, D. Carcass characteristics and chemical composition of the *Longissimus* muscle of Purunã and ½ Purunã vs. ½ Canchin bulls meat quality of bulls. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 21, p. 1296-1302, 2008.

PRINGLE, T. D.; WILLIAMS, S. E.; LAMB, B. S.; JOHNSON, D. D.; WEST, R. L. Carcass Characteristics, the Calpain Proteinase System, and Aged Tenderness of Angus and Brahman Crossbred Steers. **Journal of Animal Science**, v. 75, p.2955-2961, 1997.

PURSLOW, P. P. Contribution of collagen and connective tissue to cooked meat toughness; some paradigms reviewed. **Meat Science**, v. 144, p. 127-134, 2018.

PURSLOW, P. P.; OISETH, S.; HUGHES, J.; WARNER, R. D. The structural basis of cooking loss in beef: variations with temperature and ageing. **Food Research International**, v. 89, p.739-748, 2016.

PURSLOW, P. P. Strain-induced reorientation of an intramuscular connective tissue network: implications for passive muscle elasticity. **Journal of Biomechanics**, v. 22, p. 21-31, 1989.

PURSLOW, P. P. The physical basis of meat texture: observations on the fracture behavior of cooked bovine *M. Semitendinosus*. **Meat Science**, v. 12, p.39-60, 1985.

RESCONI, V. C.; ESCUDERO, A.; CAMPO, M. M. The development of aromas in ruminant meat. **Molecules**, v.18, p.6748-6781, 2013.

RESTLE, J.; VAZ, F. N.; QUADROS, A. R. B. de; MÜLLER, L. Características de carcaça e da carne de novilhos de diferentes genótipos de Hereford x Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, p. 1245-1251, 1999.

ROÇA, R. de O. **Modificações *post-mortem***. [2018]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267303164_MODIFICACOES_POST-MORTEM. Acesso em: 02/05/2018a.

ROÇA, R. de O. **Refrigeração**. [2018]. Disponível em: <https://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/Gestaoetecnologia/Teses/Roca108.pdf>. Acesso em: 05/05/2018b.

ROSA, A. do N.; MARTINS, E. N.; MENEZES, G. R. de O.; SILVA, L. O. C. da. **Melhoramento Genético Aplicado em Gado de Corte – Programa Geneplus**. 1ª ed. Brasília, Distrito Federal: Embrapa. 2013. 256 p.

ROSSATO, L. V.; BRESSAN, M. C.; RODRIGUES, E. C.; CAROLINO, M. I. A. de C. M.; BESSA, R. J. B.; ALVES, S. P. P. Composição lipídica de carne bovina de grupos genéticos taurinos e zebuínos terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 1841-1846, 2009.

ROTTA, P. P.; PRADO, R. M. do; PRADO, I. N. do; VALERO, M. V.; VISENTAINER, J. V.; SILVA, R. R. The effects of genetic groups, nutrition, finishing systems and gender of Brazilian cattle on carcass characteristics and beef composition and appearance: A review. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v, 22, p. 1718-1734, 2009.

RPCS – Red Poll Cattle Society. 2019. Disponível em: <<https://www.redpoll.org/gallery/72157681553777283/>> Acesso em: 12 de março de 2019.

SALMAN, A. K. D. Conceitos básicos de genética de populações. Embrapa Rondônia. **Documentos**. 27 p. 2007.

SANTANA JR.; PEREIRA, R. J.; BIGNARDI, A. B.; AYRES, D. R.; MENEZES, G. R. O.; SILVA, L. O. C.; LEROY, G.; MACHADO, C. H. C.; JOSAHKIAN, L. A.; ALBUQUERQUE, L. G. Structure and genetic diversity of Brazilian zebu cattle breeds assessed by pedigree analysis. **Livestock Science**, v. 187, p.6-15, 2016.

SCOLLAN, N. D.; CHOI, N. -J.; KURT, E.; FISHER, A. V.; ENSER, M.; WOOD, J. D. Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. **British Journal of Nutrition**, v. 85, p. 115-124, 2001.

SENTANDREU, M. A.; COULIS, G.; OUALI, A. Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. **Trends in Food Science & Technology**, v 13, p. 400-421, 2002.

SHACKELFORD, S. D.; WHEELER, T. L.; KOOHMARAIE, M. Relationships Between Shear Force and Trained Sensory Panel Tenderness Rating of 10 Major Muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* Cattle. **Journal of Animal Science**, v.73, p.3333-3340, 1995.

- SHAHIDI, F. Flavor of meat and meat products – an overview. In: SHAHIDI, F. **Flavor of Meat and Meat Products**, Salisbury: Springer Science+Business Media Dordrecht, 1994, p.1-3.
- SHARIFZADEH, S.; CLEMMENSEN, L. H.; BORGGAARD, C.; STØIER, S.; ERSBØLL, K. Supervised feature selection for linear and non-linear regression of L*a*b* color from multispectral images of meat. **Meat Science**, v. 27, p. 211-227, 2014.
- SILVA, A. L. da; SATO, G. Y. P.; BORDIN, R. de A.; BUENO, R. A raça Senepol como alternativa para o melhoramento genético em bovinos de corte. **Revista Eletrônica Anima Terra**, v., p.27-52, 2018.
- SILANIKOVE, N. The struggle to maintain hydration and osmoregulation in animals experiencing severe dehydration and rapid rehydration: The history of ruminants. **Experimental Physiology**, v. 79, p. 281-300, 1994.
- SIMOPOULOS, A. P. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 54, p. 438-63, 1991.
- SIMOPOULOS, A. P. Omega-3 fatty acids in wild plants, nuts and seeds. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**, v. 11, p. 163-173, 2002.
- SMITH, G. C.; CARPENTER, Z. L. **Eating quality of meat animal products and their fat content**. In: Proceedings of a Symposium, Washington, D. C., 1974, p.147-182.
- TAKAHASHI, K. Structural weakening of skeletal muscle tissue during post-mortem ageing of meat: the non-enzymatic mechanism of meat tenderization. **Meat Science**, v. 43, p.67-80, 1996.
- TIZIOTO, P. C.; MEIRELLES, S. L.; VENERONI, G. B.; TULLIO, R. R.; ROSA, A. N.; ALENCAR, M. M.; MEDEIROS, S. R.; SIQUEIRA, F.; FEIJÓ, G. L. D.; SILVA, L. O. C.; TORRES JÚNIOR, R. A. A.; REGITANO, L. C. A. A SNP in *ASAP1* gene is associated with meat quality and production traits in Nelore breed. **Meat Science**, v. 92, p. 855-857, 2012.
- USDA - United States Department of Agriculture. 2019. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>. Acesso em: 13.03.2019.
- VIMISO, P.; MUCHENJE, V.; MARUME, U.; CHIRUKA, R. Preliminary study on consumers' and meat traders' perceptions of beef quality and how the beef quality is affected by animal welfare practices. **Scientific Research and Essays**, v. 7, p. 2037-2048, 2012.
- WARNER, R. D. The eating quality of meat – IV water-holding capacity and juiciness. In: TOLDRÁ, F. **Lawrie's Meat Science**. P.419-459, 2017.
- WARRIS, P. D. Producing and eating meat In: WARRIS, P. D. **Meat Science: An introductory Text**. Bristol: CABI Publishing, 2000, p. 1-11.

WHIPPLE, G.; KOOHMARAIE, M.; DIKEMAN, M. E.; CROUSE, J. D.; HUNT, M. D.; KLEMM, R. D. Evaluation of attributes that affect *Longissimus* muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. **Journal of Animal Science**, v. 68, p. 2716-2728, 1990.

WIJENDRAN, V.; HAYES, K. C. Dietary *n*-6 and *n*-3 fatty acid balance and cardiovascular health. **Annual Review of Nutrition**, v. 24, p. 597-615, 2004.

WILLIAMS, P. Nutritional composition of red meat. **Nutrition & Dietetics**, v. 64, p. S113-S119, 2007.

WINGER, R. J.; HAGYARD, C. J. Juiciness-its importance and some contributing factors. In: PEARSON, A. M.; DUTSON, T. R. **Advances in Meat Research. Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products**. Salisbury: Springer Science+Business Media Dordrecht, 1994, p.94-124.

WOOD, J. D.; ENSER, M.; FISHER, A. V.; NUTE, G. R.; SHEARD, P. R.; RICHARDSON, R. I.; HUGHES, S. I.; WHITTINGTON, F. M. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: a review. **Meat Science**, v. 78, p.343-358, 2008.

YOKOO, M. J. -I.; CARDOSO, L. L.; SOLLENO, B. P.; CARDOSO, F. F. Avaliação de carcaça por ultrassom e sua aplicação prática. Embrapa Pecuária Sul. **Circular Técnica nº 48**, 1ª ed., 2015.

YOUNG, O. A.; WEST, J.; HART, A. L.; VAN OTTERDIJK, F. F. H. A method for early determination of meat ultimate pH. **Meat Science**, v. 66, p.493-498, 2004.

YU, S.; DERR, J.; ETHERTON, T. D.; KRIS-ETHERTON, P. M. Plasma cholesterol-predictive equations demonstrate that stearic acid is neutral and monounsaturated fatty acids are hypocholesterolemic. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.61, p.1129-39, 1995.

YU, L. P.; LEE, Y. B. Effects of *postmortem* pH and temperature on bovine muscle structure and meat tenderness. **Journal of Food Science**, v. 51, p.774-780, 1986.

ZORZI, K.; BONILHA, S. F. M.; QUEIROZ, A. C.; BRANCO, R. H.; SOBRINHO T. L.; DUARTE, M. S. Meat quality of Young Nellore bulls with low and high residual feed intake. **Meat Science**, v.93, p.593-599, 2013.

