

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**Escola de Veterinária**

**Programa de Pós Graduação em Zootecnia**

**DESEMPENHO, EMISSÃO DE METANO E QUALIDADE DE CARNE DE  
ANIMAIS NELORE E CRUZADOS ANGUS X NELORE TERMINADOS EM  
DIETA COM ALTO TEOR DE LIPÍDIOS**

Bárbara Martins Rodrigues

Belo Horizonte  
2022

BÁRBARA MARTINS RODRIGUES

**Desempenho, emissão de metano e qualidade da carne animais Nelore e cruzados  
Angus x Nelore terminados em dieta de alto teor de lipídios**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Área de concentração: Produção animal

Orientador: Leandro Sâmia Lopes

Coorientadores: Ângela Maria Quintão Lana e  
Jhones Sarturi

Belo Horizonte  
2022

R696d

Rodrigues, Bárbara Martins, 1990 -

Desempenho, emissão de metano e qualidade da carne animais Nelore e cruzados Angus x Nelore terminados em dieta de alto teor de lipídios / Bárbara Martins Rodrigues. -2022.

Orientador: Leandro Sâmia Lopes

Coorientadores: Ângela Maria Quintão Lana  
Jhones Sarturi

Tese (Doutorado) apresentada à Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do título de Doutora.

Área de concentração: Produção animal

1. Nelore (Zebu) – Melhoramento genético - Teses - 2. Dieta - Teses – 3. Veterinária - Teses  
I. Lopes, Leandro Sâmia – II. Lana, Ângela Maria Quintão – III. Sarturi, Jhones –  
IV. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária - V. Título.

**CDD – 636.08**

Bibliotecário responsável Cristiane Patrícia Gomes – CRB2569  
Biblioteca da Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais



Escola de Veterinária  
UFMG

ESCOLA DE VETERINÁRIA DA UFMG  
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA  
Av. Antônio Carlos 6627 - CP 567 - CEP 30123-970 - Belo Horizonte- MG  
TELEFONE (31)-3409-2173

[www.vet.ufmg.br/academicos/pos-graduacao](http://www.vet.ufmg.br/academicos/pos-graduacao)  
E-mail [cpgzootec@vet.ufmg.br](mailto:cpgzootec@vet.ufmg.br)

### ATA DE DEFESA DE TESE DA BÁRBARA MARTINS RODRIGUES

Às 09:00 horas do dia 24 de agosto de 2022, reuniu-se, remotamente, a Comissão Examinadora de Tese, indicada pelo colegiado no dia 29/07/2022, para julgar, em exame final, a defesa da tese intitulada:

**Desempenho, emissão de metano e qualidade e carne de animais Nelore e cruzados Angus x Nelore terminados em dietas de alto teor de lipídeos.**

, como requisito final para a obtenção do Grau de **Doutor em Zootecnia, área de concentração Produção Animal**

Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Leandro Sâmia Lopes, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da Defesa de Tese, passou a palavra ao (a) candidato (a), para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato (a). Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento da tese, tendo sido atribuídas as seguintes indicações:

	Âprovada	Reprovada
Prof.(a)/Dr.(a) Leandro Sâmia Lopes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Márcia Cristina Teixeira da Silveira - Embrapa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Hemilly Cristina Menezes De Sá - UFMG	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Fernando Antônio de Souza - UFMG	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Daniel Rodrigues Cardoso – USP – São Carlos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pelas indicações, o (a) candidato (a) foi considerado (a):  Aprovado (a)

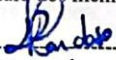
Reprovado (a)

Para concluir o Doutorado, o(a) candidato(a) deverá entregar 03 volumes encadernados da versão final da tese acatando, se houver, as modificações sugeridas pela banca, e a comprovação de submissão de pelo menos um artigo científico em periódico recomendado pelo Colegiado dos Cursos. Para tanto terá o prazo máximo de 60 dias a contar da data defesa.

O resultado final, foi comunicado publicamente ao (a) candidato (a) pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora e encaminhada juntamente com um exemplar da tese apresentada para defesa.

Belo Horizonte, 24 de agosto de 2022.

Assinatura dos membros da banca:

  
Document signed by:  
Daniel Rodrigues Cardoso  
CBC74E7330A443



  
Documento assinado digitalmente  
FERNANDO ANTONIO DE SOUZA  
Data: 25/08/2022 14:27:10 -0300  
Verifique em <https://verificador.itb.br>

Dedico à minha família, com muito amor.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Deus, meu guia, por me mostrar que nunca estou sozinha, e me indicar o caminho certo a seguir, sempre!

À minha família, minha base, e que esteve comigo em todos os momentos, me apoiou e acreditou no meu sonho. Onde quer que eu esteja, estaremos sempre juntos! Eu amo muito vocês!

Agradeço aos meus amigos queridos, pela parceria, companheirismo, incentivo e pela troca diária.

Ao meu orientador Dr. Leandro Sâmia, grande exemplo de profissional, minha eterna gratidão por sua dedicação e amizade, confiança no meu trabalho, incentivo, e todos os ensinamentos que levarei ao longo da minha caminhada.

À minha coorientadora, professora Dra. Ângela Lana, agradeço pela disponibilidade e ajuda, oportunidades, incentivo e por todo aprendizado.

Ao meu coorientador, Dr. Jhones Sarturi, por me receber no seu grupo de pesquisa na Texas Tech University durante o doutorado sanduíche, pela dedicação em ensinar e ser um grande pesquisador. Agradeço pela confiança e oportunidade que foi essencial para meu crescimento pessoal e profissional.

À Rede ILPF e à Embrapa Milho e Sorgo, em especial ao pesquisador Dr. Ramon Alvarenga, gratidão por todo o suporte durante o experimento, ensinamentos e amizade. Também, aos meus companheiros de lida, Dilherme e Léo, por todos os dias de ótima convivência, trabalho duro e muitas risadas. Ainda, aos demais funcionários da Embrapa que me auxiliaram nas coletas e análises.

À Embrapa Pecuária Sudeste, em especial ao pesquisador Dr. Alexandre Berndt, por todo o suporte, treinamento, e fornecimento dos materiais e equipamentos para a mensuração de metano.

À UFMG, e ao professor Dr. Afonso de Liguori Oliveira, obrigada pela parceria e auxílio na realização das análises de carne.

À Universidade de São Paulo, em especial ao professor Dr. Daniel Cardoso e sua equipe, pela parceria e realização da análise metabolômica, e ao professor Dr. Dante Lanna pela análise de ácidos graxos.

À toda escola de Veterinária, seus professores e funcionários. Ao colega Fernando Souza pela contribuição com a estatística dos dados. Aos colegas da pós-graduação e do GEPAS, Grupo de Pesquisa em Produção Animal Sustentável, pela parceria e amizade.

À Capes, pela concessão da bolsa de doutorado, e da bolsa de doutorado sanduíche.

À empresa Prodap, pelo fornecimento dos suplementos minerais.

E por fim, muito obrigada a todos que contribuíram, de alguma forma, para o êxito desta pesquisa!

## RESUMO

Objetivou-se avaliar o desempenho, produção de metano, características de carcaça e qualidade da carne de animais Nelore e Nelore x Angus, terminados em confinamento com dieta de alto teor lipídico. Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pelo Comitê de Ética em Uso Animal da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG, protocolo número 71/2019). No início do ensaio, os animais foram divididos em dois grupos de acordo com sua composição racial: Nelore (Peso vivo inicial =  $444,7 \pm 47$  kg, n = 25) e cruzados Nelore x Angus (Peso vivo inicial =  $509,8 \pm 45,5$  kg, n = 25). Os animais pertenciam ao mesmo rebanho e, antes do confinamento, eram mantidos em pastagem de *Megathirus maximus* cv. Mombaça com ingestão de suplemento proteico e energético de 0,2% do PV. O período de confinamento foi de 126 dias, sendo os primeiros 21 dias para a adaptação dos animais às dietas e instalações. A dieta foi formulada através do software Ração de Lucro Máximo®, para um ganho médio diário (GMD) de 1,6 kg/dia. Inicialmente, foram fornecidos 50% de silagem de sorgo e 50% de concentrado de dieta, e a quantidade de concentrado foi aumentada até que a relação volumoso/concentrado fosse 20:80 (base MS). Os principais ingredientes foram representados por (base MS): silagem de sorgo (20%), milho moído (57,6%), semente de soja moída como fonte lipídica (20,4%) e mistura mineral/vitamínica (2%) . O dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) foi utilizado como marcador externo para estimar o consumo de matéria seca (CMS), enquanto 10 g foram administrados a 12 animais de cada grupo, uma vez ao dia, por 10 dias. As emissões de metano entérico foram medidas usando a técnica de gás traçador de hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) nos mesmos animais utilizados para as medidas de consumo. Os animais foram equipados com cabrestos para coleta de gases acoplados a cangas de coleta de policloreto de vinila (PVC) pré-evacuadas com tubo capilar (0,127 mm de diâmetro), confeccionados para permitir o enchimento de 50% em 24 h, por cinco dias consecutivos. Um dia antes de serem levados para o frigorífico, os animais foram após jejum e hídrico de 16 horas alimentar, para determinar o peso vivo final (PVF). O PVF foi de  $595,6 \pm 73$  kg e  $720,8 \pm 65$  para os animais Nelore e cruzados, respectivamente. Os animais foram encaminhados ao abatedouro comercial, onde foram mantidos em jejum de 24 horas com acesso ad libitum à água, e o abate foi realizado de acordo com os procedimentos humanitários exigidos pela legislação brasileira. Amostras de carne foram retiradas entre a 11<sup>a</sup> e 13<sup>a</sup> costelas para análises de perda total, perda por gotejamento, perda por cozimento,



oxidação lipídica da gordura intramuscular e gordura subcutânea, força de cisalhamento, características de cor, composição centesimal, composição metabolômica e perfil de ácidos graxos da gordura intramuscular e subcutânea. Os animais cruzados apresentaram maior consumo de matéria seca (CMS), eficiência alimentar, peso vivo inicial (PVI), peso vivo final (PFC), ganho médio diário (GMD), ganho médio diário de carcaça (GMDc), peso de carcaça quente (PCC) e porcentagem de costela ( $P < 0,05$ ). O rendimento de carcaça (RC) foi semelhante para ambos os grupos genéticos ( $P > 0,05$ ). Os animais Nelore produziram mais metano entérico expresso em g/kg de GMD ( $P < 0,01$ ), porém, esses animais apresentaram maiores concentrações de ácidos graxos poliinsaturados (AGPI) e ácido linoleico conjugado (CLA) no músculo LT e na gordura subcutânea ( $P < 0,01$ ). Não foram observadas diferenças na perda total, perda por gotejamento e perda por cozimento entre os grupos genéticos ( $P > 0,05$ ). Um aumento gradual da oxidação lipídica em função do tempo foi observado tanto para TBARS no músculo LT, quanto na gordura subcutânea, principalmente aos 42 dias de maturação ( $P < 0,01$ ). A força de cisalhamento foi influenciada pela raça e tempo de maturação ( $P < 0,01$ ). Houve interação significativa entre o tempo de envelhecimento e os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$  e  $h^*$  ( $P < 0,01$ ). Os animais cruzados apresentaram maior concentração de colágeno ( $P < 0,01$ ), e os Nelore apresentaram maior teor de umidade no músculo LT ( $P < 0,01$ ). Os grupos genéticos influenciaram o desempenho, as características de carcaça, e a qualidade da carne dos animais avaliados. O fornecimento da soja como fonte lipídica influenciou o perfil de ácidos graxos da carne e da gordura subcutânea dos animais.

**Palavras-chave:** Composição química. Cruzamentos. Maturação. Metano. Ácidos graxos poli-insaturados. Soja.

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate performance, methane production, carcass characteristics and beef quality of Nellore and Nellore x Angus animals, finished in the feedlot with a high-lipid diet. The Ethics Committee approved all experimental procedures for Animal Use at the Federal University of Minas Gerais (UFMG, protocol number 71/2019). At the beginning of the project, the animals were divided into two groups according to their breed composition as follows: Nellore ((initial body weight (IBW) =  $444,7 \pm 47$  kg,  $n = 25$ )) and Angus x Nellore crossbred (IBW =  $509.8 \pm 45.5$  kg,  $n = 25$ ). The animals came from the same breeding season, and before the feedlot, they stayed on a pasture of *Megathyrus maximus* cv. Mombaça, with protein and energy supplement intake by 0.2% of B.W. The diet was composed for sorghum silage (20%), ground corn (57.6%), ground soybean seed as the lipid source (20.4%), and a mineral/vitamin premix (2%) (DM basis). Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) was used as an external marker to estimate dry matter intake (DMI), while 10 g was administered to 12 animals of each group, once daily, for 10 d. Enteric methane emissions were measured using the sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) tracer gas technique in the same animals used for intake measurements. The animals were equipped with gas collection halters attached to pre-evacuated polyvinyl chloride (PVC) sampling canisters with a capillary tube (0.127 mm diameter), made to permit 50% filling in 24 h, for five consecutive days. The feedlot period was 126 days, and the animals were adapted to the experimental diets for the first 21 days. The diet was formulated using the Maximum Profit Ration® software for an average daily gain (ADG) of 1.6 kg/day. Initially, 50% of sorghum silage and 50% of concentrate diet were supplied, and the amount of concentrate was increased until the ratio of roughage: concentrate was 20:80 (DM basis). The soybean used in the concentrate was grounded and passed through a 5 mm mesh to increase the lipid ruminal availability. A day before slaughter, animals were weighed after a 16-hour fasting period to obtain the FBW and sent to the commercial slaughterhouse, where they were kept fasting for 24 hours with only *ad libitum* water access. The slaughter was conducted according to humanitarian procedures required by Brazilian legislation. Meat samples were taken between the 11st and 13rd ribs for analysis of total loss, drip loss, cooking loss, lipid

oxidation of intramuscular and subcutaneous fat, shear force, color characteristics, centesimal composition, metabolomic composition, and fatty acid profile from intramuscular and subcutaneous fat. The crossbred animals had higher dry matter intake (DMI), feed efficiency, initial body weight (IBW), final body weight (FBW), average daily gain (ADG), average daily gain of carcass (ADGc), hot carcass weight (HCW), and percentage of rib ( $P < 0.01$ ). The dressing percentage was similar for both groups ( $P > 0.05$ ). Nellore animals produced more enteric methane expressed as g/kg ADG ( $P < 0.01$ ), however, these animals had higher concentrations of polyunsaturated fatty acids (PUFA) and conjugated linoleic acid (CLA) in both *longissimus thoracis* (LT) muscle, and subcutaneous fat ( $P < 0.01$ ). No difference was observed for total loss, drip loss, and cooking loss between genetic groups ( $P > 0.05$ ). A gradual increase in lipid oxidation was observed as a function of time for both TBARS in the longissimus thoracis muscle and subcutaneous fat, especially at 42 days of aging time ( $P < 0.01$ ). Shear force was influenced by breed and aging time ( $P < 0.01$ ), in which Nellore animals presented higher values. There was a significant interaction between aging time and L\*, a\*, b\* c\*, and h\* parameters ( $P < 0.01$ ). The crossbred animals had a higher ( $P < 0.01$ ) concentration of collagen, and Nellore had higher values of moisture in their LT muscle ( $P < 0.01$ ). The genetic groups influenced the performance, carcass characteristics, and beef quality of the animals. The supply of soybean as a lipid source modified the fatty acid (FA) profile of LT muscle and subcutaneous fat.