CHAPTER II

**$\frac{1}{4}$ NELLORE \times $\frac{1}{4}$ ANGUS \times $\frac{1}{2}$ SENEPOL (*THREE CROSSBREED*) EXHIBITED
IMPROVED PHYSICOCHEMICAL COMPOSITION, FATTY ACID PROFILE AND
AND SENSORY ATTRIBUTES COMPARED TO THOSE OF THE NELLORE
BREED AND NELLORE \times ANGUS CROSSBREED**

De: Meat Science

Enviado:terça-feira, 28 de janeiro de 2020 17:21

Para: van_ufba@yahoo.com.br

Assunto: Track your co-authored submission to Meat Science

Dear Dr Macedo,

Submission no: MEATSCI_2020_79

Submission title: $\frac{1}{4}$ Nellore \times $\frac{1}{4}$ Angus \times $\frac{1}{2}$ Senepol (Three crossbreed) exhibited improved physicochemical composition, fatty acid profile and sensory attributes compared to those of the Nellore breed and Nellore \times Angus crossbreed

Corresponding author: Dr Ronaldo Oliveira

Listed co-author(s): Dr Vanessa Macedo, Dr Rebeca Dantas Xavier Ribeiro, Miss Sergiane Alves de Araújo, Dr Mateus Neto Silva Souza, Professor Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro, Dr Carolina Oliveira de Souza, Professor Thadeu Mariniello Silva, Dr Analivia Barbosa, Dr Leilson Bezerra, Dr Jarbas Miguel da Silva Júnior

Dr Oliveira has submitted a manuscript to Meat Science and listed you as a co-author. This email is to let you know we will be in contact with updates at each decision stage of the submission process.

The link below takes you to a webpage where you can sign in to our submission system using your existing Elsevier profile credentials or register to create a new profile. You will then have the opportunity to tailor these updates and view reviewer and editor comments once they become available.

http://www.evise.com/profile/api/navigate/MEATSCI?resourceUrl=%2Fco-author%2F%3Fdgcid%3Dinvite_email_coauthoroutreach03091740%23%2FMEATSCI%2Fsubmission%2FMEATSCI_2020_79

If you are not a co-author of this manuscript, please contact Researcher Support at:

<https://service.elsevier.com>

Thank you very much for your submission and we will be in touch as soon as we have any news to share.

Meat Science

If you do not wish to receive further update emails on your co-authored submission, you can unsubscribe via this link:

http://www.evise.com/co-author/#/MEATSCI/unsubscribe/van_ufba@yahoo.com.br/9xHosEA_bp3raVhrsHmeYSTSFP4X52wJo0C9XSXdWscrgunHNcDXLVGpslfbpMxffaVAG3tLfujQnntCLYiRg

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59

1 $\frac{1}{4}$ Nellore \times $\frac{1}{4}$ Angus \times $\frac{1}{2}$ Senepol (*Three crossbreed*) exhibited improved
2 physicochemical composition, fatty acid profile and sensory attributes compared to
3 those of the Nellore breed and Nellore \times Angus crossbreed

4
5 Vanessa P. Macedo^a, Rebeca D. X. Ribeiro^b, Sergiane A. de Araújo^a, Mateus N. S. Souza^b,
6 Cláudio V. D. M. Ribeiro^b, Carolina O. de Souza^a, Thadeu M. Silva^b, Analívia M. Barbosa^b,
7 Leilson R. Bezerra^c, Jarbas M. S. Júnior^b, Ronaldo L. Oliveira^{b,1}

8
9 ^aFederal University of Bahia, Food Science Graduate Program, Pharmacy College, Av.
10 Ademar de Barros, 500, Ondina, 40170115, Salvador, Bahia, Brazil.

11 ^bFederal University of Bahia, School of Veterinary Medicine and Animal Science, Av. Ademar
12 de Barros, 500, Ondina, 40170110, Salvador, Bahia, Brazil.

13 ^cFederal University of Campina Grande, Department of Animal Science, Avenida Universitária,
14 s/n – Jatobá, 58708110, Patos, Paraíba, Brazil.

15
16 ¹Corresponding author: Ronaldo L. Oliveira, ronaldooliveira@ufba.br

17
18
19 **Abstract**

20 Aimed to compare the physicochemical and fatty acid compositions and sensory attributes of
21 *longissimus lumborum* muscle of three genetic groups: Nellore (Nell), $\frac{1}{2}$ Nellore \times $\frac{1}{2}$ Angus
22 (NellAn) and $\frac{1}{4}$ Nellore \times $\frac{1}{4}$ Angus \times $\frac{1}{2}$ Senepol (*Three crossbreed*). There was no difference
23 among groups ($P > 0.05$) in terms of most physicochemical composition parameters of the
24 muscle. *Three crossbreed* meat tended ($P < 0.1$) to be lighter and have less intense a^* and b^*
25 color values. The fatty acid profile showed that the Nell group ($P < 0.1$) had the highest amounts
26 of Σ SFAs and Σ MUFAs. The PUFAs 18:2 $c9$, $t11$ (CLA) and 20:3 $n-6$ were greater in the
27 muscle of the Nell breed. The *Three crossbreed* group presented meat with better ($P < 0.05$)
28 tenderness, juiciness and overall acceptance than those of the other groups, being the best
29 genetic group for beef production compared to Nell and NellAn.

30
31 **Keywords:** beef; fatty acids; *longissimus muscle*; physicochemical traits; sensory attributes

32
33 **Highlights**

60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118

- 34 • Nellore presented the highest concentrations of C12:0 and C14:0 in the *longissimus*
- 35 *lumborum*.
- 36 • Nellore and ½ Nellore × ½ Angus presented higher WHC values than that of the *Three*
- 37 *crossbreed* group.
- 38 • ΣSFAs and ΣMUFAs were higher and the ΣPUFA: ΣSFA ratio was lower in the Nellore
- 39 breed than in the other groups.
- 40 • Most of the physicochemical composition parameters of the *longissimus lumborum* did not
- 41 differ between genetic groups.
- 42 • The *Three crossbreed* group presented meat with better tenderness, juiciness and overall
- 43 acceptance than that of the other groups.

45 1. Introduction

46 The concept of meat quality is very broad and can be influenced by several factors that are
47 interrelated within the meat productive chain. Among those involved, one of the main factors
48 is the choice of genetic material to be used in the system because the utilized breed has a direct
49 influence on meat quality (Rotta et al., 2009). Thus, genetic improvement is an important tool
50 to increase meat quality, which is a problem in the production system, largely due to a lack of
51 fat deposition and low tenderness (Lage et al., 2012). The genotype *Bos indicus* is mostly used
52 in meat production (Aroeira et al., 2017), which impairs the abovementioned quality traits
53 (Prado et al., 2008). Taurine breeds, while raised in temperate climates, present great
54 performance, whereas in tropical regions, they are not capable of showing the same productive
55 attributes due to environmental stressors, which include hot temperatures and parasites.

56 In this sense, crossbreeding has been fundamental in intensifying the beef cattle production
57 system. Crossbreeding aims to exploit differences to find combinations (crosses) that best fit
58 the type of production (breeding, rearing or fattening), as well as the environmental conditions
59 and market requirements of each region. Thus, beef cattle producers began to explore genotypes
60 best suited for their production system; that is, genotypes that are more efficient in converting
61 consumed food into weight gain and meeting market demand, especially in carcass and meat
62 quality, are utilized (Koetz Junior et al., 2019).

63 Crossbreeding *Bos taurus* and *Bos indicus* aimed to explore complementarity between races
64 and the benefit of heterosis (Gama et al., 2013) in addition to improving carcass and meat traits,
65 such as tenderness (Lage et al., 2012). *B. indicus* meat was shown to be less tender than *B.*
66 *taurus* meat (Wheeler et al., 1990), and as the proportion of *B. indicus* increases in
67 crossbreeding, meat tenderness decreases (Crouse, Cundiff, Koch, Koohmaraie, & Seideman,

119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177

68 1989; Johnson, Huffman, Williams, & Hargrove, 1990; Rubensam, Felicio, & Termignoni,
69 1998). The difference in shear force between meat from *B. taurus* and *B. indicus* is attributed
70 to the behavior of the calpain/calpastatin complex during maturation (Whipple et al., 1990;
71 Lana & Zolla, 2016), where calpains partially rupture the myofilaments, rendering the meat
72 softer (Muroya, Nakajima, Oe, & Chikuni, 2006). However, the catalytic activity of these
73 enzymes is inhibited by calpastatin (Koochmaraie, Kent, Shackelford, Veiseth, & Wheeler,
74 2002), whose activity in the muscles of *B. indicus* animals is higher than in the muscles of *B.*
75 *taurus* (Rubensam et al., 1998).

76 The Nellore breed is the one most often chosen for crossbreeding due to its rusticity, good
77 performance and remarkable precocity in relation to other Zebu breeds; additionally, the
78 Nellore breed also presents a higher slaughter carcass yield than that of other Zebu and Taurus
79 breeds (Perotto, Abrahão, Moletta, Paula, & Kuss, 2009; Carvalho, Costa, Camargo &
80 Bittencourt, 2019). In addition, animals resulting from the crossbreed between Nellore and Red
81 Angus show a higher warm carcass yield, *longissimus dorsi* area, and carcass musculature
82 composition and lower bone content (Perotto et al., 2009) and higher fat thickness (Leme et al.,
83 2000) than that of other crossbreeds. Thus, three crossbreeding can further improve carcass
84 quality, meat production and animal quality if an adapted *Bos Taurus* animal is used. In this
85 sense, the Senepol (Hammond et al., 1996) breed stands out due to its high tolerance to tropical
86 climate compared to that of other Taurus breeds, and data related to genetic characterization of
87 this breed are still sparse (Flori et al., 2012). Furthermore, there is a lack of information on the
88 physicochemical and sensory meat attributes of this breed and its crosses.