**Keywords:** Beef aging. Chemical composition. Crossbreeding. Methane. Polyunsaturated fatty acids. Soybean.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA .....	13
1 Introdução Geral.....	13
2 Referencial Teórico.....	15
2.1 Desempenho e cruzamentos entre bovinos de corte.....	15
2.2 Produção de metano entérico pelos ruminantes .....	17
2.3 Características de carcaça.....	20
2.3.1 Peso e rendimento de carcaça.....	20
2.3.2 Temperatura e pH.....	22
2.3.3 Maciez.....	24
2.3.4 Cor.....	26
2.3.5 Oxidação lipídica.....	28
2.3.6 Composição química.....	30
2.3.7 Perfil de ácidos graxos .....	34
3 Referências Bibliográficas .....	39
CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1 .....	47
CAPÍTULO 3 – ARTIGO 2 .....	91
ANEXO 1.....	130
Comitê de Ética em Uso Animal da Universidade Federal de Minas Gerais - Protocolo 71/2019 .....	130

## CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA

### 1 Introdução Geral

O Brasil se destaca no cenário mundial como um dos mais importantes produtores e exportadores de carne bovina. Em 2021, de acordo com a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC, 2022) o rebanho brasileiro totalizou aproximadamente 196,5 milhões de cabeças. Ainda no ano de 2021, o país produziu 9,7 milhões de toneladas de equivalente carcaça e dessa produção, 2,5 milhões foram exportadas para mais de 157 países do mundo.

A bovinocultura de corte no Brasil tem se modernizado nos últimos anos e isso proporcionou o aumento da produtividade dos sistemas, principalmente pela adoção de técnicas como o confinamento. Em 2021 foram 6,73 milhões de animais confinados, número consideravelmente maior em relação a 2011, onde um total de 3,85 milhões de animais foram confinados (ABIEC, 2022). Da mesma forma, os consumidores estão cada vez mais exigentes quanto à qualidade e origem do alimento que consomem. Diante disso, torna-se cada vez mais importante a busca por recursos que possibilitem aprimorar e agregar valor à carne produzida, como a melhora do potencial genético dos animais, que pode proporcionar maior competitividade do setor.

O cruzamento industrial entre animais *B. indicus* com *B. taurus* é uma importante estratégia para produzir animais que agreguem as principais características desses grupos genéticos. O animal produto desse cruzamento combina o alto potencial de produção da raça de clima temperado (*B. taurus*) com a adaptação e rusticidade da raça tropical (*B. indicus*). No entanto, diferenças genéticas podem ser observadas na composição da carcaça, já que animais de algumas raças depositam gordura mais precocemente que outros (Rodrigues et al., 2019).

A maior eficiência biológica aliada a rápida deposição muscular são os principais fatores para se determinar o sucesso produtivo de um sistema intensivo, como o confinamento (Lopes, 2010), e dessa forma, busca-se abater animais jovens, com bom acabamento de carcaça e qualidade de carne. Animais mais jovens são mais eficientes quanto à conversão alimentar (kg de alimento consumido/kg de ganho de peso), pois o ganho se dá, principalmente, pelo crescimento da massa muscular (Machado et al., 2019).

Além de melhorias na genética utilizada, a maturação dos cortes cárneos é outra estratégia utilizada para realçar a maciez e sabor da carne. O processo consiste em

embalar a vácuo a carne e mantê-la refrigerada por determinados períodos de tempo que podem variar de 3 a 90 dias. O aumento da maciez é causado pela atividade a longo prazo de enzimas que causam a proteólise de miofibrilas e proteínas do tecido conjuntivo (Kahraman e Gürbüz, 2018). Este processo pode reduzir a força de cisalhamento, o que aumenta a aceitabilidade e o valor agregado do produto.

A carne bovina desempenha um papel fundamental na nutrição humana sendo um alimento de alto valor nutricional pois contem proteínas de grande valor biológico, minerais, vitaminas e ácidos graxos (AG) essenciais à saúde. No entanto, o consumo de carne bovina tem sido erroneamente associado ao aumento no colesterol sanguíneo e ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares e, assim, tem-se relacionado sua imagem a efeitos negativos e até mesmo exagerados, mesmo com resultados científicos ainda controversos (Vahmani et al., 2020).

Portanto, a pecuária possui um grande desafio: alcançar um alto nível de produção, entregar ao mercado consumidor um produto de alta qualidade e que seja saudável, e ao mesmo tempo, priorizar a produção de uma forma cada vez mais sustentável do ponto de vista econômico, social e ambiental. Diante disso, fica evidenciado que os ruminantes desempenham um papel crucial na segurança alimentar da população, pois são capazes de converter forragens de baixo valor nutricional e outros alimentos como grãos em produtos nobres para o consumo humano.

Contudo, a fermentação entérica é a principal fonte de emissões de gases de efeito estufa (GEE) para o meio ambiente, já que o metano ( $\text{CH}_4$ ) é um produto final do processo de digestão microbiana no rúmen dos animais (Duthie et al., 2017). No entanto, as reduções na emissão de  $\text{CH}_4$  entérico podem ser alcançadas pela melhoria da composição dos alimentos fornecidos aos animais bem como pela composição genética utilizada. Ainda, segundo Swain et al. (2018), a adoção de sistemas intensivos na produção de bovinos de corte, além de exigirem menor uso da terra, podem reduzir a emissão de GEE por quilo de carne produzido.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho, avaliar a produção de metano entérico, o desempenho, as características de carcaça e carne e o perfil de ácidos graxos da carne, de tourinhos Nelore e cruzados Nelore x Angus terminados em confinamento com dieta de alto teor lipídico.

## 2 Referencial Teórico

### 2.1 Desempenho e cruzamentos entre bovinos de corte

Os animais *Bos taurus indicus* e *Bos taurus taurus* surgiram de um ancestral comum (*Bos primigenius*), mas essas subespécies sofreram uma evolução separadamente por milhares de anos (Verdugo et al., 2019). Os animais *B. indicus* são predominantes nas regiões tropicais devido às suas características de adaptação ao clima e a infestações de endo e ectoparasitas. Entre as adaptações genéticas adquiridas durante a evolução do gado zebuíno está a aquisição de genes para tolerância ao calor. Esses animais são capazes de regular a temperatura corporal em resposta ao estresse pelo calor de forma mais eficiente do que os animais *B. taurus* de origem europeia (Hansen, 2004).

No Brasil, o cruzamento entre animais das raças Nelore (*Bos indicus*) e Angus (*Bos taurus*) tem sido muito utilizado e diversos estudos têm demonstrado que esses animais apresentam maior desempenho e melhor qualidade de carne quando comparados aos animais Nelore puros (Façanha et al., 2014; Mesquita et al., 2016; Augusto et al., 2019). No entanto, o alto desempenho produtivo deste cruzamento requer condições nutricionais diferenciadas para não comprometer os investimentos em genética e estratégias de reprodução (Augusto et al., 2019).

Camerro et al. (2016), observaram que em condições tropicais, animais *B. indicus* geralmente apresentam melhor desempenho do que os animais *B. taurus*, principalmente devido à sua capacidade de manter o equilíbrio térmico ao reduzir a resistência dos tecidos para aumentar a transferência de calor para o ambiente. No entanto, animais *B. taurus* são conhecidos por possuírem alta precocidade, maior peso ao abate e maior deposição de gordura na carcaça.

De acordo com Lopes (2010), os animais *Bos taurus* de origem britânica, como a raça Angus, são mais precoces para deposição de gordura em relação aos animais de origem continental, como o Simental. Por sua vez, os animais de origem continental geralmente apresentam alta taxa de crescimento e maior peso ao abate, quando abatidos em uma mesma idade, em relação a animais britânicos.

As raças bovinas mais produzidas no Brasil foram introduzidas durante a colonização, e se tornaram naturalizadas com o passar dos anos. Atualmente, dos mais de 196 milhões de bovinos criados no país, 80% dos animais destinados a pecuária de corte são da raça Nelore (*Bos indicus*), ou oriundos de seus cruzamentos (ACNB, 2021). Dessa forma, conhecer o desempenho de animais Nelore e seus cruzamentos se torna importante

para a melhoria da produtividade do sistema, principalmente dos animais terminados em confinamento, onde se preconiza maior eficiência biológica, rápido ganho de peso e deposição muscular, e abate de animais mais jovens, geralmente com menos de 24 meses.

Com o avanço do melhoramento genético da raça Nelore, cada vez mais tem-se produzido animais precoces e com desejáveis características de carcaça e carne (Rosa et al., 2013). Dessa forma, o cruzamento do Nelore com raças taurinas possibilita associar a rusticidade dos zebuínos com a produtividade dos europeus, obtendo-se carnes de melhor qualidade e, ainda, explorar os efeitos da heterose devido ao distanciamento genético existentes entre as raças (Ferreira et al., 2006).

O mercado consumidor está cada vez mais exigente por carnes saudáveis e de melhor qualidade. Os animais da raça Angus (*Bos taurus*) são mundialmente conhecidos por apresentarem carne com alto teor de marmoreio e maciez, e estão sendo amplamente utilizados no Brasil através de cruzamentos com animais Nelore. Segundo Façanha et al. (2014), esses cruzamentos resultam em progênes mais pesadas, com melhores características de carcaça, como maior área de olho de lombo (AOL), maior espessura de gordura subcutânea (EGS) e maior marmoreio.

Além disso, existe um criterioso programa de certificação feita pela Associação Brasileira de Angus (ABA) em parceria com o setor frigorífico, que avalia as características das carcaças de animais puros e oriundos do cruzamento industrial. Nessa certificação, ocorre uma bonificação de qualidade entre 2 a 6% sobre os preços de mercado, dependendo da classificação que a carcaça vier a ser enquadrada (Macedo, 2015).

Marcondes et al. (2011) avaliaram animais Nelore, Nelore x Simental e Nelore x Angus, e observaram que o consumo de matéria seca (CMS) dos animais cruzados foi maior ( $P < 0,01$ ) que dos Nelore (8,32 kg), no entanto, os Nelore x Angus apresentaram maior consumo em relação aos animais Nelore x Simental (10,32 kg vs. 9,38 kg, respectivamente). Ainda, os animais Nelore x Angus e Nelore x Simental tiveram maior ganho médio diário ( $P < 0,01$ ) em relação aos Nelore (1,32 kg vs. 1,41 kg e 1,12 kg, respectivamente).

Souza et al. (2012) avaliaram a taxa de deposição de tecidos corporais de novilhas Nelore x Angus (NA), Nelore (N) e Nelore x Simental (NS) terminadas em confinamento. Houve diferença entre os grupos genéticos quanto ao peso de carcaça (247,0 kg NA vs. 206,7 kg N vs. 201,9 kg NS), quantidade de tecido adiposo (31,6 kg NA vs. 28,2 kg N vs. 23,0 kg NS) e quantidade de tecido muscular (72,0 kg NA vs. 60,8 kg N vs. 63,6 kg NS).



Pode-se observar que as novilhas NA apresentaram os maiores valores para as características avaliadas, o que segundo os autores, se deve ao fato de a raça Angus atingir sua maturidade fisiológica de forma mais precoce quando comparada aos demais grupos genéticos avaliados. Dessa forma, animais F1 Nelore x Angus podem ser mantidos por um menor período de alimentação, pois atingem o ponto ideal de abate mais rapidamente.

Dias et al. (2016), encontraram diferenças significativas quanto ao desempenho pré desmama e características de carcaça de animais Nelore x Angus (F1) e animais Nelore (N) a pasto, recebendo suplementação desde a desmama até o abate. Os animais F1 foram superiores em relação aos animais N, quanto ao peso ao nascer (34,3 kg F1 vs. 31,0 kg N), peso à desmama (272,8 kg F1 vs. 232,2 kg N) e ganho de peso médio diário (0,82 kg F1 vs. 0,68 kg N). Quanto às características de carcaça, não houve diferença significativa entre os grupos, sendo que ambos atingiram a exigência mínima do frigorífico para espessura de gordura. Segundo os autores, como os animais foram abatidos aos 20 meses de idade, eles ainda estavam em fase de crescimento muscular e ainda não haviam atingido o peso a maturidade.

Dessa forma, o cruzamento entre animais de diferentes grupos genéticos pode ser uma importante ferramenta para o aprimoramento do rebanho, e melhoria das características de carcaça e qualidade da carne.

## **2.2 Produção de metano entérico pelos ruminantes**

No ambiente ruminal o CH<sub>4</sub> é produzido em condições anaeróbicas por microrganismos metanogênicos (Lascano e Cárdenas, 2010) e essa produção é modulada principalmente pela presença de CO<sub>2</sub> livre e hidrogênio (H<sub>2</sub>). A partir do H<sub>2</sub>, ocorre a redução do CO<sub>2</sub> pelos microrganismos, com consequente formação de CH<sub>4</sub>, de acordo com a equação:  $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$  (Martin et al., 2010).

As emissões de metano ocorrem naturalmente nos ruminantes, mas são mais acentuadas principalmente pelo consumo de dietas com alto teor de carboidratos fibrosos (Archimède et al., 2011). Diante disso, o aumento do conteúdo de fibra na dieta favorece a produção de acetato, e consequentemente, aumenta a liberação de CO<sub>2</sub> para utilização dos microrganismos metanogênicos. De forma contrária, quando a dieta tem maior proporção de concentrado a produção de propionato é favorecida, menos CO<sub>2</sub> é produzido e a emissão de metano é consequentemente menor (Janssen, 2010).

Apesar da metanogênese ocasionar perda de energia bruta para os animais, ela remove continuamente os íons H<sup>+</sup> do rúmen e assim, a formação de metano torna-se

essencial para o equilíbrio desse ecossistema pois evita o acúmulo de  $H^+$  atuando no controle do pH ruminal (Oliveira et al., 2017). Esse processo está diretamente relacionado às características da dieta do animal, que incluem o nível de ingestão de alimentos, o valor nutritivo da forragem e sua digestibilidade, além de fatores genéticos e condições de fermentação ruminal (Hristov et al., 2015).

A intensificação de sistemas de produção de bovinos de corte pode gerar ganhos ambientais de forma muito significativa, reduzindo a emissão de GEE através do menor uso de terras, uso de dietas otimizadas com maior adição de grãos, o que acelera o ganho de peso, reduz a idade ao abate e, conseqüentemente, diminui a emissão de metano entérico (Swain et al., 2018). Portanto, a melhora da composição dos alimentos fornecidos, através da redução do conteúdo de fibra e do aumento das concentrações de proteína bruta e carboidratos solúveis na dieta podem contribuir na redução da emissão de  $CH_4$  entérico (Berndt e Tomkins, 2013).

Shibata e Terada, (2010), afirmaram que a fermentação ruminal pode ser manipulada através de estratégias nutricionais, onde a utilização de lipídios tem demonstrado resultados promissores. A suplementação de dietas com lipídios é uma das maneiras mais eficazes de reduzir as emissões entéricas de  $CH_4$  pelos ruminantes. No entanto, devido à ação tóxica dos lipídios sobre os microrganismos ruminais, pode ocorrer diminuição da digestão principalmente da FDN da dieta e conseqüentemente causar queda no CMS da dieta. Sendo assim, o NRC (2016) recomenda que a quantidade máxima de extrato etéreo na dieta de bovinos não exceda 7% da matéria seca.

Diante disso, os lipídeos podem reduzir a produção de  $CH_4$  no rúmen das seguintes formas: através da diminuição de matéria orgânica fermentável no rúmen (bactérias não utilizam lipídeos como fonte de energia) e/ou a redução na população de protozoários associados à metanogênese. Além disso, os AGI presentes nos lipídeos são tóxicos para as bactérias metanogênicas (alteram a fluidez de sua membrana plasmática) e a biohidrogenação ruminal realizada pelas bactérias utilizam  $H^+$  do meio ruminal o que reduz a quantidade de  $H^+$  para a síntese de  $CH_4$ . Martin et al. (2010), ressaltaram que qualquer estratégia nutricional a ser adotada deve levar em consideração a manipulação do  $H_2$  no rúmen.

A principal forma de utilização dos lipídios nas dietas dos ruminantes é pelo fornecimento de sementes de oleaginosas, como o caroço de algodão, soja integral e linhaça. No entanto, outras fontes de lipídeos têm sido utilizadas como óleos de coco, soja, canola, palma, girassol e linhaça. Além disso, alguns fatores precisam ser

considerados para a inclusão de óleos nas dietas como: tipo e forma do óleo (sementes oleaginosas inteiras, esmagadas ou óleos puros), problemas de manuseio (como por exemplo o óleo de coco apresenta um ponto de fusão de 25 ° C se tornando sólido em temperatura ambiente), e os custos desses produtos (Wanapat et al., 2012).

Patra (2013) analisou 29 trabalhos publicados, dividindo-os em dois grupos para avaliar os efeitos da suplementação de lipídios em baixas ou altas concentrações (menor que 5% ou maior que 5% de EE na MS da dieta) na emissão de CH<sub>4</sub>. Os ingredientes utilizados nos estudos foram sementes de algodão, canola, colza, linhaça, girassol, soja, canjica, cevada e óleos de girassol, coco, linhaça, soja, canola, peixe, sebo e de palma, além de ácidos graxos puros, como o láurico (C12:0), o mirístico (C14:0) e o esteárico (C18:0). O autor não encontrou diminuição na produção de metano analisada em g/dia ou g/kg de MS digestível com suplementação inferior a 5% de EE na dieta. No entanto, houve diminuição da produção de metano nos trabalhos que utilizaram níveis acima de 5% de EE, independentemente da fonte utilizada (sementes ou óleos).

Fiorentini et al. (2014) avaliaram os efeitos de diferentes fontes de lipídios na emissão de CH<sub>4</sub> em novilhos Nelore confinados. Todas as dietas com lipídios adicionados continham em média 4,2% de EE na MS, sendo elaboradas cinco dietas: sem gordura adicional, com óleo de palma, óleo de linhaça, soja integral e gordura protegida (Lactoplus). Os maiores CMS foram observados nos tratamentos sem adição de lipídios (8,8 kg/dia) e com a gordura protegida (7,57 kg/dia), em relação aos tratamentos com linhaça (7,10 kg/dia), soja integral (6,47 kg/dia) e óleo de palma (4,8 kg/dia). Segundo os autores, o efeito no CMS pode ser atribuído pela diminuição na degradação da FDN da dieta, causada pela toxidez dos lipídios aos microrganismos ruminais. Por outro lado, as dietas com soja integral, óleo de linhaça e óleo de palma causaram uma redução média de 30% nas emissões de CH<sub>4</sub> entérico (g/kg de MS ingerida). A redução da emissão de metano nos animais suplementados com óleo de linhaça e soja integral foi de 4,6 g/kg de MS ingerida (redução de 1,1 g de CH<sub>4</sub> a cada 10 g de lipídio suplementar), e com óleo de palma foi de 1,8 g/kg de MS ingerida. No entanto, o tratamento com óleo de palma além de reduzir o CMS, afetou negativamente o desempenho, a eficiência alimentar e o rendimento de carcaça dos animais.

Rossi et al. (2017), avaliaram a substituição do milho pela casca de soja combinada ou não com soja integral moída na produção de CH<sub>4</sub> em novilhos Nelore confinados. Foram avaliadas quatro dietas com níveis de gordura variando entre 2,5% a 6,5%. A adição de soja moída nas dietas proporcionou redução no CMS, na digestibilidade de

nutrientes e nas emissões de CH<sub>4</sub>, independentemente do nível de amido. Houve redução de 3% na digestibilidade da MS nos animais alimentados com as dietas que continham soja moída, porém a emissão de CH<sub>4</sub> (g/d) foi reduzida em 28%. Os autores relataram que os animais apresentaram menor CMS sem afetar o GMD, e que as alterações na fermentação ruminal, associadas às diferentes fontes de carboidratos, não afetaram a eficiência na utilização dos alimentos.

Jose Neto et al. (2019), observaram redução na produção de CH<sub>4</sub> (g/dia) de 19% em animais suplementados com soja integral, com teores de extrato etéreo entre as dietas variando de 2,58 a 12,4%. A soja é uma fonte de AGI que são tóxicos aos microrganismos ruminais, o que pode contribuir também para a redução da formação dos ácidos graxos acetato e butirato durante a fermentação. A formação de acetato e butirato resultam na produção de H<sub>2</sub>, que é utilizado pelos microrganismos metanogênicos para a redução do CO<sub>2</sub>, e consequente formação de CH<sub>4</sub> (Hegarty, 1999)

Dessa forma, conhecer os mecanismos de síntese de CH<sub>4</sub> e os fatores que influenciam na sua produção é de extrema importância para o desenvolvimento de estratégias que visam minimizar a emissão desse gás, sem afetar o desempenho dos animais. Dessa forma, a modificação na dieta adicionando-se fontes de lipídios, é um método promissor que vem demonstrando resultados eficazes. Portanto, a manipulação do H<sub>2</sub> no rúmen é a chave principal para o controle da produção e emissão de CH<sub>4</sub>.

## **2.3 Características de carcaça**

### **2.3.1 Peso e rendimento de carcaça**

O peso da carcaça é uma variável de grande importância, pois, está diretamente relacionado ao valor comercial do animal. O peso de carcaça quente (PCQ), é uma medida quantitativa obtida ao final da linha de abate, antes da lavagem das carcaças para acondicionamento nas câmaras frias. Já o peso de carcaça fria (PCF) deve ser coletado após seu resfriamento (em média após 48 horas), quando pretende-se estimar as perdas por resfriamento e/ou utilizá-lo para correlações com pesos e rendimentos de cortes na desossa (Gomes et al., 2021).

O rendimento de carcaça (RC) é calculado pela relação entre o PCQ e peso vivo do animal. Dessa forma, o RC pode ser influenciado por alguns fatores como condição de pesagem dos animais (individual ou em lotes), realização ou não de jejum pré pesagem, tempo de jejum pré pesagem (12 ou 16 horas), o tipo de dieta consumida antes do jejum,

tempo desde a chegada dos animais no frigorífico até seu abate e a toailete realizada na carcaça (retirada do excesso de gorduras e remoção de áreas lesionadas e com abscessos principalmente de vacinas quando presentes).

O RC também é influenciado pelo peso corporal do animal e pelo peso do trato gastrointestinal, que podem ser diferentes entre os grupos genéticos, nutrição, grau de maturidade e peso das partes não integrantes da carcaça, como os órgãos. O tamanho relativo dos órgãos internos é de grande importância, pois modifica diretamente o RC e a exigência de energia líquida para manutenção. Segundo Mousquer et al. (2014), animais *Bos taurus* tem maior tamanho de trato gastrointestinal, e maior deposição de gordura pélvica e renal que animais *Bos indicus*, e conseqüentemente, menor RC, uma vez que gordura interna é retirada nos processos de evisceração e toailete da carcaça.

De acordo com Lopes et al. (2012a), maiores RC podem ser obtidos de carcaças de animais com maiores teores de gordura e menor tamanho de trato gastrointestinal. No entanto, o excesso de gordura é o que mais contribui para a redução de peso no momento da toailete das carcaças. Ainda, o RC é um dos muitos fatores que afetam o valor de um animal abatido pois, a princípio, os bovinos eram comercializados com base no peso corporal, mas hoje, a comercialização é feita com base no peso de carcaça quente. Portanto, é importante entender os sistemas de precificação de gado para abate e a variabilidade dos preços.

Façanha et al. (2014) avaliaram as características de carcaça de animais  $\frac{1}{2}$  Angus x  $\frac{1}{2}$  Nelore e  $\frac{3}{4}$  Angus x  $\frac{1}{4}$  Nelore terminados em confinamento. Não foram observadas diferenças significativas quanto ao peso ao abate (412,33 kg vs. 426,53 kg), e no RC (52,6% vs. 52,9%). Os autores concluíram que não houve diferenças entre os grupos genéticos nas características de carcaça e carne. Diante disso, o cruzamento industrial foi o mais recomendado pois, os animais são abatidos uma geração antes dos animais  $\frac{3}{4}$  Angus x  $\frac{1}{4}$  Nelore, e os animais com maior proporção de Nelore geralmente têm menores exigências nutricionais e são mais resistentes a doenças e estresse térmico.

O desempenho e as características de carcaça de animais confinados, oriundos de touros Nelore, Angus e Brahman cruzados com vacas Nelore, foram avaliados por Pereira et al. (2015). Os bezerros filhos de touros Angus atingiram maiores ( $P < 0,01$ ) pesos de abate (507,0 kg) do que os filhos de touros Brahman (469,0 kg) e Nelore (413,0 kg). No entanto, o RC foi menor ( $P < 0,01$ ) nos animais Angus (55,2 %) e maior nos animais Nelore (56,1 %). De acordo com os autores, os animais cruzados apresentam maior ganho de peso e, em média, produzem carcaças com maior cobertura de gordura e qualidade de

carne superior, quando comparados aos animais zebuínos, devido à combinação da superioridade do Angus para essas características, bem como o efeito da heterose.

Ladeira et al. (2017), avaliaram o desempenho e características de carcaça de animais Nelore e Nelore x Angus terminados em confinamento. Os animais cruzados apresentaram maior ( $P < 0,01$ ) consumo de matéria seca (CMS) (7,60 kg vs. 6,75 kg) e maior ganho médio diário (GMD) (0,96 kg vs. 0,84 kg), no entanto, os animais Nelore apresentaram maior ( $P < 0,01$ ) RC (57,9% vs. 54,8%).

Já Maciel et al. (2019), observaram diferenças ( $P < 0,01$ ) entre animais Nelore e Nelore x Angus terminados no confinamento para diversas variáveis de desempenho e carcaça. Os animais cruzados obtiveram maiores pesos ao abate (617,5 kg vs. 509,4 kg), GMD (1,87 kg vs. 1,32 kg), PCQ (352,4 kg vs. 284,2 kg) e, diferente dos trabalhos anteriormente citados, os autores também encontraram maior RC (57,1% vs. 55,8%) para os animais cruzados.

### 2.3.2 Temperatura e pH

A temperatura final e o pH final são os principais fatores que influenciam o prazo de vida comercial da carne. Após o abate, a refrigeração da carcaça em temperaturas próximas a 7°C visa garantir a segurança higiênica das carcaças e determina a velocidade das reações químicas no *post-mortem* (Lopes et al., 2012a).

De acordo com Souza e Ribeiro (2021), o pH corresponde ao potencial hidrogeniônico de uma solução e serve para medir o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de determinada solução, através da determinação da concentração de íons de hidrogênio ( $H^+$ ). Logo após o abate o pH muscular encontra-se em torno de 7,0, e espera-se que após 24 horas ele esteja próximo a 5,80 a 5,50. Segundo Gomes et al. (2021), o pH da carcaça está relacionado às características qualitativas da carne, como cor, maciez, textura e capacidade de retenção de água. A medição do pH na carcaça é recomendada no músculo *longissimus thoracis*, pois é um músculo longo e relativamente uniforme (Lopes et al., 2012a).

Após o abate, a circulação sanguínea cessa e inicia-se reações bioquímicas dentro das células via metabolismo anaeróbico para obter energia através da glicólise. Durante a glicólise ocorre a produção de ácido láctico, responsável pela queda do pH muscular. Dessa forma, o pH está relacionado à concentração de glicogênio muscular antes do abate (Lima et al., 2016). Ainda, a redução do pH também é muito importante para a qualidade e vida

útil da carne pois a maioria das bactérias deteriorantes não se desenvolve em baixo pH (Jay et al., 2005).