89 In this context, meat quality improvement is related to the knowledge and control of some
90 of its attributes (Joo, Kim, Hwang, & Ryu, 2013). For the meat industry, knowledge about
91 customer meat quality preferences at the moment of purchase is of great importance (Vimiso,
92 Muchenje, Marume, & Chiruka, 2012). Therefore, the present study was conducted to test the
93 hypothesis that the genetic group $\frac{1}{4}$ Nellore \times $\frac{1}{4}$ Angus \times $\frac{1}{2}$ Senepol exhibits improved
94 physicochemical and sensory traits of the *longissimus* muscle.

95

96 2. Materials and Methods

97

98 2.1. Ethical consideration, treatment, animals and management

99 The experimental trial was conducted at the Veterinary and Animal Science School of
100 Federal University of Bahia (UFBA), located in Salvador, Bahia, Brazil. All performed

178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236

101 procedures followed the guidelines recommended by the Animal Care and Use Committee of
102 the same institution (CEUA/UFBA Process number 043/2019).

103 Beef samples of eighteen pasture finished steers, averaging 24 months of age, from the
104 groups Nellore (Nell), $\frac{1}{2}$ Nellore \times $\frac{1}{2}$ Angus (NellAn) and $\frac{1}{2}$ Senepol \times $\frac{1}{4}$ Nellore \times $\frac{1}{4}$ Angus
105 (Three crossbreed) were used.

106 The animals were grouped and finished in paddocks containing *Brachiaria brizantha* cv.
107 Marandu (two paddocks of 24 hectares each), provided with drinking sources and collective
108 feeders of nine meters in length for mineral supplementation specific to each category. Feeding
109 was similar for all genetic groups. The concentrate consisted of ground corn (54%), soybean
110 meal (40%), and mineral mixture (6%) and was offered at 1% of the body weight (BW). The
111 animals remained separated by group to reach the predetermined body weight of slaughter (500
112 to 600 kg).

113

114 2.2. Slaughter and physicochemical properties of meat

115 At the end of the experimental period, the animals were fasted for 16 h and weighed to obtain
116 body weight at slaughter (BWS) values; then, they were sent to a commercial slaughterhouse
117 located 1,000 m away from the experimental farm. The animals were slaughtered following the
118 guidelines of the Federal Inspection Service (FIS) of humane slaughter in accordance with
119 Brazilian Ministry of Agriculture and Livestock regulations (Normative no 03/00, MAPA,
120 Brazil). At slaughter, after skinning and evisceration, the carcasses were cut into two halves,
121 and the initial pH (pH₀) was measured in the *longissimus dorsi* muscle between the 6th and 7th
122 ribs using a digital potentiometer (model HI99163, HANNA Instruments, São Paulo, Brazil).
123 Then, the carcasses were sent to the cold chamber where they remained cooled for 24 hours at
124 4 °C. After 24 h, the final pH (pH_{24h}) of the carcasses was measured using the same procedure
125 previously described for pH₀, both according to the AOAC (2012). A transverse cut was made
126 between the 12th and 13th ribs, section HH (Greiner, Rouse, Wilson, Cundiff, & Wheeler, 2003).
127 Then, samples of the *longissimus lumborum* muscle, approximately 2.5 cm thick, were
128 collected, packed in aluminum foil and plastic film, and frozen in a freezer (−18 °C) for further
129 analysis of the physicochemical properties, fatty acid composition and sensory attributes.
130 Before starting the analysis, the meat samples were thawed in plastic bags in a refrigerator at
131 10°C for 20 h.

132 The water holding capacity (WHC) was determined in triplicate by the pressure method as
133 described by Hamm (1986), based on the difference in weight before and after the meat sample

237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295

134 (2 g) was subjected to a force equivalent to 10 kg for 5 min. The amount of water loss of the
135 sample was expressed as the percentage of water retention.

136 To determine the cooking weight loss (CWL), meat was weighed before and after cooking.
137 A stainless-steel thermocouple (Gulterm 700; Gultron of Brazil) was positioned in the center
138 (geometric) of each sample to monitor the internal temperature. During cooking, when the
139 internal temperature reached 71°C, the samples were removed from the grill (George Foreman
140 Jumbo Grill GBZ6BW, Rio de Janeiro, Brazil), placed in plastic packaging and submitted to an
141 ice water bath until the sample reached room temperature. The weight loss of each sample was
142 obtained from the difference between the weights before and after cooking and expressed as a
143 percentage. After being weighed, the samples remained at 4 °C overnight for subsequent texture
144 analysis according to the American Meat Science Association (AMSA 2016). The cooking
145 yield was calculated using the following equation: yield = (weight of cooked sample/weight of
146 raw sample) × 100.

147 A texture analyzer (Texture Analyzer TX-TX2, Mecmesin, Nevada, United States) fitted
148 with a Warner–Bratzler-type shear blade with a load of 25 kgf and a cutting speed of 20 cm/min
149 (Shackelford, Wheeler, & Koohmaraie, 1999) was used to determine the shear force. Meat
150 samples were brought to room temperature prior to WBSF analysis. At least three cores with a
151 1.27 cm diameter and 2.0 cm in length that were parallel to the muscle fibers were removed
152 from each sample using a cork borer. Each core was sheared perpendicularly to the fiber
153 direction.

154 *Longissimus lumborum* samples were exposed to air for 30 min. After this period, color
155 measurements were taken on the surfaces of the samples with a handheld CR-410 Minolta
156 colorimeter (Chroma Meter CR-410, Konica Minolta, Tokyo, Japan), according to the
157 Commission International l'Eclairage (CIE) system, using L*, a*, b* coordinates, illuminant
158 D65 and a 10° standard observer angle (Miltenburg, Wensing, Smulders, & Breukink (1992).
159 The saturation index (chroma, C*) was calculated as $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ according to Hunt and
160 King (2012).

161 The protein, lipid, moisture, ash and collagen contents of *longissimus lumborum* samples
162 were determined by near infrared spectroscopy (NIR) in a FoodScan™ apparatus (FOSS
163 Analytical A/S, Hillerod, Denmark) according to methods approved by the AOAC (2007). The
164 *longissimus* water activity (A_w) was assessed by using an Aqualab LITE® (Decagon Devices
165 Inc., Pullman, WA, USA) device.

166

167 2.2. Fatty acid composition

296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354

168 The fatty acid composition was carried out according to O'Fallon, Busboom, Nelson, &
169 Gaskins (2007), with adaptations. Briefly, 0.5 g of freeze-dried samples was weighed into 12-
170 mL tubes, and 1 mL of internal standard solution in methanol (1 mg 19:0/mL), 5.3 mL of
171 methanol and 0.7 mL of 10 N aqueous potassium hydroxide were added to each tube. Then, the
172 tubes were incubated in a water bath at 55 °C for 1.5 h, and every 20 min, they were vigorously
173 hand shaken for 5 seconds. The tubes were then cooled in a tap water bath, and 0.58 mL of 24
174 N aqueous sulfuric acid was added for a second water bath cycle, as described. The tubes were
175 cooled again in a cold tap water bath, and 3 mL of hexane was added to each tube.

176 The test tubes were vortexed (Fisatom 772, São Paulo, Brazil) for 5 min and centrifuged for
177 5 min (CENTRIBIO 80-2B, EQUIPAR Ltda., Paraná, Brazil). The supernatants were collected
178 and placed into GC vials.

179 Fatty acid methyl ester separation was carried out using a gas chromatograph (Focus GC
180 Thermo Electron S.P.A., Milan, Italy) fitted with a flame ionization detector and a SP-2560
181 column (100 m × 0.25 mm × 0.20 µm; Supelco Inc., Bellefonte, PA, USA). The initial oven
182 temperature was set to 140 °C for 5 min, increased at a rate of 1 °C.min⁻¹ to 220 °C, and held
183 for 25 min. The carrier gas was hydrogen, with a 1.3 mL.min⁻¹ flow rate. The injector
184 temperature was 250 °C, and the detector temperature was 280 °C. The injection volume was 1
185 µL, and the split ratio was 30:1.

186 Identification of the fatty acid methyl esters was performed by comparing the methyl ester
187 retention times in the samples to those of the GLC-674 Standard Mixture (Nu-Chek Prep Inc.
188 Elysian, USA), containing 52 fatty acids. Quantification was based on the Sukhija & Palmquist
189 (1988) method and was performed with the following formula: [(total area under the peaks) –
190 (area under internal standard peak/area of internal standard) × (internal standard
191 concentration/dry weight of the sample)]. The results were expressed in milligrams of fatty acid
192 per 100 grams of beef (mg/100 g).

193 The sums of the total saturated (ΣSFAs), unsaturated (ΣUFAs) monounsaturated (ΣMUFAs)
194 and polyunsaturated fatty acids (ΣPUFAs), Σn-6 and Σn-3 were calculated, as well as the
195 ΣUFA:ΣSFA, ΣMUFA:ΣSFA, PUFA:SFA, ΣPUFA:ΣMUFA and Σn-6:Σn-3 ratios. To
196 evaluate the nutritional quality of the lipid fraction of the *longissimus lumborum* muscle, the
197 atherogenicity index (AI), thrombogenicity index (TI), according to Ulbricht & Southgate
198 (1991), and the relationship between hypocholesterolemic and hypercholesterolemic fatty acids
199 (h:H) (Santos-Silva, Bessa, & Santos-Silva, 2002) were calculated. The stearoyl Co-A
200 desaturase (Δ⁹ desaturase) activities for 6:0 (palmitic acid) and 18:0 (stearic acid) as well as the
201 elongase activity (De Smet, Raes, & Demeyer, 2004) were also estimated.

355
356
357 202
358
359 203 *2.3. Sensory attributes*
360 204 Consumer appeal was evaluated using the affective method or hedonic scale of nine points
361
362 205 and a panel composed of 80 untrained testers. Raw meat samples of each genetic group were
363
364 206 cut into cubes of approximately 2.0 cm³ and weighed approximately 16 g. The samples were
365
366 207 then grilled in a preheated electric grill (George Foreman Jumbo Grill GBZ6BW, Rio de Janeiro,
367 208 Brazil) at 170 °C until the temperature of the geometric center reached 71 °C. The samples were
368
369 209 then transferred to preheated, coded beakers covered with aluminum foil to ensure minimum
370 210 loss of heat and aroma volatiles, and these were kept in a water bath (Marconi – Piracicaba -
371 211 SP, Brazil) at 75 °C so that the temperature of the samples remained between 65 and 70 °C until
372 212 distribution to the tasters. No salt or condiments were added. Water and cream crackers were
373 213 provided to remove the aftertaste between tastings that may have accompanied the meat
374 214 samples.
375 215 Sensory attribute analyses were performed between 09:00 h and 11:00 h in individual
376 216 compartments. Sensory attributes were determined using a structured scale of nine points, with
377 217 1 meaning disliked very much; 2, very displeased; 3, disliked moderately; 4, slightly disliked;
378 218 5, indifferent; 6, liked slightly; 7, liked moderately; 8, liked a lot; and 9, liked very much. The
379 219 evaluated attributes were flavor, aroma, tenderness, juiciness and overall acceptance.
380 220
381 221 *2.4. Statistical analysis*
382 222 Statistical analysis was carried out with Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., Cary,
383 223 NC, USA) using analysis of variance (ANOVA) of data from the completely randomized design
384 224 study of the three groups (genetic groups: Nellore (Nell), ½ Nellore × ½ Angus (NellAn) and
385 225 ½ Senepol × ¼ Nellore × ¼ Angus (Three crossbreed)), which included the effects of the genetic
386 226 group. Duncan's test was used to compare least square means. The means were significantly
387 227 different when $P < 0.05$, and trends were determined at the level of $P < 0.10$.
388 228 The following statistical model was used: $Y_{ij} = \mu + s_i + e_{ij}$, where Y_{ij} = the observed
389 229 value, μ = the general mean, s_i = the effect of the genetic group, and e_{ij} = the effect of the
390 230 experimental error in the plots.
391 231
392 232 **3. Results**
393 233
394 234 *3.1. Physicochemical properties*
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413

414
415
416 235 There was no difference among groups ($P > 0.05$) in the initial and final, or 24 h, pH, C*
417 236 (saturation) color parameter, shear force, cooking loss, protein, lipid, moisture, ash, or collagen
418 237 contents or the water activity of *longissimus lumborum* samples (Table 1). The water holding
419 238 capacity ($P = 0.002$) was high for all groups, with significantly higher scores for the Nell and
420 239 NellAn groups than that of the Triple crossbreed group, averaging 83.4% and 82.2%,
421 240 respectively. crossbreed group presented a lower WHC (78.3%) than that of the Nell and
422 241 NellAn groups. Meat samples from the Triple crossbreed group exhibited a trend of a higher
423 242 L^* ($P = 0.070$) than that of the NellAn group and lower a^* ($P = 0.091$) and b^* ($P = 0.085$)
424 243 values than those of the Nell group; that is, the Three crossbreed meat was brighter and less
425 244 intensely red and yellow than the meat from the other groups.
426 245

427 246 3.2. Fatty acid composition

428 247 The *longissimus lumborum* fatty acid profile (Table 2) showed that the muscle from the Nell
429 248 group had the highest amount of Σ SFAs, with higher concentrations of 12:0 ($P = 0.068$) and
430 249 14:0 ($P = 0.009$) than those of the meat from the NellAn and Three crossbreed groups, which
431 250 were similar. The Nell group had significantly higher amounts of 18:1 $t11$ ($P = 0.026$), 14:1 $c9$
432 251 ($P = 0.042$), 16:1 $c9$ ($P = 0.029$), 18:1 $c9$ ($P = 0.023$) and 18:1 $c11$ ($P = 0.076$) than those of
433 252 the NellAn and Three crossbreed groups, which were similar. The PUFAs 18:2 $c9$ and $t11$ (CLA)
434 253 were higher in *longissimus lumborum* samples from the Nell breed than in samples from the
435 254 NellAn breed and similar to those of the Three crossbreed samples. For the 20:3 $n-6$ fatty acid,
436 255 the Nell breed samples also had higher level than that of the other two genetic groups. However,
437 256 the 20:5 $n-3$ concentration was higher in the NellAn breed than in the Nell breed. The SFAs
438 257 15:0, 16:0, 17:0, and 18:0, MUFA 15:1 $c10$ and PUFAs 18:2 $n-6$, 18:3 $n-3$, 20:4 $n-6$ and 22:5
439 258 $n-3$ did not differ between the compared genetic groups.

440 259 The Σ PUFA, Σ UFA: Σ SFA, Σ MUFA: Σ SFA, $\Sigma n-6$, $\Sigma n-3$, and $\Sigma n-6$: $\Sigma n-3$, values and the Δ^9 -
441 260 desaturase C18 and elongase enzymatic activities did not differ among the genetic groups
442 261 (Table 3). The Σ SFA ($P = 0.077$), Σ UFA ($P = 0.086$) and Σ MUFA ($P = 0.057$) concentrations
443 262 exhibited trends of being higher, and the Σ PUFA: Σ SFA ratio was lower ($P = 0.053$) in the Nell
444 263 group than in the NellAn group, and the values of both groups were similar to those of the Three
445 264 crossbreed group. The Δ^9 -desaturase C16 activity ($P = 0.082$) presented a significant trend of
446 265 being higher in the Nell and Three crossbreed groups than in the NellAn group. The
447 266 atherogenicity index (AI; $P = 0.070$) of the *longissimus lumborum* tended to be lower in the
448 267 crossbreeds than in the Nell breed. There was no difference among groups in terms of the
449 268 thrombogenicity index (TI; $P = 0.401$) or h:H ($P = 0.386$) index.
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472

473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531

269

270 3.3. Sensory attributes

271 The Three crossbreed group presented meat with better tenderness ($P = 0.001$), juiciness (P
272 = 0.023) and overall acceptance ($P = 0.018$) than those of the Nell and NellAn groups, which
273 exhibited no differences between each other. There was no difference among groups in terms
274 of the aroma ($P = 0.786$) and flavor ($P = 0.315$) of the *longissimus lumborum* samples (Table
275 4).

276

277 4. Discussion

278

279 4.1. Physicochemical properties

280 The average initial and final pH (24 h) in the *longissimus lumborum* samples observed in the
281 present study did not differ between the evaluated genetic groups. Appropriate reduction in the
282 final pH in relation to slaughter was observed, and the pH values 24 h after slaughter remained
283 in the range of 5.4 to 5.9, which are considered adequate values for maintaining quality and
284 shelf life (Matarneh, England, Scheffler, & Gerrard, 2017). Acidification of the muscle is
285 caused by the accumulation of lactic acid from ATP resynthesis of glucose from glycogen stores
286 (Duarte et al., 2011). In addition, it was observed for the three genetic groups that the final pH
287 was close to the upper limit. This is because cattle kept exclusively on pasture normally have
288 relatively low glycogen availability at slaughter and therefore a relatively low final meat pH
289 (Neath et al., 2007). Thus, possibly, the average values found in the present study (close to the
290 upper limit of the acceptable range) were a reflection of the diet (pasture finishing) associated
291 with the appropriate antemortem conditions.

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

The results of the C* color parameter, shear force, cooking loss, protein, lipid, moisture, ash,
and collagen contents and water activity of *longissimus lumborum* showed no differences
between the genetic groups. In this work, the average shear force was not influenced by the
genetic groupings, as well as the average cooking loss, which was not expected since *B. taurus*
and *B. taurus* × *B. indicus* crossbred animals showed lower values of shear strength than those
of Nell animals (Wulf, Emmett, Leheska, & Moeller, 2002; Belew, Brooks, McKenna, & Savell,
2003; Bianchini et al., 2007). In the centesimal composition of the muscle *B.*, fat is the
component with the greatest variation, and usually, the amounts of deposited fat result from the
balance between dietary energy and metabolic requirements (NRC, 1996). In the present study,
the absence of an effect of genetic group on the fat content may be justified by the possible
similarities between these animals in terms of their rates of intake and nutrient requirements.

532
533
534 303 However, the *longissimus lumborum* samples from the Nell and NellAn groups had higher
535 304 WHC values and were darker than the Three crossbreed samples. Wulf, O'Connor, Tatum, and
536 305 Smith (1997) found darker color in meat from *Bos indicus* than from *B. taurus* breeds,
537 306 indicating a trend toward darker color in Zebu animals. Highly temperamental cattle can
538 307 develop a relatively dark meat color (Voisinet, Grandin, O'Connor, Tatum, & Deesing, 1997a)
539 308 due to water metabolism, and as the *B. indicus* percentage in crossbreedings increases, cattle
540 309 temperament becomes more undesirable, which can promote beef darkening (Voisinet,
541 310 Grandin, Tatum, O'Connor, & Struthers, 1997b).