Segundo Matarneh et al. (2017), os produtos finais da glicólise *post-mortem* e da hidrólise de ATP (lactato e íons hidrogênio), se acumulam no músculo e, conseqüentemente, ocasiona redução do pH. A glicólise *post-mortem* geralmente pára na presença de glicogênio residual no músculo de certas espécies. A relação entre o conteúdo de glicogênio e o pH final é curvilínea em vez de linear, porque o pH final diminui à medida que o glicogênio aumenta até se atingir um platô.

De acordo com Leite et al. (2015), o sangue tem pH próximo de 7,35 a 7,45, grande concentração proteica e rápida capacidade de putrefação. O pH final da carne pode também ser alterado pela retenção de sangue nos músculos devido ao menor tempo de sangria, o que interfere na conservação e qualidade da carne devido à possível multiplicação bacteriana. Sendo assim, a sangria eficiente durante o abate deve ser considerada uma operação de grande importância para a obtenção de um produto de qualidade.

Além disso, quando bovinos são submetidos a situações de estresse pré-abate pode ocorrer rápida diminuição do glicogênio muscular, o que resulta em menor queda no pH nos músculos *post-mortem* (Miguel et al., 2014). Como consequência, o estabelecimento do *rigor mortis* acontece nas primeiras horas, mesmo antes da carcaça ser levada à câmara fria, pois a reserva energética não é suficiente para sustentar o metabolismo anaeróbico. Segundo Lopes et al. (2012a), animais *Bos indicus* tendem a apresentar temperamento mais agitado em relação a animais *Bos taurus* e seus cruzamentos, o que pode ocasionar maior estresse pré-abate e, conseqüentemente, um maior valor de pH no músculo.

A carne com pH 6,0 ou superior geralmente tem coloração mais escura e a vida útil reduzida, enquanto a carne de pH < 5,4 tem uma cor pálida, menor capacidade de retenção de água, menor capacidade de extração de proteínas, além de menor rendimento quando processada. Portanto, o pH final é amplamente considerado como um indicador de qualidade da carne fresca (Matarneh et al., 2017). De acordo com Abril et al. (2001), quando o pH do músculo permanece elevado na carcaça, a respiração mitocondrial permanece alta e a mioglobina é desoxigenada, as proteínas se associam com mais água no músculo e as fibras serão compactadas, resultando numa cor vermelha escura na carne denominada carne tipo DFD (*Dark, Firm, Dry*).

Café et al. (2011), estudaram a influência do temperamento animal no pH inicial e final de carcaças de animais Brahman e Angus. Os autores encontraram alterações no pH

final das carcaças ( $P = 0,01$ ) e um aumento na temperatura das carcaças à medida que atingiam pH 6,0 ( $P < 0,01$ ), o que pode afetar o encurtamento da fibra muscular e a atividade do sistema calpaína, que influencia na maciez da carne. Resultados diferentes foram obtidos por Francisco et al. (2015), pois não observaram efeito do temperamento no pH inicial ( $P = 0,32$ ) ou pH final ( $P = 0,43$ ) das carcaças de animais Nelore.

As características de carcaça de animais Red Norte ( $\frac{1}{2}$  Senepol x  $\frac{1}{4}$  Angus x  $\frac{1}{4}$  Nelore) e Nelore terminados em confinamento foram avaliados por Lopes et al. (2012a). Foram observados valores de pH inicial (0 h) mais baixos ( $P < 0,01$ ) e pH final (48 h) mais altos ( $P = 0,001$ ) nos animais Red Norte (6,55 e 5,48) em relação aos Nelore (6,79 e 5,42). Segundo os autores, resultados contrários de pH poderiam ser encontrados, já que os animais zebuínos se estressam mais facilmente do que os taurinos e, no entanto, pode-se concluir que para um efetivo declínio de pH, ambos os grupos genéticos obtiveram reserva de glicogênio adequada no momento do abate.

Oliveira et al. (2021), não encontraram diferenças ( $P > 0,05$ ) no pH das carcaças de animais Nelore, Nelore x Angus e Nelore x Canchim, terminados no confinamento. O pH inicial das carcaças foi de 6,68, 6,92 e 6,89, e o pH final foi de 5,91, 5,98 e 5,93, para os grupos genéticos Nelore, Nelore x Angus e Nelore x Canchim respectivamente.

Monteiro et al. (2022), avaliaram animais Nelore e cruzados Nelore x Angus terminados em confinamento. Os autores observaram diferenças significativas na temperatura e no pH final das carcaças dos animais Nelore (8,5°C e pH 5,43) e dos animais cruzados (5,6°C e pH 5,57). Apesar da temperatura das carcaças estar entre o desejado, abaixo de 10°C, a diferença entre os grupos genéticos pode ter sido devido à maior deposição de gordura corporal nos animais Nelore, que obtiveram maior espessura de gordura subcutânea (9,1 mm vs. 4,8 mm). Em relação ao pH, os valores finais também ficaram entre o esperado (abaixo de 5,8), o que evidencia que a reserva de glicogênio estava adequada no momento do abate.

### **2.3.3 Maciez**

A maciez da carne é a característica de qualidade mais importante que contribui para a satisfação do consumidor de carne bovina. Segundo Pereira et al. (2015), animais zebuínos geralmente produzem carne com menor maciez, e menor percentual de gordura intramuscular quando comparados a animais taurinos. Essa diferença se deve à variação genética entre as raças e seus cruzamentos, e entre touros dentro de uma mesma raça.



O amaciamento da carne depende de alguns fatores como a modificação de partes estruturais do músculo, e a combinação de proteínas durante e após o *rigor mortis*. Os valores obtidos na máxima contração (*rigor*) são muito importantes, pois com eles serão determinadas as taxas de decréscimo dessa contração (Lage et al., 2009). Ainda, segundo esses autores, a redução na maciez também pode ser causada pelo encurtamento das fibras musculares, que ocorre na carne *post-mortem*.

Durante o *post-mortem*, a atuação das enzimas proteolíticas, como a calpaína e calpastatina, também é determinante na qualidade da carne. O sistema calpaína é composto por várias isoformas da enzima proteolítica calpaína, e um inibidor endógeno das calpaínas, a calpastatina. Para que as calpaínas sejam ativadas e realizem a proteólise das proteínas miofibrilares, é necessário cálcio e uma faixa de pH ótimo. As calpaínas também exercem atividade sobre o colágeno presente no músculo e atuam no desprendimento dos filamentos de actina da linha Z, dos sarcômeros. Em decorrência da diminuição da proteólise, a atividade da calpastatina na inibição das calpaínas pode ocasionar carnes mais duras e com consequente maior força de cisalhamento (Lonergan et al., 2010).

Segundo Whipple et al. (1990), quando comparados a *Bos taurus*, animais *Bos indicus* apresentam níveis mais baixos de calpaína e níveis mais elevados de calpastatina, o que resulta no decréscimo da maciez da carne. Os autores reportaram que existe uma relação entre a atividade da enzima calpastatina e a força de cisalhamento da carne.

De acordo com Pacheco et al. (2020), iniciar precocemente a fase de terminação, mesmo que com pesos mais leves, aumentar o tempo de confinamento, elevar o fornecimento de concentrado na dieta e aumentar o grau de marmoreio da carne, são estratégias que aumentam a chance de obtenção de carne mais macia de animais confinados. Além disso, Alves et al. (2005), afirmaram que a maturação da carne pode beneficiar a maciez do produto final, sendo vantajoso, principalmente, quando se trata de animais com alto grau de sangue zebuíno. Os autores observaram que as carnes de animais com 75% de sangue zebuíno, após dez dias de maturação, apresentaram uma força de cisalhamento semelhante a carne de animais Angus, que não foram submetidas ao processo de maturação. Para fins comparativos, segundo os autores, são consideradas carnes macias, aquelas que apresentam força de cisalhamento inferior a 4,5 kgf.

Lage et al. (2012), avaliaram a maciez da carne de animais Nelore e cruzamento Angus x Nelore terminados em confinamento. Os autores observaram diferenças significativas na força de cisalhamento de animais cruzados (2,94 kgf) em relação aos

animais Nelore (3,34 kgf). De acordo com os autores, a atividade da enzima calpastatina, reguladora do processo de amaciamento através da inibição da atividade das enzimas calpaínas, poderia explicar a maior força de cisalhamento encontrada na carne dos animais Nelore. A diminuição da maciez na carne de animais zebuínos é, em grande parte, devido à redução da proteólise *post-mortem* resultante da maior atividade da calpastatina.

Pacheco et al. (2020), analisaram diversos trabalhos publicados no Brasil entre 1999 e 2019, em que os pesquisadores avaliaram a maciez da carne bovinos de corte em terminação, que receberam aproximadamente de 42,6% de concentrado na dieta. O percentual de sangue zebuíno dos animais utilizados nas pesquisas foi de 42,4%, e esses animais foram abatidos com idade média de 20,7 meses de idade. Para a determinação da maciez, as carnes foram classificadas como macia quando apresentavam força de cisalhamento inferior a 4,6 kgf/cm<sup>2</sup> e dura quando superior a 4,6 kgf/cm<sup>2</sup>. A região do Brasil em que a pesquisa foi realizada contribuiu com 2% na variação da força de cisalhamento, a participação do genótipo zebuíno contribuiu com 11,8%, enquanto 31,4% da variação estiveram relacionados ao percentual de concentrado utilizado nas dietas. Segundo os autores, para cada 10 kg a mais no peso inicial ao início da terminação, esperava-se uma redução na maciez de 61,6%, enquanto que um aumento de 5% de concentrado na dieta (além da quantidade já fornecida), haveria um aumento de 2,7 vezes de chance para obtenção de uma carne macia.

### 2.3.4 Cor

A mioglobina é a proteína presente nos músculos, que tem como função o transporte de oxigênio (O<sub>2</sub>) sendo a principal substância na determinação da cor da carne. A cor da carne indica a concentração de mioglobina e seu estado de oxigenação ou oxidação na superfície do músculo. De acordo com Pearson (2013), as altas concentrações de pigmentos nos músculos produzem cores escuras, e baixas concentrações de pigmentos produzem cores claras. Além disso, a quantidade de mioglobina varia com a espécie, sexo, idade, localização anatômica do músculo, atividade física, pelo tipo de fibra muscular bem como pelo nível de sangria do animal no abate (Cornforth, 1994).

As cores da carne e da gordura podem ser avaliadas com o uso do colorímetro, instrumento que é capaz de captar tons entre um amplo espaço de cores do sistema CIE Lab (L\*, a\* e b\*), desenvolvido pelo CIE (International Commission on Illumination) em 1976 (Gomes et al., 2021). O índice L\* representa a luminosidade variando de branco (+L) a preto (-L); a\* representa a oposição entre as cores verde (-a\*) a vermelho (+a\*); e

$b^*$  representa a oposição entre as cores azul ( $-b^*$ ) a amarelo ( $+b^*$ ) (Passett et al., 2016). Na carne, os parâmetros  $L^*$  e  $a^*$  são mais associados à cor e intensidade do vermelho, já o parâmetro  $b^*$  pode oscilar quando há presença de gordura intramuscular. Ainda, em cada uma dessas direções ( $-$  ou  $+$ ), quanto mais extremos os valores, maior será a saturação da cor. (Gomes et al., 2021).

Outro parâmetro utilizado para a avaliação da cor é através do espaço de cor  $L^*c^*h$ , também desenvolvido pela CIE. O sistema  $L^*c^*h^*$  usa o mesmo diagrama que o espaço de cor  $L^*a^*b^*$ , mas usa coordenadas cilíndricas ao invés de coordenadas retangulares. O  $c^*$  (croma) representa a saturação e o  $h^*$  representa o ângulo de tonalidade. Tem-se ainda a delta E ( $\Delta E$ ) que representa a magnitude da diferença total de cor, e é definida pela diferença entre cores no espaço de cores tridimensional  $L^*a^*b^*$  (Karki et al., 2022). Os valores  $c^*$  e  $h^*$ , que são funções de  $a^*$  e  $b^*$ , podem estimar o escurecimento da carne e, no geral, aumento nos valores dessas variáveis ao longo do tempo pode indicar um processo de descoloração (Lee et al., 2005).

Prändl et al. (1994), apresentaram uma escala de interpretação para  $\Delta E$ . Valores de  $\Delta E$  entre 0 - 0,2 correspondem a alterações imperceptíveis ao olho humano; 0,2 - 0,5 muito pouco perceptível; 0,5 - 1,5 quase imperceptível; 1,5 - 3,0 percepções evidentes; 3,0 - 6,0 percepções muito evidentes; 6 - 12 percepções bastante claras; 12 - 14 facilmente perceptível.

A cor da carne geralmente é considerada como o principal aspecto de escolha no momento da comercialização, principalmente, pela questão visual. Dessa forma, a estabilidade na cor da carne é muito importante pois aumentará a vida útil de prateleira, e fará com que seja mais bem aceito pelos consumidores (Font-I-Furnols e Guerrero, 2014).

Abril et al. (2001), observaram que alterações na coloração da carne também estão relacionadas ao pH, pois as variáveis  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$  e  $h^*$  foram afetadas pelo pH final ( $P < 0,01$ ). Da mesma forma, Gaguaoua et al. (2015), correlacionaram a variável  $L^*$  com o pH final e, segundo os autores, a variável  $a^*$  é mais influenciada pelo pH inicial devido à desnaturação de proteínas que leva à inativação precoce de enzimas que consomem  $O_2$ .

De acordo com Mateus et al. (2018), a maturação de cortes cárneos através da técnica de embalagem a vácuo, pode preservar as características da carne, contribuir com a maciez e reduzir a contaminação, no entanto, provoca alterações nos aspectos de coloração da carne. Os autores avaliaram carnes maturadas por um período de 9 dias, e

observaram diferença ( $P < 0,01$ ) nos valores de croma e de tonalidade, o que alterou a intensidade de cor da carne.

A maturação a vácuo pode gerar mudanças na estrutura da carne e ocasionar a diminuição da dispersão da luz, com conseqüente aumento da separação de miofibrilas. O aumento na concentração de oximioglobina no interior da embalagem a vácuo, e a profundidade de penetração da luz na superfície de carnes maturadas pode esclarecer a tonalidade mais escura (Callejas-Cárdenas et al., 2014).