542 311 The results indicated lower L* (luminosity) and higher a* (redness) and b* (yellowness)
543 312 values in Nell and NellAn meat than in the Three crossbreed meat, which agrees with the
544 313 findings of Voisinet et al. (1997a), who found that cattle with darker meat exhibited a more
545 314 excitable temperament. In general, the mean L* values found in the meat of both the Nell and
546 315 NellAn genetic groups were low, demonstrating that these meats were darker than the normally
547 316 described averages. Factors reported in the literature to influence the luminosity of meat are the
548 317 animal diet, age, and physical activity and the amount of color pigments, amount of fat and
549 318 final pH of the meat (Muchenje et al., 2009). In the present study, the animals used were not
550 319 castrated, which, as described by Rodrigues & Andrade (2004), have meat with a lower L*
551 320 intensity than that of castrated animals, possibly due to the lower amount of intramuscular fat.
552 321 Muchenje et al. (2009) describe that in cattle, the average brightness varies between 33.2 and
553 322 41.0, the average a* value varies between 11.1 and 23.6, and the average b* value varies
554 323 between 6.1 and 11.3. Abularach et al. (1998) classified meat as dark when L* <29.68 and meat
555 324 as light when L* > 38.51. Regarding the intensity of red, they considered an a* value <14.83 as
556 325 low and an a* value > 29.27 as high; for the intensity of yellow, b* <3.40 was low and b* > 8.28
557 326 was high. Thus, it can be inferred that the only meat considered satisfactory in terms of this
558 327 classification was from the Three crossbreed group.

559 328
560 329 *4.2. Fatty acid composition*

561 330 The higher concentrations of 14:0, 16:0 and 18:0 in the Nell meat than in the NellAn and
562 331 Three crossbreed meat were in accordance with Rossato et al. (2010) and Bressan, Rodrigues,
563 332 Rossato, Ramos, and da Gama (2011), who also observed higher concentrations of these SFAs
564 333 in *B. indicus* animals. These results can indicate a tendency for Zebu breeds to accumulate more
565 334 SFAs than European breeds, which was probably influenced the differences found between the
566 335 Nell and crossbred groups.

567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590

591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649

336 The increased content of Σ MUFAs in meat from the Nell group compared to that in the mat
337 from the crossbred groups, especially 18:1 *c*9, may be related to breed type. Bressan et al. (2016)
338 found few differences in MUFA concentrations according to genetic group, with higher
339 concentrations in *B. indicus* than in *B. taurus* \times *Bos indicus*. According to Smith, Gill, Lunt, &
340 Brooks (2009), this parameter may affect desaturase activities and, hence, the concentration of
341 MUFAs. The Nell meat had a significantly higher concentration of 18:1 *t*11 than that in the
342 meat from the other groups, which was probably related to the higher intake of 18:2 *n*-6 and
343 18:3 *n*-3 by the Zebu breed than by the crossbreeds, with increased intermediate FA production
344 (incomplete biohydrogenation) (Rossato et al., 2010).

345 The Δ^9 -desaturase activities were similar between the Three crossbred and Nell groups.
346 Gama et al. (2013) also observed no significant genetic influence on Δ^9 -desaturase-C16
347 activity and no difference in Δ^9 -desaturase-C18 activity among *B. indicus* and crossbreeds.

348 In addition to 18:1 *t*11, CLA was primarily present in meat from the Nell group, followed
349 by that in the meat of the Three crossbred group. Conjugated linoleic acid (CLA) can be
350 synthesized by the conversion of 18:1 *t*11 in tissues (Bauman, Baumgard, Corl, & Griinari,
351 1999), and this process is also initiated by desaturases (Smith et al., 2009). The FAs 18:1 *t*11
352 and CLA are primarily formed in triacylglycerols, and their concentrations increase as the fat
353 content increases (Wood et al., 2008). Thus, the differences found in the 18:1 *t*11 and CLA
354 contents are also probably due the differences in Δ^9 -desaturase activities, which is described as
355 more active in animals with a higher fat content (Aldai et al., 2006). This fact can also explain
356 the decreased Δ^9 -desaturase activities in NellAn, which had lower lipid proportions, indicating
357 no influence of genetic group.

358 Meat from animals with only Nellore genetics (Nell) showed a higher Σ SFA content than
359 that of the crossbred groups, and SFAs are more harmful to human health than other FAs, as
360 stated in the specialized literature (Scientific Review Committee, 1990). Metz et al. (2009) also
361 observed that the Σ SFA content is higher in animals with a predominance of zebu in their
362 genetics than taurine.

363 The Σ PUFA: Σ SFA ratio was lower for the Nell genetic group than for the other groups
364 (0.125) and low for the three genetic groups, ranging from 0.125 to 0.163, as observed by
365 Climaco et al. (2011) in works with a *B. taurus* \times *B. indicus* crossbreed. According to the
366 Department of Health (DHA 1994), the diet is considered unhealthy if the Σ PUFA: Σ SFA ratio
367 is less than 0.4. Additionally, according to the DHA (1994), the *n*-6:*n*-3 ratio should be less
368 than 4:1. Although there was no significant difference, the ratio for the three genetic groupings
369 was approximately 2:1; that is, the ratios were in high accordance with the recommendations

650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708

370 of the DHA and well below the average ratio found in the Western diet, which is 17:1 (Wood
371 et al., 2008). However, according to these authors, a 1:1 ratio is currently recommended in
372 healthier diets.

373 The lack of significant differences between genetic groups for most of the FA composition
374 parameters corroborates the findings of Pires et al. (2008), who also did not observe differences
375 in FA composition between four genetic groups (Nellore, Nellore \times Canchim, Nellore \times
376 Limousin and Aberdeen Angus \times Nellore) and commented that one of the main factors affecting
377 the lipid composition of meat is feed. In this study, the atherogenicity index (AI) found in Nell
378 (0.79) was above the range stated by Ulbricht & Southgate (1991) for beef (0.70) and decreased
379 significantly in the crossbreeds. SFAs 12:0, 14:0 and 16:0 have the most pro-atherogenic
380 potential, whereas Σ MUFAs and Σ PUFAs have antiatherogenic effects (Ojha, Harrison,
381 Brunton, Kerry, & Tiwari, 2017).

382 Conversely, the thrombogenicity index (TI) gradually decreased as the *Bos indicus*
383 percentage decreased, indicating the influence of crossbreeding on the decreased accumulation
384 of undesirable Σ SFAs compared to that in the Nell group. The
385 hypocholesterolemic:hypercholesterolemic ratio (h:H) evaluates cholesterol metabolism, and
386 as the h:H ratio increases, the cholesterol presence decreases, and while 12:0 and 14:0 lead to
387 a hypercholesterolemic index, PUFAs lead to an increase in the hypocholesterolemic effect
388 (Ojha et al., 2017). The crossbreed groups tended to have increased hypocholesterolemic
389 activity, related to their significantly lower undesirable SFA amounts. As described earlier, the
390 Nell meat had the highest SFA content, especially the contents of 14:0, 16:0 and 18:0, and this
391 condition led to an increased accumulation of these undesirable FAs, which impaired the Zebu
392 meat health indexes.

393 394 4.3. Sensory attributes

395 As the percentage of Nell genetics increased, tenderness decreased. Thus, the Nell and
396 NellAn groups (100% and 50% of *B. indicus*) had the lowest acceptance scores. This was
397 related to their higher tendency to produce less tender meat, as stated by Johnson et al. (1990)
398 and Crouse et al. (1989), and the resulting lower sensory acceptance, as found by Elzo, Johnson,
399 Wasdin, & Driver (2012) and Phelps et al. (2017). However, despite the Triple crossbreed group
400 achieving the highest sensory rating, this parameter was not in line with the higher SF achieved
401 by this group. These opposing results probably occurred due to intrinsic *longissimus* traits, since,
402 according to Shackelford, Wheeler & Koohmaraie (1995), this muscle presents high variation
403 in tenderness from carcass to carcass. *longissimus* was described as having both glycolytic and

709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767

404 intermediate fibers, and, according to Ashmore, Tompkins & Doerr (1972), the proportions of
405 these fiber types are highly variable even in the same muscle. Moreover, glycolytic fibers are
406 described as more frequent in the muscle surface, whereas oxidative fibers are often found in
407 the deepest fraction of the muscle (Armstrong & Phelps, 1984). This fact probably affected the
408 results found in this study, since there was no standardization related to this aspect during the
409 sampling protocol carried out, thus leading to variable results.

410 In addition to tenderness, the meat from the Three crossbreed group was juicier. This value
411 was near that found by Phelps et al. (2017) for $\frac{1}{2}$ Angus \times $\frac{1}{2}$ Brahman. Similarly, Elzo et al.
412 (2012) found intermediate sensory acceptance in $\frac{1}{2}$ Angus \times $\frac{1}{2}$ Brahman. In both works, the
413 authors observed that, as well as in the present study, as the Zebu genetic proportion increased,
414 the sensory ratings decreased, which indicated that crossbreeding was effective in improving
415 this sensory parameter.

416 Despite the absence of data related to the Three crossbreed group in the literature, the results
417 demonstrated the higher performance of this genetic group in terms of sensory acceptance than
418 that of the other genetic groups. According to Nassu, Tullio, Berndt, Francisco, Diesel &
419 Alencar (2017), sensory evaluation is more effective in measuring tenderness, juiciness, aroma
420 and flavor than instrumental analysis, since human sensory perception is more effective in
421 detecting differences than instruments. Thus, sensory acceptability is a highly important aspect
422 of rating beef quality in terms of consumer purchasing decisions (Destefanis, Brugiapaglia,
423 Barge, & Dal Molin, 2008).

424

425 **5. Conclusions**

426 The Three crossbreed was preferred over Nellore and Nellore \times Angus for beef production.
427 This genotype had the most desirable color and better fatty acid profile, characterized by a low
428 undesirable SFA content. The crossbreeds, especially the Three crossbreed, exhibited improved
429 PUFA:SFA and TI values. Three crossbreed produced the most attractive meat for consumers,
430 with the best tenderness and juiciness.

431

432 **Conflict of interest statement**

433 The authors have no conflicts of interest to declare.

434

435 **Acknowledgments**

436 We are grateful for the support provided by Coordination and Improvement of Higher Level
437 or Education Personal (CAPES) and Bahia State Research Support Foundation (FAPESB).

768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826

438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471

References

- Aldai, N., Murray, B. E., Oliván, M., Martínez, A., Troy, D. J., Osoro, K., & Nájera, A. I. (2006). The influence of breed and *mh*-genotype on carcass conformation, meat physico-chemical characteristics, and the fatty acid profile of muscle from yearling bulls. *Meat Science*, 72, 486-495. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.08.016>
- AMSA. American Meat Science Association (2016), *Guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of meat*. AMSA: National Livestock and Meat Board. Chicago. American Meat Science Association.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. (2007). *Official Methods of Analysis*. Washington DC: AOAC INTL.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. (2012). *Official Methods of Analysis*. (2th ed.). Washington DC: AOAC INTL.
- Armstrong, R. B., & Phelps, R. O. (1984). Muscle fiber type composition of the rat hindlimb. *American Journal of Anatomy*, 171, 259-272. <https://doi.org/10.1002/aja.1001710303>
- Aroeira, C. N., Torres Filho, R. de A., Fontes, P. R., Ramos, A. de L. S., Gomide, L. A. de M., Ladeira, M. M., & Ramos, E. M. (2017). Effect of freezing prior to aging on myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nelore and Aberdeen Angus cattle. *Meat Science*, 125, 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.010>
- Ashmore, C. R., Tompkins, G., & Doerr, L. (1972). Postnatal development of muscle fiber types in domestic animals. *Journal of Animal Science*, 34, 37-41. <https://doi.org/10.2527/jas1972.34137x>
- Bauman, D. E., Baumgard, L. H., Corl, B. A., & Griinari, J. M. (1999). Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. In: Proceedings of the American Society of Animal Science, 77, 1-15. Available in: <https://pdfs.semanticscholar.org/12ba/089f4339d9c581215066ff7574801b2c496b.pdf>.
- Belew, J. B., Brooks, J. C., McKenna, D. R., & Savell, J. W. (2003). Warner-Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. *Meat Science*, 64, 507-512. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00242-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00242-5)
- Bianchini, W., Silveira, A. C., Jorge, A. M., Arrigoni, M. D. B., Martins, C. L., Rodrigues, É., ... & Andrighetto, C. (2007). Effect of genetic group on carcass traits and fresh and aged beef tenderness from young cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 2109-2117. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007000900022>

- 827
828
829 472 Brasil. (2000). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Instrução Normativa nº
830 473 03, de 17 de janeiro de 2000. Regulamento Técnico de métodos de insensibilização para o
831 474 abate humanitário de animais de açougue. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e
832 475 Abastecimento. [http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/bem-estar-](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/bem-estar-animal/arquivos/arquivos-legislacao/in-03-de-2000.pdf)
833 476 [animal/arquivos/arquivos-legislacao/in-03-de-2000.pdf](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/bem-estar-animal/arquivos/arquivos-legislacao/in-03-de-2000.pdf)
837 477 Bressan, M. C., Rodrigues, E. C., de Paula, M. do L., Ramos, E. M., Portugal, P. V., Silva, J.
838 478 S. ... da Gama, L. T. (2016). Differences in intramuscular fatty acids profile among *Bos*
840 479 *indicus* and crossbred *Bos taurus* × *Bos indicus* bulls finished on pasture or with concentrate
842 480 feed in Brazil. *Italian Journal of Animal Science*, 15, 10-21.
843 481 <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1139478>
844 482 Bressan, M. C., Rossato, L. V., Rodrigues, E. C., Alves, S. P., Bessa, R. J. B., Ramos, E. M.,
846 483 & Gama, L. T. (2011a). Genotype × environment interactions for fatty acids profiles in *Bos*
848 484 *indicus* and *Bos taurus* finished on pasture or grain. *Journal of Animal Science*, 89, 221-232.
849 485 Carvalho, C. V. D., Costa, R. B., Camargo, G. M. F. de, & Bittencourt, T. C. Calmon. (2019).
851 486 Genotype x Environment Interaction for reproductive traits in Brazilian Nelore breed cattle.
853 487 *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 20, e0512019.
854 488 <https://dx.doi.org/10.1590/s1519-9940200512019>
856 489 Climaco, S. M., Ribeiro, E. L. de A., Mizubuti, I. Y., Silva, L. das D. F. da, Barbosa, Marco A.
858 490 A. de F. ... Constantino, C. (2011). Carcass characteristics and meat quality of four genetics
859 491 groups of beef cattle finished in feedlot. *Revista Brasileira Zootecnia*, 40, 2791–2798.
860 492 <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011001200025>
862 493 Crouse, J. D., Cundiff, L. V., Koch, R. M., Koohmaraie, M., & Seideman, S. C. (1989).
864 494 Comparisons of *Bos indicus* and *Bos taurus* inheritance for carcass beef characteristics and
865 495 meat palatability. *Journal of Animal Science*, 67, 2661-2668.
866 496 <https://doi.org/10.2527/jas1989.67102661x>
867 497 Department of Health-DHA (1994). Nutritional aspects of cardiovascular disease. London:
870 498 HMSO, 178p.
872 499 De Smet, S., Raes, K., & Demeyer, D. (2004). Meat fatty acid composition as affected by
873 500 fatness and genetic factors: a review. *Animal Research*, 53, 81-98.
874 501 <https://doi.org/10.1051/animres:2004003>
875 502 Destefanis, G. Brugiapaglia, A., Barge, M. T., & Dal Molin, E. (2008). Relationship between
878 503 beef consumer tenderness perception and Warner-Bratzler shear force. *Meat Science*, 78,
879 504 153-156. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.05.031>
880 505 Duarte, M. S., Paulino, P. V. R., Fonseca, M. A., Diniz, L. L., Cavali, J., Serão, N. V. L., ...
882
883
884
885

886

15

887

888

889

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

910

911

912

913

914

915

916

917

918

919

920

921

922

923

924

925

926

927

928

929

930

931

932

933

934

935

936

937

938

939

940

941

942

943

944

- 506 Cox, R. B. (2011). Influence of dental carcass maturity on carcass traits and meat quality of
 507 Nellore bulls. *Meat Science*, 88, 441-446. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.01.024>
- 508 Elzo, M. A., Johnson, D. D., Wasdin, J. G., & Driver, J. D. (2012). Carcass and meat palatability
 509 breed differences and heterosis effects in an Angus-Brahman multibreed population. *Meat*
 510 *Science*, 90, 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.06.010>
- 511 Flori, L., Gonzatti, M. I., Thevenon, S., Chantal, I., Pinto, J., Berthier, D. ... Gautier, M. (2012).
 512 A quasi-exclusive European Ancestry in the Senepol tropical cattle breed highlights the
 513 importance of the *slick* locus in tropical adaptation. *Plos One*, 7, e36133.
 514 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036133>
- 515 Gama, L. T., Bressan, M. C., Rodrigues, E. C., Rossato, L. V., Moreira, O. C., Alves, S. P., &
 516 Bessa, R. J. B. (2013). Heterosis for meat quality and fatty acid profiles in crosses among
 517 *Bos indicus* and *Bos taurus* finished on pasture or grain. *Meat Science*, 93, 98-104.
 518 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.08.005>
- 519 Greiner, S. P., Rouse, G. H., Wilson, D. E., Cundiff, L. V., & Wheeler, T. L. (2003). The
 520 relationship between ultrasound measurements and carcass fat thickness and *longissimus*
 521 muscle area in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 81, 676-682.
 522 <https://doi.org/10.2527/2003.813676x>
- 523 Hamm, R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurements.
- 524 Hammond, A. C., Olson, T. A., Chase, C.C., Bowers Jr, E. J., Randel, R. D., Murphy, C. N., ...
 525 Tewolde, A. (1996). Heat tolerance in two tropically adapted *Bos taurus* breeds, Senepol
 526 and Romosinuano, compared with Brahman, Angus, and Hereford cattle in Florida. *Journal*
 527 *of Animal Science*, 74, 295-303. <https://doi.org/10.2527/1996.742295x>
- 528 Hunt, M. C., & King, A. (2012). Meat color measurement guidelines. *American Meat Science*
 529 *Association, Champaign, Illinois USA*, 6182, 1-135.
- 530 Johnson, D. D., Huffman, R. D., Williams, S. E., & Hargrove, D. D. (1990). Effects of
 531 percentage Brahman and Angus breeding, age-season of feeding and slaughter end point on
 532 meat palatability and muscle characteristics. *Journal of Animal Science*, 68, 1980-1986.
 533 <https://doi.org/10.2527/1990.6871980x>
- 534 Joo, S. T., Kim, G. D., Hwang, Y. H., & Ryu, Y. C. (2013). Control of fresh meat quality
 535 through manipulation of muscle fiber characteristics. *Meat Science*, 95, 828-836.
 536 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.044>
- 537 Koetz Junior, C., Roso, V. M., Fávaro, P. da C., P., Gabriel R., Borges, M. H. F., Barca Junior,
 538 F. A., ... Ribeiro, E. L. de A. (2019). Heritability estimation and genetic correlations for
 539 mature weight, visual scores, and growth traits in Nellore cattle. *Revista Brasileira de*