Andrade et al. (2010), trabalharam com animais Nelore e Red Norte ( $\frac{1}{2}$  Senepol x  $\frac{1}{4}$  Angus x  $\frac{1}{4}$  Nelore) terminados em confinamento, e avaliaram a coloração das carnes maturadas aos 1, 7, 14 e 21 dias. Os autores não observaram diferenças ( $P > 0,05$ ) entre o teor de vermelho ( $a^*$ ) e a intensidade de amarelo ( $b^*$ ) entre grupos genéticos, no entanto, a luminosidade ( $L^*$ ) e foi maior ( $P < 0,05$ ) nas amostras de animais cruzados em relação aos Nelore. Em relação aos dias de maturação, houve aumento nas médias de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $h^*$ , e as alterações mais importantes ocorreram entre 7 e 14 dias de maturação. Segundo os autores, a menor luminosidade nos primeiros dias pode ser devido à maior retenção de água e a menor intensidade de vermelho pode ser resultado do estado da forma química dos pigmentos heme.

Monteiro et al. (2022), observaram diferenças significativas em alguns parâmetros de cor na carne maturada de animais Nelore e cruzados Nelore x Angus terminados em confinamento. Os animais Nelore apresentaram valores de  $L^*$  mais elevados ( $P < 0,01$ ) para os dias 1 e 21 de maturação. Em relação aos parâmetros de  $a^*$  e  $c^*$ , os animais Nelore apresentaram valores superiores aos animais cruzados para os dias 21 e 42 de envelhecimento ( $P < 0,01$ ). Segundo os autores, o aumento dos valores de  $L^*$  em função do tempo de maturação pode ser associado com a menor atividade respiratória mitocondrial, o que proporciona maior oxigenação da molécula de mioglobina, e conseqüente formação de oximioglobina. Além disso, durante a maturação, as células musculares perdem a integridade das paredes celulares, ocasionando na perda de água.

### **2.3.5 Oxidação lipídica**

A oxidação lipídica, envolve uma reação em cadeia de radicais livres, e é a deterioração mais importante que ocorre nas gorduras afetando não somente o sabor, mas também os pigmentos da carne, além de destruir vitaminas lipossolúveis e ácidos graxos essenciais (Osawa et al., 2005; Faustman et al., 2010).

A oxidação pode ser iniciada pela exposição dos lipídeos ao calor, luz, entre outros fatores, e a principal reação a auto oxidação, ou oxidação do radical livre, ocorre através da reação com o O<sub>2</sub> molecular. Esse processo é dependente da produção de radicais livres e envolve três estágios: 1) iniciação, onde ocorre o desaparecimento de substratos de oxidação, como O<sub>2</sub> e ácidos graxos; 2) propagação, onde ocorre o aparecimento de peróxidos e hidroperóxidos (produtos primários da oxidação), que dão início a rancidez; 3) terminação, onde dois compostos radicais se combinam formando produtos secundários como aldeídos, álcoois e compostos voláteis e não voláteis (Wójciak e Dolatowski, 2012).

Segundo Lima et al. (2017), os ácidos graxos poli-insaturados (PUFA), principalmente o ácido linoleico (C18:2, n-6), linolênico (C18:3, n-3) e araquidônico (C20:4, n-6), são os mais suscetíveis à oxidação quando expostos ao calor. Nesse sentido, carnes com maior concentração de PUFA tendem a deteriorar mais rapidamente. Ainda, segundo Faustman et al. (2010), maiores concentrações de ferro e mioglobina estão associadas a maiores taxas de oxidação lipídica.

Produtos da oxidação lipídica, como o malonaldeído, são responsáveis pela rancidificação da carne. O teste de TBARS, baseado na reação do ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) com produtos da decomposição dos hidroperóxidos, quantifica o malonaldeído formado, produzindo um composto de cor vermelha (Osawa et al., 2005). No entanto, o teste de TBA deve ser utilizado para medir a extensão geral da oxidação lipídica, pois o malonaldeído não é o único produto que reage com o TBA, pois outros componentes interferem no teste (Araújo, 2004).

De acordo com McKenna et al. (2005), a oxidação lipídica está relacionada com a oxidação de pigmentos da carne, pois este mecanismo está relacionado à oxidação direta do pigmento ou à destruição dos sistemas redutores de pigmento pelos radicais livres durante a oxidação lipídica. Os pesquisadores relataram que músculos com maior estabilidade de cor foram caracterizadas por menor consumo de O<sub>2</sub> e menor oxidação lipídica.

Amaral et al. (2018), relataram que a taxa de oxidação lipídica pode ser influenciada por diversos fatores como aquecimento, maturação, desossa, cortes, exposição ao O<sub>2</sub>, tempo de armazenamento e embalagens, e qualquer ação que leve à ruptura da membrana e exposição dos fosfolipídios ao oxigênio pode acelerar o processo de oxidação. Sendo assim, as embalagens a vácuo são estratégias que podem reduzir a oxidação, pois as carnes são colocadas em uma embalagem de filme plástico com baixa

permeabilidade ao O<sub>2</sub>. O O<sub>2</sub> residual será convertido a CO<sub>2</sub>, o que contribui para a seleção de microbiota tolerante a este gás (Cenci-Goga et al., 2020).

Ladeira et al. (2014), avaliaram a influência de diferentes fontes de lipídios (grãos de soja e lipídios protegidos) na oxidação lipídica da carne maturada de animais cruzados (*B. indicus* x *B. taurus*). Os maiores valores de oxidação foram observados nos animais que receberam soja moída ( $P < 0,01$ ), após 21 dias de maturação, devido à maior concentração de PUFA encontrada no músculo *longissimus thoracis* destes animais.

Antonelo et al. (2020), também avaliaram a oxidação lipídica de carnes maturadas de animais Nelore e Nelore x Angus, e observaram diferenças ( $P = 0,02$ ) na oxidação lipídica. Os animais Nelore apresentaram maiores concentrações de TBARS do que os animais cruzados, e essas concentrações aumentaram linearmente ( $P < 0,01$ ) com o tempo de maturação, independente do grupo genético. No entanto, os autores não encontraram diferenças ( $P > 0,05$ ) nas concentrações de PUFA entre os grupos genéticos.

Resultados diferentes foram obtidos por Teixeira et al. (2022), que analisaram a oxidação lipídica da carne maturada de animais Nelore e Angus terminados em confinamento, e não encontraram diferenças maturação ( $P > 0,05$ ) entre os grupos genéticos, e na interação raça x tempo de maturação para os valores de oxidação lipídica.

### **2.3.6 Composição química**

A carne é um alimento de alto valor biológico, e existem quatro componentes que podem ser considerados substratos primários que influenciam diretamente na qualidade do produto final: proteína, umidade, matéria mineral e lipídios totais. Geralmente, o teor de proteína e minerais presentes nas carnes são praticamente constantes, já os lipídios totais e umidade apresentam grande variação, e existe uma correlação negativa entre esses dois constituintes (Lopes et al., 2012a). Ainda segundo os autores, o consumo de energia pelos animais pode alterar a concentração de lipídeos na carne.

No músculo existem fibras musculares que consistem em miofibrilas compostas por inúmeras proteínas, que são as principais proteínas dos filamentos (Nishimura, 2015). Segundo Lawrie (2005), as proteínas da carne são um dos compostos mais importantes nutricionalmente, e representam cerca de 18 a 22% da sua composição. Essas proteínas apresentam elevado valor biológico devido à disponibilidade de aminoácidos essenciais. São importantes para o crescimento, desenvolvimento e manutenção do organismo, além de promover a imunidade e atuar na prevenção de doenças (Bridi, 2014).

O conteúdo em aminoácidos essenciais determina o valor biológico das proteínas que podem ser classificadas de acordo com sua solubilidade: proteínas solúveis em água, como a mioglobina (principal pigmento da carne); proteínas solúveis em soluções salinas, como a actina e miosina, importantes na contração muscular; e proteínas insolúveis, pertencentes ao tecido conjuntivo, como o colágeno (Roça, 2008).

De acordo com Nishimura (2015), a textura da carne depende da estrutura e composição do músculo esquelético, que é formado principalmente por fibras musculares e tecido conjuntivo intramuscular. A integridade do músculo esquelético é mantida por três camadas de tecido conjuntivo intramuscular: endomísio, que envolve fibras musculares individuais; perimísio, que agrupa grupos de fibras musculares e contém depósitos lipídicos conhecidos como marmoreio; e o epimísio, que envolve todo o músculo.

Com o crescimento do animal, a integridade estrutural do tecido conjuntivo intramuscular aumenta, as fibras de colágeno do músculo *longissimus thoracis* associam-se mais intimamente, e as fibras no perimísio tornam-se cada vez mais espessas, o que está relacionado com o aumento da resistência mecânica e endurecimento da carne. No entanto, em bovinos de corte que apresentam carne com alto teor de marmoreio, o depósito de gordura (principalmente no perimísio entre os feixes das fibras musculares) ocorre durante todo o período de engorda e, portanto, o desenvolvimento dos tecidos adiposos pode desorganizar a estrutura do tecido conjuntivo e contribuir para a maciez (Nishimura, 2015).

O conteúdo total de colágeno no tecido muscular dos animais pode variar entre 1 a 15% de seu peso vivo e as diferenças na textura de vários músculos esqueléticos são devidos, não só ao conteúdo total de colágeno, mas também a outros fatores como genética e alimentação. A estabilidade mecânica e química das fibrilas de colágeno aumenta, principalmente, com a idade cronológica do animal. Essas mudanças são devido à natureza química das ligações cruzadas das moléculas de colágeno, pois as ligações cruzadas redutíveis são transformadas em compostos não redutíveis mais estáveis à medida que o animal envelhece, o que provoca uma diminuição na solubilidade do colágeno, resultando em carne mais dura (Nishimura, 2010). De acordo com o mesmo autor, a estabilidade mecânica do tecido conjuntivo intramuscular não depende apenas das ligações cruzadas intermoleculares do colágeno, mas também do tamanho e disposição das fibrilas de colágeno.

Crouse et al. (1986), relataram que a maior taxa de crescimento antes do abate tem efeito importante na maciez da carne, pois afeta a estabilidade do tecido conjuntivo e a facilidade de fragmentação miofibrilar no músculo *post-mortem*. O colágeno recém sintetizado contém menos ligações cruzadas, resultando num colágeno com fibras menos estáveis e mais solúveis. Portanto, o aumento da solubilidade do colágeno pode ser alcançado através de estratégias como a redução da idade ao abate e aumento da taxa de crescimento animal (Roy et al., 2015).

Diante disso, diferenças entre grupos genéticos ( $P < 0,01$ ) na quantidade e solubilidade do colágeno foram observadas por Stolowski et al. (2006). Os autores avaliaram diferentes músculos de animais  $\frac{3}{4}$  Angus x  $\frac{1}{4}$  Brahman,  $\frac{1}{2}$  Angus x  $\frac{1}{2}$  Brahman e  $\frac{1}{4}$  Angus x  $\frac{3}{4}$  Brahman, onde os músculos com maior percentagem de colágeno solúvel, como *longissimus thoracis* e *Gluteus medius* apresentaram os menores valores de força de cisalhamento.

Segundo Prado et al. (2008) e De Lima et al. (2011), animais de raças zebuínas tendem a apresentar carne mais dura em função do maior número de ligações cruzadas termoestáveis do colágeno, além do perfil das enzimas calpaína e calpastatina, discutidas anteriormente. No entanto, Martins et al. (2015) e Barcellos et al. (2017), não encontraram diferenças ( $P > 0,05$ ) no conteúdo de colágeno intramuscular da carne de animais Angus, Nelore e Nelore x Angus, terminados em confinamento aos 20 e 22 meses, respectivamente.

A umidade está relacionada com a preservação e com a suculência da carne (Pitombo et al., 2013), e cerca de 75% do músculo é constituído de água (Roça et al., 2008). A água presente no músculo pode influenciar os padrões de qualidade da carne, como suculência e sabor. Além disso, diversos compostos solúveis, como proteínas, sais minerais e carboidratos, podem ser encontrados no meio aquoso da carne (Roça et al., 1997).

A carne bovina apresenta alto teor de minerais que são muito importantes à saúde humana, como o ferro, zinco, fósforo, potássio, sódio e magnésio. A carne é considerada a melhor fonte dos minerais ferro e zinco pois, quando comparados a outros alimentos, eles estão presentes em maiores concentrações e numa forma altamente disponível (Young et al., 2013). De acordo com Lopes (2010), o ferro atua como constituinte da hemoglobina, mioglobina e outras enzimas, e o consumo de carne aumenta a absorção do ferro presente em outros alimentos, quando ingeridos ao mesmo tempo.



A gordura na carne de animais ruminantes é a mais complexa entre todas as gorduras dos alimentos, sendo composta por uma ampla gama de lipídios que atendem a fatores estruturais, metabólicos e funcionais (sinalização celular) dentro do corpo animal, além de funcionar como isolante térmico. No tecido animal, a gordura está armazenada como gordura subcutânea, intramuscular (marmoreio) e intermuscular (Roça, 2008).

Os lipídios encontrados na carne podem estar na sua forma saturada ou insaturada, e ambos apresentam diversas funções no organismo humano. Muito se fala sobre a relação entre o consumo de carnes e a ocorrência de doenças cardiovasculares, devido aos ácidos graxos saturados (AGS). No entanto, recentes estudos demonstraram que ainda não há uma associação clara entre o consumo de carne bovina e o aumento de doenças cardiovasculares e alguns tipos de cânceres (Lawrence, 2013; Oliveira, e Pitchel, 2013; Vahmani et al., 2015, 2020).

A determinação da quantidade de lipídios totais na carne é importante do ponto de vista nutricional, mas, também, indispensável para as características de sabor. Segundo Arboitte et al. (2004), carcaças com maior marmoreio e teor de lipídios apresentam carnes mais palatáveis, o que indica a presença substâncias flavorizantes agradáveis ao paladar. No entanto, os lipídios são facilmente oxidáveis, o que leva à formação de produtos tóxicos e indesejáveis. Ainda, as quantidades de lipídios depositadas na carne estão relacionadas com o balanço energético da dieta fornecida e das exigências metabólicas do animal.