- 945
946
947 540 *Zootecnia*, 48, e20170246. <https://dx.doi.org/10.1590/rbz4820170246>
948
- 949 541 Koochmaraie, M., Kent, M. P., Shackelford, S. D., Veiseth, E., & Wheeler, T. L. (2002). Meat
950 542 tenderness and muscle growth: is there any relationship? *Meat science*, 62(3), 345-352.
951 [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00127-4](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00127-4)
952 543
953 544 Lage, J. F., Paulino, P. V. R., Valadares Filho, S. C., Souza, E. J. O., Duarte, M. S., Benedeti,
955 545 P. D. B., Souza, ... Cox, R. B. (2012). Influence of genetic type and level of concentrate in
956 546 the finishing diet on carcass and meat quality traits in beef heifers. *Meat Science*, 90, 770-
957 547 774. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.11.012>
958
959 548 Lana, A., & Zolla, L. (2016). Proteolysis in meat tenderization from the point of view of each
960 549 single protein: A proteomic perspective. *Journal of Proteomics*, 147, 85-97.
961 <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2016.02.011>
962 550
963 551 Leme, P. R., Boin, C., Margarido, R. C. C., Tedeschi, L. O., O'farril, J. C., Alleoni, G. F. &
964 552 Albino, L. F. (2000). Desempenho em confinamento e características de carcaça de bovinos
965 553 machos de diferentes cruzamentos abatidos em três faixas de peso. *Revista Brasileira de*
966 554 *Zootecnia*, 29, 2347-2353.
967
968 555 Matarneh, S. K., England, E. M., Scheffler, T. L., & Gerrard, D. E. (2017). The conversion of
969 556 muscle to meat. *Lawrie's Meat Science*, (pp.,159-185). Woodhead Publishing.
970 557 <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00005-4>
971
972 558 Menezes, L. F. G. de, Restle, J., Brondani, I. L., Kozloski, G. V., Deschamps, F., & Sacht, R.
973 559 H. (2009). Fatty acids profile of feedlot finished purebred Charolais and Nellore steers from
974 560 advanced generations of rotational crossbreeding. *Ciência Rural*, 39, 2478–2484.
975 561 <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000800032>
976 562 Muroya, S., Nakajima, I., Oe, M., & Chikuni, K. (2006). Difference in postmortem degradation
977 563 pattern among troponin T isoforms expressed in bovine longissimus, diaphragm, and
978 564 masseter muscles. *Meat science*, 72(2), 245-251.
979 565 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.07.008>
980
981 566 Muchenje, V., Dzama, K., Chimonyo, M., Strydom, P. E., Hugo, A., & Raats, J. G. (2009).
982 567 Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review.
983 568 *Food chemistry*, 112(2), 279-289. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.103>
984 569 Neath, K. E., Del Barrio, A. N., Lapitan, R. M., Herrera, J. R. V., Cruz, L. C., Fujihara, T., ...
985 570 & Kanai, Y. (2007). Difference in tenderness and pH decline between water buffalo meat
986 571 and beef during postmortem aging. *Meat science*, 75(3), 499-505.
987 572 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.08.016>
988
989 573 Nassu, R. T., Tullio, R. R., Berndt, A., Francisco, V. C., Diesel, T. A., & Alencar, M. M. (2017).
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003

- 1004
1005
1006 574 Effect of the genetic group, production system and sex on the meat quality and sensory traits
1007 of beef from crossbred animals. *Tropical Animal Health Production*, 49, 1289-1294.
1008 575 <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1327-3>
1009 576
1010
1011 577 O'Fallon, J. V., Busboom, J. R., Nelson, M. L., & Gaskins, C. T. (2007). A direct method for
1012 fatty acid methyl ester synthesis: Application to wet meat tissues, oils, and feedstuffs.
1013 578 *Journal of Animal Science*, 85, 1511-1521. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-491>
1014 579
1015
1016 580 Ojha, K. S., Harrison, S. M., Brunton, N. P., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2017). Statistical
1017 581 approaches to access the effect of *Lactobacillus sakei* culture and ultrasound frequency on
1018 fatty acid profile of beef jerky. *Journal of Food Composition and Analysis*, 57, 1-7.
1019 582 <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.12.007>
1020 583
1021
1022 584 Perotto, D., Abrahão, J. J. S., Moletta, J. L., Paula, M. C. & Kuss, F. (2009). Physical
1023 585 composition, primary cuts and meat cuts of carcasses from Zebu and *Bos taurus* × *Bos*
1024 586 *indicus* crossbred cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 1712-1718.
1025 587 <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009000900010>
1026 588
1027
1028 588 Phelps, K. J., Johnson, D. D., Elzo, M. A., Paulk, C B., Gonzalez, J. M. (2017). Effect of
1029 589 Brahman genetics on myofibrillar protein degradation, collagen crosslinking, and tenderness
1030 of the *Longissimus lumborum*. *Journal of Animal Science*, 95, 5397-5406.
1031 590 <https://doi.org/10.2527/jas2017.2022>
1032 591
1033
1034 592 Prado, I. N., Prado, R. M., Rotta, P. P., Visantainer, J. V., Moletta, J. L., & Perotto, D. (2008).
1035 593 Carcass characteristics and chemical composition of the *Longissimus* muscle of crossbred
1036 594 bulls (*Bos taurus indicus* vs *Bos taurus taurus*) finished in feedlot. *Journal of Animal and*
1037 595 *Feed Sciences*, 17, 295-306. <https://doi.org/10.22358/jafs/66609/2008>
1038 596
1039
1040 596 Rodrigues, V. C., & Andrade, I. D. (2004). Características físico-químicas da carne de
1041 597 bubalinos e de bovinos castrados e inteiros. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(6), 1839-
1042 598 1849. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982004000700023>
1043 599
1044
1045 599 Rossato, L. V., Bressan, M. C., Rodrigues, E. C., Gama, L. T. da, Bessa, R. J. B., & Alves, S.
1046 600 P. A. (2010). Parâmetros físico-químicos e perfil de ácidos graxos da carne de bovinos
1047 601 Angus e Nelore terminados em pastagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 1127-1134.
1048 602 <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000500025>
1049 603
1050
1051 603 Rotta, P. P., Prado, R. M. de, Prado, I. N. do, Valero, M. V., Visantainer, J. V., & Silva, R. R.
1052 604 (2009). The effects of genetic groups, nutrition, finishing systems and gender of Brazilian
1053 605 cattle on carcass characteristics and beef composition and appearance: a review. *Asian-*
1054 606 *Australasian Journal of Animal Sciences*, 22, 1718-1734.
1055
1056
1057 607 Rubensam, J.M., Felicio, P.E., & Termignoni, C. (1998). Effects of the *Bos indicus* genotype
1058
1059
1060
1061
1062

- 1063
1064
1065 608 on calpastatin activity and texture of beef from steers slaughtered in the south of Brazil.
1066
1067 609 *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 18, 405-409. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101->
1068 610 [20611998000400009](http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20611998000400009)
1070 611 Santos-Silva, J., Bessa, R. J. B., & Santos-Silva, F. (2002). Effect of genotype, feeding system
1071 and slaughter weight on the quality of light lambs II. Fatty acid composition of meat.
1072 612 *Livestock Production Science*, 77, 187-194. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00059-](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00059-3)
1073 613 [3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00059-3)
1074
1075 614
1076 615 Scientific Review Committee (1990). Nutrition recommendations. Ottawa, Canada: Minister of
1077 National Health and Welfare, 102 p.
1078 616
1079 617 Statistical Analysis System-SAS Institute. (2002). *SAS User's Guide: Statistics*, Release 9.0.
1080 Cary, NC: SAS Inst. Inc.
1081 618
1082 619 Shackelford, S. D., Wheeler, T. L., & Koohmaraie, M. (1995). Relationship between Shear
1083 Force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus*
1084 and *Bos taurus* cattle. *Journal of Animal Science*, 73, 3333-3340.
1085 620 <https://doi.org/10.2527/1995.73113333x>
1086 621
1087 622
1088 623 Shackelford, S. D., Wheeler, T. L., & Koohmaraie, M. (1999). Tenderness classification of beef:
1089 II. Design and analysis of a system to measure beef *Longissimus* Shear Force under
1090 commercial processing conditions. *Journal of Animal Science*, 77, 1474-1481.
1091 624 <https://doi.org/10.2527/1999.7761474x>
1092 625
1093 626
1094 627 Smith, S. B., Gill, C. A., Lunt, D. K., & Brooks, M. A. (2009). Regulation of fat and fatty acid
1095 composition in beef cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22, 1225-
1096 1233. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.r.10>
1097 628
1098 629
1099 630 Sukhija, P. S., & Palmquist, D. L. (1988). Rapid method for determination of total fatty acid
1100 content and composition of feedstuffs and feces. *Journal of Agricultural Food Chemistry*,
1101 36, 1202-1206. <https://doi.org/10.1021/jf00084a019>
1102 631
1103 632
1104 633 Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors.
1105 *The Lancet*, 338, 985-992.
1106 [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-M](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M)
1107 634
1108 635
1109 636 Vimiso, P., Muchenje, V., Marume, U., & Chiruka, R. (2012). Preliminary study on consumers'
1110 and meat traders' perceptions of beef quality and how the beef quality is affected by animal
1111 welfare practices. *Scientific Research and Essays*, 7, 2037-2048.
1112 637 <https://doi.org/10.5897/SRE12.071>
1113 638
1114 639
1115 640 Voisin, B. D., Grandin, T., O'Connor, S. F., Tatum, J. D., & Deesing, M. J. (1997a). Bos
1116 Indicus-Cross feedlot cattle with excitable temperaments have tougher meat and a higher
1117
1118 641
1119
1120
1121