Lopes et al. (2012a), não encontraram diferença ( $P > 0,05$ ) na composição química do músculo *longissimus thoracis* de animais Red Norte ( $\frac{1}{2}$  Senepol x  $\frac{1}{4}$  Angus x  $\frac{1}{4}$  Nelore) e Nelore terminados em confinamento. Os valores encontrados para os animais Red Norte e Nelore foram, respectivamente: 74,6% vs. 74,2% para umidade, 21,1% vs. 21,9% para proteína, 2,1% vs. 2,3% para lipídios totais e 1,0% vs. 1,0% para matéria mineral.

Da mesma forma, Barcellos et al. (2017), avaliaram o músculo *longissimus thoracis* de animais de diferentes grupos genéticos e também não observaram diferenças ( $P > 0,05$ ) nos teores de umidade (72,5% vs. 72,4%), proteína (22,1% vs. 22,6%), lipídios totais (4,3% vs. 4,2%) e matéria mineral (1,2% vs. 1,2%) para Nelore e Nelore x Angus, respectivamente.

Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2021), ao analisarem a composição química do músculo *longissimus thoracis* de animais Nelore e Nelore x Angus. Não foram encontradas diferenças ( $P > 0,05$ ) nos teores de umidade (72,5% vs.

73,5%), proteína (24,6% vs. 24,1%), lipídios totais (1,7% vs. 1,6%) e matéria mineral (1,2% vs. 1,3%) para Nelore e Nelore x Angus, respectivamente.

### **2.3.7 Perfil de ácidos graxos**

A gordura da carne de bovinos é distinta por conter grande variedade de AG, incluindo os AG ômega-3 (n-3) e ômega-6 (n-6), AG intermediários da biohidrogenação ruminal, AG de cadeia ímpar, AG de cadeia ramificada, além de fosfolipídios (Vahmani et al., 2020). Quando comparados à gordura dos animais não ruminantes, os ruminantes apresentam maiores concentrações de AGS e menores concentrações de ácidos graxos mono-insaturados (AGMI) e PUFA.

Vahmani et al. (2015), descrevem que estudos anteriores relacionados ao consumo de AGS e doenças cardiovasculares negligenciaram outros fatores contribuintes às doenças, como o fato de que os AGS também aumentam o colesterol HDL. Com o avanço nos estudos, foi descoberto que a razão entre colesterol total:HDL é um melhor indicador do risco de doença cardíaca do que apenas o colesterol total ou LDL analisados separadamente.

Dessa forma, pesquisadores começaram a questionar as recomendações dietéticas atuais contra o consumo de AGS e revelaram que a sua ingestão não está associada ao aumento no risco de doenças cardiovasculares (Lawrence, 2013; Ptaschitz et al., 2015). É importante considerar ainda, que os AGS individuais afetam a fisiologia humana e a saúde de formas diferentes, e esses efeitos podem ser influenciados também pelos outros componentes da dieta, como por exemplo, carboidratos e alimentos processados (Astrup et al., 2019).

O perfil de AG da carne de ruminantes é fortemente influenciado pelos microrganismos ruminais e o conteúdo de AG da carne pode ser modificado, principalmente, pelo manejo da dieta (Vahmani et al., 2020). De acordo com Daley et al. (2010), independentemente do grupo genético, sexo ou idade, existem diferenças significativas entre os perfis de AG de animais alimentados com dietas baseadas em grãos ou forrageiras.

No tecido adiposo, o perfil de AG pode ser modificado através da inclusão de fontes lipídicas ricas em AGPI. A principal forma de utilização dos lipídios nas dietas de ruminantes é pelo fornecimento de oleaginosas, como o caroço de algodão, soja integral e linhaça, que são fontes proteicas e energéticas, devido ao elevado teor de lipídio

encontrado nas sementes. O interior dessas sementes é envolto por uma matriz proteica que pode prevenir a rápida liberação de lipídio no ambiente ruminal (Rennó et al., 2015).

Animais alimentados com grãos, especialmente oleaginosas, normalmente apresentam maiores concentrações de AGMI, principalmente o ácido oleico, que é o principal AGMI da carne bovina (Daley et al., 2010). Ainda, o fornecimento de grãos pode diminuir as concentrações dos AGS, especialmente os ácidos láurico, mirístico e palmítico. Contudo, apesar dos lipídios apresentarem efeito no perfil de AG da carne, concentrações muito altas podem afetar negativamente o desempenho animal, pelo menor consumo de matéria seca (MS) em virtude da diminuição da digestão FDN da dieta.

Além da manipulação da dieta dos animais, a realização de cruzamentos entre raças é outra forma de modificar e aprimorar o perfil de ácidos graxos da carne. Animais de diferentes grupos genéticos podem apresentar distintos padrões de deposição de tecido adiposo e perfis de AG tanto na gordura intramuscular, quanto na subcutânea. Segundo Huerta-Leidenz et al. (1993), animais *Bos indicus* apresentam perfil de AG menos saturado em relação aos animais *Bos taurus* e seus cruzamentos, o que pode evidenciar diferenças entre as concentrações de AGS e AGI no tecido adiposo dos animais.

Segundo Palmquist e Mattos (2011), os AGI presentes nos lipídios da dieta são tóxicos para algumas bactérias ruminais, como as bactérias gram positivas e as arqueas metanogênicas, pois alteram a fluidez de sua membrana plasmática podendo causar rompimento celular. Dessa forma, esses microrganismos ruminais desenvolveram durante seu processo evolutivo, um mecanismo de defesa contra essa toxidez, através da conversão de AGI em AGS, pela adição de um íon hidrogênio na dupla ligação. Esse processo é denominado de biohidrogenação ruminal.

Os lipídios que são liberados no ambiente ruminal a partir dos alimentos ingeridos estão na forma esterificada (ligações éster) tais como: triglicerídeos de sementes, fosfolipídios e galactolipídios presentes nas folhas dos vegetais. No rúmen eles são rapidamente hidrolisados através das enzimas lipases bacterianas (lipólise). Segundo Krueger et al. (2010), o processo de biohidrogenação ruminal só ocorre após a lipólise, pois as enzimas responsáveis por este processo atuam somente em AG livres e não esterificados. Dessa forma, a inibição da lipólise também pode ocasionar maior passagem dos AGI pelo rúmen e serem absorvidos no intestino delgado.

Através da biohidrogenação, a maioria dos AGI presentes no alimento que possuem 16 carbonos, como o palmitoleico (C16:1), 18 carbonos, como o oleico (C18:1), ácido linoleico (C18:2) e  $\alpha$ -linoleico (C18:3), são convertidos a ácido palmítico (C16:0) e ácido

esteárico (C18:0). No entanto, como o processo de biohidrogenação não é totalmente completo, alguns AG como os ácidos linoleico e  $\alpha$ -linoleico além de determinados produtos intermediários como ácido vacênico (C18:1 *trans-11*) e o ácido linoleico conjugado (CLA), escapam do rúmen e alcançam o duodeno, onde podem ser absorvidos. Durante esse processo, diversas alterações ruminais podem ocorrer e originar outros AG *trans*, que são isômeros de CLA ou precursores do CLA Palmquist e Mattos (2011).

A redução na rota de biohidrogenação pode ser favorecida através da utilização de grãos de oleaginosas não processados nas dietas de bovinos. Entretanto, embora os AGI contidos no interior das sementes estejam protegidos da degradação e biohidrogenação ruminal, elas podem passar intactas pelo trato digestivo, diminuindo assim a absorção desses AGI no intestino delgado. Sendo assim, a moagem das sementes de oleaginosas pode ser um importante método para aumentar a disponibilidade ruminal dos AGI com consequente absorção e incorporação destes ácidos graxos no tecido adiposo (Machado Neto et al., 2014; Renna et al., 2019).

Ainda, de acordo com Rodrigues (2013), a melhora no perfil de AGPI da carne bovina, pode ser através do aumento na ingestão e deposição dos ácidos linoleico e  $\alpha$ -linoleico, devido à menor capacidade ruminal em realizar biohidrogenação e consequente escape ruminal de AGMI e AGPI que poderão ser depositados nos tecidos adiposos.

Do total de AGS na carne bovina, aproximadamente 20% é ácido esteárico, que não apresentam efeito sobre os níveis de colesterol sanguíneo e são rapidamente convertidos a ácido oleico pela enzima  $\Delta^9$  dessaturase (estearoil-Coa desaturase). De acordo com Bridi (2014), o ácido láurico, mirístico e palmítico são conhecidos por apresentarem efeitos hipercolesterolêmicos. No entanto, a quantidade de ácido láurico e mirístico na carne bovina é muito baixa, sendo geralmente encontrado menos de 1% de ácido láurico e de 2 a 3% de ácido mirístico. Já o ácido palmítico é encontrado em maiores proporções, em torno de 27%, e possui ação sob os níveis de colesterol pois tem capacidade de elevar a LDL. Dessa forma, carnes contendo menores quantidades de ácido palmítico são mais interessantes para o consumo humano.

Do grupo dos AGMI, o ácido oleico é o ácido que apresenta maior concentração na carne bovina, com aproximadamente 40% do total de AG e em torno de 88% dos AGMI. Além disso, o ácido oleico contribui para o aumento da HDL e diminuição das concentrações de LDL e triglicerídeos no plasma sanguíneo, o que possibilita a prevenção de doenças cardiovasculares (Gilmore et al., 2011).

O ácido vacênico também apresenta um papel importante no perfil de AG, pois além de ser um produto da biohidrogenação (intermediário da conversão de ácidos linoleico e  $\alpha$ -linoleico em ácido esteárico), ele é dessaturado nos tecidos adiposos intramuscular e subcutâneo para a síntese de CLA através da ação da enzima  $\Delta 9$  dessaturase. Dessa forma, o consumo de alimentos ricos em ácidos linoleico e  $\alpha$ -linoleico pelos ruminantes pode resultar em maiores deposições de CLA tanto na gordura intramuscular quanto na gordura subcutânea.

O principal isômero do CLA (*cis-9, trans-11*; ácido rumênico) representa 80 a 90% do CLA na carne dos animais. Outro isômero do CLA (*trans-10, cis-12*) que é encontrado em menores concentrações está relacionado ao metabolismo de lipídeos (Lopes et al., 2012b). Esse isômero tem sido o mais efetivo no combate ao câncer de cólon, devido à sua capacidade de inibir a proliferação de células cancerígenas, além de inibir a expressão gênica da enzima acetil-CoA carboxilase (enzima que inicia o processo de síntese de AG) o que pode auxiliar na redução da quantidade de gordura corporal (Pierre et al., 2013).

Nos últimos anos, diversas pesquisas vêm demonstrando os benefícios do CLA na saúde humana pois os isômeros de CLA são potentes agentes anticarcinogênicos, atuam na redução da deposição de gordura corporal e no desenvolvimento de aterosclerose, possuem efeitos antidiabéticos e proporcionam melhoria da mineralização dos ossos e do sistema imunológico. Além disso, o CLA é encontrado apenas em produtos de origem animal e, portanto, a gordura dos ruminantes é a fonte natural mais rica destes AG's (Gebauer et al., 2015; Vahmani et al., 2020).

Os AG's n-3 e n-6 são assim designados devido à posição da primeira dupla ligação na cadeia, a partir carbono terminal do grupo metila (CH<sub>3</sub>). Dentre os AG's n-3 e n-6, os ácidos linoleico e  $\alpha$ -linoleico são considerados essenciais, pois o organismo não consegue sintetizá-los e, por esse motivo, é recomendado que eles sejam incluídos diariamente na dieta. Além disso, existem outros AG's que são metabolicamente essenciais como o ácido araquidônico (C<sub>20:4</sub> n-6), ácido eicosapentaenoico (C<sub>20:5</sub> n-3), ácido docosapentaenoico (C<sub>22:5</sub> n-3), e ácido docosahexaenoico (C<sub>22:6</sub> n-3), que são ácidos graxos sintetizados a partir da dessaturação e alongação dos ácidos linoleico e  $\alpha$ -linoleico. Esses AG's de cadeia muito longa desempenham importantes funções no organismo tais como o desenvolvimento e funcionamento do cérebro e da retina (Martin et al., 2008).

Os AG's n-3 ajudam a prevenir doenças como artrite, depressão, câncer, e são incorporados às células de todos os tecidos no corpo humano. Dessa forma, eles participam de processos como a sinalização celular e expressão gênica (Surette, 2008). Já

os AG's n-6 tem funções essenciais na regulação da pressão arterial e circulação sanguínea, para prevenir diversos tipos de inflamações (Kim et al., 2016). De forma geral, os AG's n-3 e n-6 são necessários para manter o funcionamento das membranas celulares, das funções cerebrais e transmissão de impulsos nervosos, além de participarem da síntese da hemoglobina e da divisão celular (Martin et al., 2008).

Portanto, a carne é fonte de AG importantes para a saúde humana, e é interessante se analisar os efeitos desses ácidos tanto individualmente quanto combinados. Dessa forma, a busca pela melhora do perfil de AG da carne deve considerar quais são os principais ácidos de interesse, e como estes podem ser manipulados de forma prática e estratégica para que se obtenha um alimento que atenda ao mercado consumidor.

### 3 Referências Bibliográficas

- ABIEC (2022). Beef Report. **O perfil da Pecuária no Brasil 2022**. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2022/>. Acesso em: 05 julho 2022.
- ABRIL, M. et al. Beef colour evolution as a function of ultimate pH. **Meat Science**, v. 58, n. 1, p. 69–78, 2001.
- ACNB (2021). **Histórico da Raça Nelore**. Disponível em: <http://www.nelore.org.br/Raca/Historico>. Acesso em: 05 julho 2022.
- ALVES, D. D. et al. Maciez da Carne Bovina. **Ciência Animal Brasileira**, v. 6, n. 3, p. 135–149, 2005.
- AMARAL, A. B.; SOLVA, M. V. DA; LANNES, S. C. D. S. Lipid oxidation in meat: Mechanisms and protective factors - a review. **Food Science and Technology (Brazil)**, v. 38, p. 1–15, 2018.
- ANDRADE, P. L. et al. Qualidade da carne maturada de bovinos red norte e Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 8, p. 1791–1800, 2010.
- ANTONELO, D. S. et al. Performance, carcass traits, meat quality and composition of non-castrated Nelore and crossbred male cattle fed soybean oil. **Livestock Science**, v. 236, n. March, p. 104059, 2020.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2004.
- ARBOITTE, M. Z. et al. Composição física da carcaça, qualidade da carne e conteúdo de colesterol no músculo Longissimus dorsi de novilhos 5/8 Nelore - 3/8 Charolês terminados em confinamento e abatidos em diferentes estádios de maturidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 4, p. 959–968, 2004.
- ARCHIMÈDE, H. et al. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166–167, p. 59–64, 2011.
- ASTRUP, A. et al. WHO draft guidelines on dietary saturated and trans fatty acids: Time for a new approach? **The BMJ**, v. 366, n. July, p. 1–6, 2019.
- AUGUSTO, W. F. et al. Animal performance, carcass traits and meat quality of F1 Angus-Nelore steers and heifers slaughtered in feedlot with a similar carcass finishing. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 1681–1694, 2019.
- BARCELLOS, V. C. et al. Carcass characteristics and sensorial evaluation of meat from Nelore steers and crossbred Angus vs. Nelore bulls. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 39, n. 4, p. 437, 2017.
- BERNDT, A.; TOMKINS, N. W. Measurement and mitigation of methane emissions from beef cattle in tropical grazing systems: a perspective from Australia and Brazil. **Animal: an international journal of animal bioscience**, v. 7 Suppl 2, n. 2013, p. 363–372, 2013.
- BRIDI, A. M. Consumo de carne bovina e saúde humana: convergências e divergências. **Bovinocultura de corte**, p. 1–15, 2014.
- CAFE, L. M. et al. Cattle temperament: Persistence of assessments and associations with

productivity, efficiency, carcass and meat quality traits. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 5, p. 1452–1465, 2011.

CALLEJAS-CÁRDENAS, A. R. et al. Effect of vacuum ageing on quality changes of lamb steaks from early fattening lambs during aerobic display. **Meat Science**, v. 98, n. 4, p. 646–651, 2014.

CAMERRO, L. Z. et al. Thermal equilibrium responses in Guzerat cattle raised under tropical conditions. **Journal of Thermal Biology**, v. 60, p. 213–221, 2016.

CENCI-GOGA, B. et al. New Trends in Meat Packaging. **Microbiology Research**, v. 11, n. 2, p. 56–67, 2020.

CORNFORTH, D. **Colour meat – its basis and importance**. In Pearson, A.M. & DUTSON, T.R. (ed) – Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish product – Advances in meat research series, vol. 9, Black Academic & Professional, cap.2, p. 34 –78, 1994.

CROUSE, J. D.; CALKINS, C. R.; SEIDEMAN, S. C. The effects of rate change in body weight on tissue development and meat quality of youthful bulls. **Journal of animal science**, v. 63, n. 6, p. 1824–1829, 1986.

DALEY, C. A. et al. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. **Nutrition Journal**, v. 9, n. 1, p. 1–12, 2010.

DE LIMA, D. M. et al. Alguns aspectos qualitativos da carne bovina: uma revisão. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 5, n. 4, p. 351–358, 2011.

DIAS, L. L. R. et al. Ganho De Peso E Características De Carcaça De Bovinos Nelore E Meio Sangue Angus-Nelore Em Regime De Suplementação a Pasto. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 18, n. 3, 2016.

DUTHIE, C. A. et al. The impact of divergent breed types and diets on methane emissions, rumen characteristics and performance of finishing beef cattle. **Animal**, v. 11, n. 10, p. 1762–1771, 2017.

FAÇANHA, D. A. E. et al. Carcass and meet characteristics of very young Angus x Nelore steers in the Agreste Potiguar region. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 45, n. 3, p. 612–619, 2014.

FAUSTMAN, C. et al. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 86–94, 2010.

FERREIRA, J. J. et al. Características da carcaça de tourinhos charolês e mestiços charolês x nelore terminados em confinamento. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 191–196, 2006.

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

GAGAOUA, M. et al. Understanding early post-mortem biochemical processes underlying meat color and pH decline in the Longissimus thoracis muscle of young Blond d'Aquitaine bulls using protein biomarkers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 30, p. 6799–6809, 2015.



- GEBAUER, S. K. et al. Vaccenic acid and trans fatty acid isomers from partially hydrogenated oil both adversely affect LDL cholesterol: A double-blind, randomized controlled trial. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 102, n. 6, p. 1339–1346, 2015.
- GILMORE, L. A. et al. Consumption of high-oleic acid ground beef increases HDL-cholesterol concentration but both high- and low-oleic acid ground beef decrease HDL particle diameter in normocholesterolemic men. **Journal of Nutrition**, v. 141, n. 6, p. 1188–1194, 2011.
- GOMES, M. DE NADAI. B. **Manual de avaliação de carcaças bovinas**. Campo Grande, MS: 1 ed. UFMS, 2021.
- HANSEN, P. J. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. **Animal Reproduction Science**, v. 82–83, p. 349–360, 2004.
- HEGARTY, R. S. Mechanisms for competitively reducing ruminal methanogenesis. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, p. 629–50, 1999.
- HRISTOV, A. N. et al. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 34, p. 10663–10668, 2015.
- HUERTA-LEIDENZ, N. O. et al. Comparison of the fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue from mature Brahman and Hereford cows. **Journal of animal science**, v. 71, n. 3, p. 625–630, 1993.
- JANSSEN, P. H. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. **Animal Feed Science and Technology**, v. 160, n. 1–2, p. 1–22, 2010.
- JAY, J. M. et al. **Modern food microbiology**. 7 ed. Springer Science & Business Media, 2005.
- JOSE NETO, A. et al. Methane emissions from Nellore bulls on pasture fed two levels of starch-based supplement with or without a source of oil. **Animal Production Science**, v. 59, n. 4, p. 654–663, 2019.
- KAHRAMAN, H. A.; GURBUZ, U. Aging Applications On Beef Meat. **Journal of Engineering**, v. 6, n. 1, p. 7–13, 2018.
- KARKI, R. et al. Effect of Sous vide Processing on Quality Parameters of Beef Short Ribs and Optimisation of Sous vide Time and Temperature Using Third-Order Multiple Regression. **Food and Bioprocess Technology**, v. 15, n. 7, p. 1629–1646, 2022.
- KIM, J. H. et al. Conjugated Linoleic Acid: Potential Health Benefits as a Functional Food Ingredient. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 7, n. December 2015, p. 221–244, 2016.
- KRUEGER, N. A. et al. Evaluation of feeding glycerol on free-fatty acid production and fermentation kinetics of mixed ruminal microbes in vitro. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 21, p. 8469–8472, 2010.
- LADEIRA, M. M. et al. Fatty acid profile, color and lipid oxidation of meat from young bulls fed ground soybean or rumen protected fat with or without monensin. **Meat Science**,

v. 96, n. 1, p. 597–605, 2014.

LADEIRA, A. C. R.; P. V. R. PAULINO, S. A. FERREIRA, L. R. S. AND T. C. C. Performance and carcass traits of Nellore and Nellore × Angus steers fed whole shelled corn diets. **Journal of Animal Science**, v. 95, n. suppl\_4, p. 64–65, 2017.

LAGE, J. F. et al. Papel do sistema calpaína-calpastatina sobre a proteólise muscular e sua relação com a maciez da carne em bovinos de corte. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 10, n. 12, p. 1–19, 2009.

LAGE, J. F. et al. Influence of genetic type and level of concentrate in the finishing diet on carcass and meat quality traits in beef heifers. **Meat Science**, v. 90, n. 3, p. 770–774, 2012.

LASCANO, C. E.; CÁRDENAS, E. Alternativas para mitigação de emissão de metano em sistemas de criação de animais domésticos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. SUPPL. 1, p. 175–182, 2010.

LAWRENCE, G. D. Dietary fats and health: Dietary recommendations in the context of scientific evidence. **Advances in Nutrition**, v. 4, n. 3, p. 294–302, 2013.

LAWRIE, R. A. **Ciência da carne**. 3 ed. Oxford: Pergamon Press, 2005. 451p

LEE, S. et al. The effects of antioxidant combinations on color and lipid oxidation in n–3 oil fortified ground beef patties. **Meat Science**, v. 70, n. 4, p. 683–689, 2005.

LEITE, C. et al. Influência do manejo pré-abate de bovinos na indústria sobre os parâmetros de bem-estar animal e impactos no pH 24 horas post mortem. **Bioscience Journal**, p. 194–203, 2015.

LIMA, E. D. S. et al. Performance and carcass characteristics of cattle fed lipid sources in the diet. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 96, n. 4, p. 581–588, 2016.

LIMA, E. D. S. et al. Effect of Whole Cottonseed or Protected Fat Dietary Additives on Carcass Characteristics and Meat Quality of Beef Cattle: A review. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 5, p. 175, 2017.

LONERGAN, E.; ZHANG, W.; LONERGAN, S. M. Biochemistry of postmortem muscle - Lessons on mechanisms of meat tenderization. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 184–195, 2010.

LOPES, L. S. Características de carcaça e perfil de ácidos graxos da carne de tourinhos Red Norte e Nelore terminados em confinamento. 2010. 126 p. **Tese (Produção e Nutrição de Ruminantes)** - Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG.

LOPES, L. S. et al. Características de carcaça e cortes comerciais de tourinhos Red Norte e Nelore terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 4, p. 970–977, 2012a.

LOPES, L. S. et al. Composição química e de ácidos graxos do músculo longissimus dorsi e da gordura subcutânea de tourinhos Red Norte e Nelore Chemical composition and of fatty acids of the muscle longissimus dorsi and backfat of Red Norte and young Nellore bulls. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 4, p. 978–985, 2012b.

MACEDO, L. O. B. The role of social capital for the governance of hybrid forms in agribusiness: an analysis of Brazilian beef alliances. **Evolutionary and Institutional**

**Economics Review**, v. 12, n. 2, p. 307–327, 2015.

MACHADO, L. A. Z. et al. Escolha de animais e formação de lotes de bovinos para sistemas de integração. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**, v. Capítulo 3, p. 544–566, 2019.

MACHADO NETO, O. R. et al. Fatty acid profile and meat quality of young bulls fed ground soybean or ground cottonseed and vitamin e. **Animal**, v. 9, n. 2, p. 362–372, 2014.

MACIEL, I. C. et al. Could the breed composition improve performance and change the enteric methane emissions from beef cattle in a tropical intensive production system? **PLoS ONE**, v. 14, n. 7, p. 1–15, 2019.

MARCONDES, M. I. et al. Eficiência alimentar de bovinos puros e mestiços recebendo alto ou baixo nível de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 6, p. 1313–1324, 2011.

MARTIN, C. A. et al. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: Importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutricao**, v. 19, n. 6, p. 761–770, 2008.

MARTIN, C.; MORGAVI, D. P.; DOREAU, M. Methane mitigation in ruminants: From microbe to the farm scale. **Animal**, v. 4, n. 3, p. 351–365, 2010.

MARTINS, T. S. et al. Molecular factors underlying the deposition of intramuscular fat and collagen in skeletal muscle of Nellore and angus cattle. **PLoS ONE**, v. 10, n. 10, p. 1–13, 2015.

MATARNEH, S. K. et al. The Conversion of Muscle to Meat. **Lawrie's Meat Science**. 8 ed. p. 159–185, 2017.

MATEUS, K. A. et al. Maturation period of bovine meat subjected to vacuum modifies physical-chemical and microbiological parameters. **Revista de Ciências Agroveterinarias**, v. 17, n. 4, p. 599–602, 2018.

MCKENNA, D. R. et al. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. **Meat Science**, v. 70, n. 4, p. 665–682, 2005.

MESQUITA, E. E. et al. Growth performance and carcass characteristics of Nelore Angus and Nelore Angus Guzera crossbred cows fed with supplemented pasture during the yearling and feedlot stages. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 2701–2710, 2016.

MIGUEL, G. Z. et al. Immunocastration improves carcass traits and beef color attributes in Nellore and Nellore×Aberdeen Angus crossbred animals finished in feedlot. **Meat Science**, v. 96, n. 2, p. 884–891, 2014.

MONTEIRO, P. A. M. et al. Carcass traits, fatty acid profile of beef, and beef quality of Nellore and Angus x Nellore crossbred young bulls finished in a feedlot. **Livestock Science**, v. 256, n. January, 2022.

MOUSQUER, C. J. et al. Metabolismo visceral e eficiência do uso da energia por animais taurinos e zebuínos. **Pubvet**, v. 8, n. 5, 2014.

NISHIMURA, T. The role of intramuscular connective tissue in meat texture. **Animal Science Journal**, v. 81, n. 1, p. 21–27, 2010.

NISHIMURA, T. Role of extracellular matrix in development of skeletal muscle and postmortem aging of meat. **Meat Science**, v. 109, p. 48–55, 2015.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, Engineering, and Medicine. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**: Eighth Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press, 2016.

OLIVEIRA, E.; PITCHEL, F. Perfil Lipídico da Carne Vermelha e Doença Cardiovascular. **Revista Nutricias**, v. 16, n. 1, p. 20–23, 2013.

OLIVEIRA, P. R. O. et al. Carcass and meat characteristics of feedlot finished nelore cattle and their crossbreeds in the Brazilian Pantanal. **Livestock Science**, v. 244, n. July 2020, 2021.

OLIVEIRA, V. et al. Estratégias Para Mitigar a Produção De Metano Entérico. **Veterinária Notícias**, v. 23, n. 1, p. 39–70, 2017.

OSAWA, C. C.; FELÍCIO, P. E.; GONÇALVES, L. A. G. Teste de TBA aplicado a carnes e derivados: métodos tradicionais, modificados e alternativos. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 655–663, 2005.

PACHECO, R. F. et al. Likelihood of obtaining tender meat from confined calf. **Ciencia Animal Brasileira**, v. 21, n. April 2019, 2020.

PALMQUIST, D.L.; MATTOS, W.R.S. Metabolismo de lipídeos. In: Berchieli, T.T.; Pires, A.V.; Oliveira, S.G. (Ed.). **Nutrição de ruminantes**. 2. ed. p.299-322. Jaboticabal: Funep, 2011.

PASSETT, R. et al. Determinação da coloração e a disposição de compra pelos consumidores da carne bovina. **PubVet**, v. 10, n. 2, p. 179–189, 2016.

PATRA, A. K. The effect of dietary fats on methane emissions, and its other effects on digestibility, rumen fermentation and lactation performance in cattle: A meta-analysis. **Livestock Science**, v. 155, n. 2–3, p. 244–254, 2013.