- 1122
1123
1124 642 incidence of borderline dark cutters. *Meat Science*, 46, 367-377.
1125
1126 643 [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(97\)00031-4](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(97)00031-4)
1127
1128 644 Voisinnet, B. D., Grandim, T., Tatum, J. D., O'Connor, S. F., & Struthers, J. J. (1997b). Feedlot
1129 645 cattle with calm temperaments have higher average daily gains than cattle with excitable
1130 646 temperaments. *Journal of Animal Science*, 75, 892-896.
1131 647 <https://doi.org/10.2527/1997.754892x>
1132
1133
1134 648 Whipple, G., Koohmaraie, M., Dikeman, M. E., Crouse, J. D., Hunt, M. C., & Klemm, R. D.
1135 649 (1990). Evaluation of attributes that affect *Longissimus* muscle tenderness in *Bos taurus* and
1136 650 *Bos indicus* cattle. *Journal of Animal Science*, 68, 2716-2728.
1137 651 <https://doi.org/10.2527/1990.6892716x>
1138
1139 652 Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes, ...
1140 653 Whittington. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat*
1141 654 *Science*, 78, 343-358. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>
1142
1143
1144 655 Wulf, D. M., O'Connor, S. F., Tatum, J. D., & Smith, G. C. (1997). Using objective measures
1145 656 of muscle color to predict beef *Longissimus* tenderness. *Journal of Animal Science*, 75,
1146 657 p.684-692. <https://doi.org/10.2527/1997.753684x>
1147
1148
1149 658 Wulf, D. M., Emmett, R. S., Leheska, J. M., & Moeller, S. J. (2002). Relationships among
1150 659 glycolytic potential, dark cutting (dark, firm and dry) beef, and cooked beef palatability.
1151 660 *Journal of Animal Science*, 80, 1895-1903. <https://doi.org/10.2527/2002.8071895x>
1152
1153 661
1154 662
1155 663
1156 664
1157 665
1158 666
1159 667
1160 668
1161 669
1162 670
1163 671
1164 672
1165 673
1166 674 **Table 1**
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180

1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239

675 Physicochemical composition of *Longissimus lumborum* from Nellore (Nell), $\frac{1}{2}$ Nell \times $\frac{1}{2}$ Angus
676 (NellAn) and $\frac{1}{4}$ Nell \times $\frac{1}{4}$ Ang \times $\frac{1}{2}$ Sen (Three crossbreed)

Physicochemical characteristics	Genetic groups			SEM ^Σ	P-value [†]
	Nell	NellAn	Three crossbreed		
pH ₀ (initial pH)	6.98	6.70	6.80	0.118	0.276
pH _{24 h} (final pH)	5.90	5.72	5.85	0.082	0.379
Water holding capacity (%)	83.4 ^a	82.2 ^a	78.3 ^b	1.153	0.002
Color parameters					
<i>L*</i> (lightness)	37.8 ^{ab}	37.2 ^b	39.0 ^a	0.827	0.070
<i>a*</i> (redness)	23.1 ^a	22.9 ^{ab}	22.4 ^b	0.336	0.091
<i>b*</i> (yellowness)	7.37 ^a	7.04 ^{ab}	6.92 ^b	0.288	0.085
Chrome*(saturation)	24.2	23.9	23.5	0.408	0.117
Shear force (kgf/cm ²)	7.46	6.84	7.62	0.938	0.527
Cooking loss (%)	28.4	32.9	31.2	1.673	0.192
Protein (%)	22.9	22.9	23.3	2.442	0.501
Lipid (%)	1.51	1.02	1.07	0.187	0.236
Moisture (%)	73.0	73.5	73.3	0.406	0.671
Ash (%)	2.45	2.55	2.30	0.193	0.707
Collagen (%)	1.34	1.47	1.16	0.104	0.151
Water activity	0.983	0.982	0.981	0.002	0.780

^ΣSEM: standard error of the mean.

[†]Means with different superscript letters in the same row differ ($P < 0.05$) and trend ($P < 0.10$).

Table 2

Fatty acids (mg/100g beef)	Genetic group			SEM ^Σ	P-value [†]
	Nell	NellAn	Three crossbreed		
Saturated Fatty Acids (SFA)					
12:0	2.80 ^a	0.79 ^b	1.21 ^{ab}	0.199	0.068
14:0	47.33 ^a	19.05 ^b	22.66 ^b	5.660	0.009
15:0	9.85	5.39	7.39	1.454	0.168
16:0	361.5	232.0	246.5	40.87	0.120
17:0	19.45	12.61	14.06	2.406	0.225
18:0	336.3	260.3	248.9	38.00	0.333
Monounsaturated Fatty Acids (MUFA)					
18:1 <i>t</i> 11	45.15 ^a	19.65 ^b	25.37 ^b	5.682	0.026
14:1 <i>c</i> 9	4.47 ^a	1.42 ^b	2.50 ^{ab}	0.527	0.042
15:1 <i>c</i> 10	1.61	1.99	1.81	0.232	0.673
16:1 <i>c</i> 9	38.34 ^a	20.91 ^b	25.42 ^b	4.079	0.029
18:1 <i>c</i> 9	489.5 ^a	280.0 ^b	303.0 ^b	49.45	0.023
18:1 <i>c</i> 11	15.34 ^a	11.08 ^b	11.90 ^{ab}	1.214	0.076
Polyunsaturated Fatty acids (PUFA)					
18:2 <i>n</i> -6	68.6	57.4	55.4	4.844	0.153
18:3 <i>n</i> -3	20.61	16.39	16.48	1.622	0.158
18:2 <i>c</i> 9, <i>t</i> 11	4.08 ^a	1.54 ^b	3.04 ^{ab}	0.506	0.067
20:3 <i>n</i> -6	4.72 ^a	3.46 ^b	3.45 ^b	0.359	0.057
20:4 <i>n</i> -6	18.89	20.10	18.45	1.154	0.605
20:5 <i>n</i> -3	5.55 ^b	7.16 ^a	6.28 ^{ab}	0.365	0.041
22:5 <i>n</i> -3	12.38	13.51	12.76	0.613	0.513
698	ΣSEM: standard error of the mean;				
699	†Means with different superscript letters in the same row differ ($P < 0.05$) and trend ($P < 0.10$).				
700					
701					
702					
703					
704					
705	Table 3				

Item (mg/100g beef)	Genetic group			SEM ^Σ	P-value [†]
	Nell	NellAn	Three crossbreed		
Sum of groups and ratios					
ΣSFA	767.7 ^a	529.6 ^b	539.9 ^b	84.67	0.017
ΣUFA	685.0 ^a	466.8 ^b	501.8 ^{ab}	60.40	0.086
ΣMUFA	552.8 ^a	347.8 ^b	386.9 ^{ab}	55.00	0.057
ΣPUFA	127.9	119.0	114.9	7.798	0.509
ΣUFA: ΣSFA	0.899	0.912	0.988	0.048	0.448
ΣMUFA: ΣSFA	0.732	0.670	0.733	0.026	0.209
ΣPUFA: ΣSFA	0.125 ^b	0.157 ^a	0.163 ^a	0.023	0.053
Σ <i>n</i> -6	88.7	80.9	77.3	5.315	0.367
Σ <i>n</i> -3	39.6	38.1	37.6	3.148	0.890
<i>n</i> -6: <i>n</i> -3	2.08	2.13	2.09	0.080	0.919
Enzymatic activity					
Δ ⁹ - desaturase C16	8.94 ^{ab}	8.29 ^b	9.44 ^a	0.277	0.082
Δ ⁹ - desaturase C18	56.7	52.2	55.6	1.481	0.150
Elongase	66.5	68.3	67.2	0.890	0.368
Health compounds					
Atherogenicity index (AI)	0.795 ^a	0.647 ^b	0.642 ^b	0.045	0.070
Thrombogenicity index (TI)	1.68	1.53	1.43	0.101	0.401
h:H [□]	1.26	1.39	1.40	0.077	0.386
ΣSEM: standard error of the mean;					
†Means with different superscript letters in the same row differ ($P < 0.05$) and trend ($P < 0.10$).					
□Hypocholesterolemic: Hypercholesterolemic fatty acids ratio.					

Table 4

1358
 1359
 1360
 1361
 1362
 1363
 1364
 1365
 1366
 1367
 1368
 1369
 1370
 1371
 1372
 1373
 1374
 1375
 1376
 1377
 1378
 1379
 1380
 1381
 1382
 1383
 1384
 1385
 1386
 1387
 1388
 1389
 1390
 1391
 1392
 1393
 1394
 1395
 1396
 1397
 1398
 1399
 1400
 1401
 1402
 1403
 1404
 1405
 1406
 1407
 1408
 1409
 1410
 1411
 1412
 1413
 1414
 1415
 1416

719 *Longissimus lumborum* sensory evaluation results from Nellore (Nell), ½Nell × ½Angus
 720 (NellAn) and ¼Nell × ¼Ang × ½Sen (Three crossbreed)

Attributes ^e	Genetic group			SEM ^Σ	P-value [†]
	Nell	NellAn	Three crossbreed		
Aroma	6.61	6.48	6.51	0.144	0.786
Flavor	6.75	6.43	6.56	0.150	0.315
Tenderness	5.83 ^b	5.91 ^b	6.86 ^a	0.207	0.001
Juiciness	5.90 ^b	6.04 ^b	6.56 ^a	0.178	0.023
Overall acceptance	6.29 ^b	6.20 ^b	6.81 ^a	0.163	0.018

721 ^eHedonic scale (1 meaning disliked very much; 2 very displeased; 3 disliked moderately; 4
 722 slightly disagree; 5 indifferent; 6 liked slightly; 7 liked moderately; 8 liked very much; and 9
 723 liked very much);

724 ^ΣSEM = standard error of the mean;

725 [†]Means with different superscript letters in the same row differ ($P < 0.05$) and trend ($P < 0.10$).