PEARSON, A. M. **Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products**. Springer, 2013.

PEREIRA, A. S. C. et al. Growth performance, and carcass and meat quality traits in progeny of Poll Nellore, Angus and Brahman sires under tropical conditions. **Animal Production Science**, v. 55, n. 10, p. 1295–1302, 2015.

PIERRE, A. S. et al. Trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid induced cell death in human colon cancer cells through reactive oxygen species-mediated ER stress. **Biochimica et Biophysica Acta - Molecular and Cell Biology of Lipids**, v. 1831, n. 4, p. 759–768, 2013.

PRADO, I. N. et al. Carcass characteristics and chemical composition of the Longissimus muscle of crossbred bulls (*Bos taurus indicus* vs *Bos taurus taurus*) finished in feedlot. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 17, n. 3, p. 295–306, 2008.

PRANDL, O. et al. **Tecnologia e higiene de la carne**. Zaragoza: Editorial Acribia, 1994.

PUASCHITZ, N. G. et al. Dietary intake of saturated fat is not associated with risk of coronary events or mortality in patients with established coronary artery disease. **Journal of Nutrition**, v. 145, n. 2, p. 299–305, 2015.

PITOMBO, D.D.N. et al. Qualidade da carne de bovinos superprecoce terminados em

- confinamento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 4, p. 1203–1207, 2013.
- RENNA, M. et al. Fatty acid profile, meat quality and flavour acceptability of beef from double-muscle Piemontese young bulls fed ground flaxseed. **Italian Journal of Animal Science**, v. 18, n. 1, p. 355–365, 2019.
- RENNÓ, F. P. et al. Grão de soja cru e inteiro na alimentação de bovinos: excreção de grão de soja nas fezes. **Archivos de Zootecnia**, v. 64, n. 248, p. 331–338, 2015.
- ROÇA, R. O. **Tecnologia da carne e produtos derivados**. UNESP Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1997. p. 10-20.
- ROÇA, R. O. **Composição química da carne**. UNESP Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2008. p. 1–12
- RODRIGUES, E. C. Perfil de ácidos graxos da gordura intramuscular e subcutânea de bovinos nelore e F1 (Nelore x Simental) em diferentes sistemas de terminação. 2013. 152 p. **Tese (Ciência dos Alimentos)** - Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG.
- RODRIGUES, L. et al. Performance, carcass characteristics and meat of heifers the sixth generation of the Charolais X Nelore slaughtered at 18 months of age. **Ciencia Animal Brasileira**, v. 20, p. 1–10, 2019.
- ROSA, A. N. et al. **Melhoramento genético aplicado em Gado de Corte**. Programa Geneplus Embrapa. Brasília, 2013.
- ROSSI, L. G. et al. Effect of ground soybean and starch on intake, digestibility, performance, and methane production of Nelore bulls. **Animal Feed Science and Technology**, v. 226, p. 39–47, 2017.
- ROY, B. C. et al. Modification of mature non-reducible collagen cross-link concentrations in bovine m. gluteus medius and semitendinosus with steer age at slaughter, breed cross and growth promotants. **Meat Science**, v. 110, p. 109–117, 2015.
- SHIBATA, M.; TERADA, F. Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. **Animal Science Journal**, v. 81, n. 1, p. 2–10, 2010.
- SOUZA, E. J. D. O. et al. Taxa de deposição de tecidos corporais de novilhas Nelore e suas cruzas com Angus e Simental. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, v. 13, n. 2, p. 344–359, 2012.
- SOUZA, S. C., RIBEIRO L. F. **Aplicação do bem-estar animal e abate humanitário de bovinos para a garantia da qualidade da carne**. v. 10, n. 28, p. 1–24, 2021.
- STOLOWSKI, G. D. et al. Factors influencing the variation in tenderness of seven major beef muscles from three Angus and Brahman breed crosses. **Meat Science**, v. 73, n. 3, p. 475–483, 2006.
- SURETTE, M. E. The science behind dietary omega-3 fatty acids. **Canadian Medical Association or its licensors** 177, v. 178, n. 1, p. 150–157, 2008.
- SWAIN, M. et al. Reducing the environmental impact of global diets. **Science of the Total Environment**, v. 610–611, p. 1207–1209, 2018.
- TEIXEIRA, P. D. et al. Fatty acid profile and beef quality of nelore and angus bulls fed whole shelled corn. **Scientia Agricola**, v. 79, n. 2, p. 1–8, 2022.

VAHMANI, P. et al. The scope for manipulating the polyunsaturated fatty acid content of beef: A review. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 6, n. 1, p. 1–13, 2015.

VAHMANI, P. et al. Bioactivity and health effects of ruminant meat lipids. Invited Review. **Meat Science**, v. 165, n. March, p. 108114, 2020.

VERDUGO, M. P. et al. rapid turnover in the Fertile Crescent. **Science**, v. 365, n. July, p. 173–176, 2019.

WANAPAT, M.; CHANTHAKHOUN, V.; PILAJUN, R. Dietary manipulation to reduce rumen methane production. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**, v. 11, n. 1 SPECIAL ISSUE, p. 483–490, 2012.

WHIPPLE, G. et al. Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. **Journal of animal science**, v. 68, n. 9, p. 2716–2728, 1990.

WÓJCIAK, M. K.; DOLATOWSKI, Z. J. Wó 2012. **Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.**, p. 99–109, 2012.

YOUNG, J. F. et al. Novel aspects of health promoting compounds in meat. **Meat Science**, v. 95, n. 4, p. 904–911, 2013.

## CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1

### **Growth performance, carcass traits, enteric methane production, and fatty acid profile of *longissimus thoracis* muscle of young bulls finished in feedlot with a high-lipid diet**

Barbara Martins Rodrigues<sup>1\*</sup>, Ramon Costa Alvarenga<sup>2</sup>, Dante Pazzanese

Duarte Lanna<sup>3</sup> Alexandre Berndt<sup>4</sup>, Fernando Antônio de Souza<sup>1</sup>, Leandro Sâmia Lopes<sup>1</sup>

1 Federal University of Minas Gerais, Veterinary School, Department of Animal Science, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.;

2 Brazilian Agricultural Research Corporation Maize & Sorghum, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brazil.;

3 University of São Paulo, Department of Animal Science, Piracicaba, São Paulo, Brazil.;

4 Brazilian Agricultural Research Corporation Southeast Livestock, São Carlos, São Paulo, Brazil.;

\* Corresponding author

#### **Corresponding author:**

Barbara Martins Rodrigues,

Federal University of Minas Gerais, Veterinary School, Department of Animal Science, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.

Email: barbararodrigues.zootecnista@gmail.com

## ABSTRACT

This study investigated the growth performance, carcass characteristics, and methane emissions from feedlot beef cattle fed a high-lipid finishing diet (7.3% of ether extract). Fifty long-yearling young bulls were divided into two groups following their breed composition: Nellore (n = 25) and Angus × Nellore crossbred (n = 25), and randomly assigned into four pens (12 or 13 animals/pen) following a completely randomized design. Animals were sourced from the same breeding season and endured a grazing growing phase in *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça pasture, with protein and energy supplement offered at 0.2% of body weight (BW). The feedlot phase comprehended 105 days of feed, and the diet (80% concentrate) was formulated to meet or safely exceed the beef cattle requirements to target an average daily gain (ADG) of 1.6 kg/day. The crossbred animals had higher dry matter intake (DMI), feed efficiency, initial body weight (IBW), final body weight (FBW), average daily gain (ADG), average daily gain of carcass (ADGc), hot carcass weight (HCW), and percentage of rib ( $P < 0.01$ ). The dressing percentage was similar for both groups ( $P > 0.05$ ). Nellore animals produced more enteric methane expressed as g/kg ADG ( $P < 0.01$ ), however, these animals had higher concentrations of polyunsaturated fatty acids (PUFA) and conjugated linoleic acid (CLA). Both genetic groups had satisfactory growth rates, but the crossbred animals had better growth performance and produced less methane per unit of beef produced. Genetic composition modifies the fatty acid profile of beef.

**Keywords:** Beef; Crossbreeding; Methane; Polyunsaturated fatty acids; Soybean.



## 1. Introduction

Brazil stands out on the world stage as one of the most important producers and exporters of beef. Although livestock has recognized importance in food production and income generation, there is great concern regarding the environmental impacts and climate change that this activity provides.

The most significant challenge for livestock production in Brazil is to maintain the balance of the ecosystem through the efficient use of feed resources and animal management, to reduce the impact on the environment and greenhouse gas (GHG) emissions (Cardoso et al., 2016). Among the GHGs emitted by livestock, methane represents between 30 and 50% of the total, and ruminant production systems are considered the most important source of methane production due to enteric fermentation (De Oliveira et al., 2014).

Furthermore, genetic improvement is one of the approaches considered for mitigating methane emissions in ruminants and can permanently produce changes in animal performance (Donoghue et al., 2016). In Brazil, the predominant breed used in beef cattle is Nellore (*Bos indicus*). They are more adapted to climatic conditions, being more resistant to endo and ectoparasites. However, many producers have opted for the crossbreeding of Nellore with Aberdeen Angus animals (*Bos taurus*), which have better performance and whose meat quality is recognized worldwide (Macedo, 2015).

Therefore, in addition to genetic improvement, some nutritional strategies to mitigate the emission of enteric methane, including the use of lipids sources, have been widely studied to improve efficiency and reduce the environmental impacts of the animal production system. Furthermore, these strategies can modify the nutritional profile of the meat produced. According to Oliveira et al. (2011), the inclusion of lipid sources rich in

polyunsaturated fatty acids (PUFA) in cattle diets can improve the fatty acid (FA) profile of the meat.

Ruminant meat has been part of the human diet for thousands of years, and its consumption has contributed significantly to the evolution of species. It provides essential nutrients of high biological value, such as essential amino acids (Bridi, 2014), FA, and minerals such as iron, calcium, zinc, and B vitamins (Vahmani et al., 2020).

Nonetheless, the consumption of beef is associated with an increase in blood cholesterol and cardiovascular diseases. Compared to meat from non-ruminant animals, beef has a higher saturated fatty acid (SFA) level, mainly due to the biohydrogenation process of unsaturated fatty acids (UFA), carried out by ruminal microorganisms (Palmquist and Mattos, 2011). However, not all SFA are hypercholesterolemic. Stearic acid, for example, cannot alter serum cholesterol levels in humans and is quickly converted to oleic acid in body tissues (Bridi, 2014).

Thus, the quantity and quality of FA in beef can vary depending on several factors such as type of diet, age, sex class, genetic group, and finishing system (Kouba and Mourot, 2011; Oliveira et al., 2012; Bressan et al., 2016; Ladeira et al., 2018). Therefore, distinct genetic groups may present different fat deposition patterns and FA profiles in meat, as some of these groups start fat deposition earlier than others.

Therefore, the objective of this study was to evaluate growth performance, enteric methane production, carcass traits, and FA profile of the *longissimus thoracis* muscle of Nellore and Angus x Nellore bulls finished in the feedlot with a high-lipid diet.

## **2. Materials and Methods**

### 2.1 Treatment, experimental design, and feedlot management

The Ethics Committee approved all experimental procedures for Animal Use at the Federal University of Minas Gerais (UFMG, protocol number 71/2019).

At the beginning of the project, 20-month-old young bulls were divided into two groups according to their breed composition as follows: Nellore ((initial body weight (IBW) =  $450 \pm 47$  kg,  $n = 25$ )) and Angus x Nellore crossbred (IBW =  $501.5 \pm 45.5$  kg,  $n = 25$ ). The crossbred animals were obtained through Angus sires mated with Nellore dams, and the animals belonged to different herds. The animals were weighed after 16-hour of water and feed fasting to obtain the IBW. Animals were sourced from the same breeding season and endured a grazing growing phase in *Megathyrus maximus* cv. Mombaça pasture, with protein and energy supplement offered at 0.2% of body weight (BW).

In the feedlot, the animals were divided into groups following their breed composition. They were allocated into two collective pens measuring 20 x 24 m, equipped with feed lanes and drinkers. All animals were drenched with an anthelmintic agent prior to the start of the feedlot.

The feedlot period was 126 days, and the animals were adapted to the experimental diets for the first 21 days. The diet was formulated using the Maximum Profit Ration® software for an average daily gain (ADG) of 1.6 kg/day. Initially, 50% of sorghum silage and 50% of concentrate diet were supplied, and the amount of concentrate was increased until the ratio of roughage: concentrate was 20:80 (DM basis) (Table 1). The soybean used in the concentrate was grounded and passed through a 5 mm mesh to increase the lipid ruminal availability. The animals were fed three times per day – at 07:00, 11:00, and 16:00 h. The diet was adjusted daily to maintain 5 to 10% refusals.

Animal growth performance was determined monthly by recording body weight (BW) following a fast of feed and water for 16 hours. The ADG was calculated as the difference between the final body weight (FBW) and the IBW, divided by the total number of days on the feedlot.

**Table 1.** Ingredients and chemical composition and fatty acid profile of the experimental feed.

Ingredients	Composition (% D.M.)
Sorghum silage	20.0
Ground corn grain	57.6
Ground soybean grain	20.4
Mineral mix	2.0
Nutrients	
Dry matter	66.7
Organic matter	94.7
Crude protein	15.6
Ether extract	7.3
Neutral detergent fiber	23.1
Ash	5.2
Non-fibrous carbohydrates	51.5
Total digestible nutrients (TDN)*	82.8
Fatty acid profile (g/ 100 g of FA)	
Myristic (C14:0)	0.4
Palmitic (C16:0)	13.7
Stearic (C18:0)	4.5
Oleic (C18:1 c-9)	19.9
Linoleic (C18:2 n-6)	49.1
$\alpha$ -linolenic (C18:3 n-3)	8.3

\* Calculated according to the NRC 2001.

## 2.2 Dry matter intake measurement

Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) was used as an intake marker, and 10 g was administered to 12 animals of each group once daily for ten days. TiO<sub>2</sub> was stored in paper cartridges and introduced directly into the esophagus of the animals at 08 am with the aid of a PVC applicator. Fecal samples were collected once daily during the last three days of the dosage period. Samples of feces corresponding to the different collection times composed a sample for each animal. Feces were dried at 65°C until constant weight. Dried feces were ground through a 1mm screen with a Wiley mill and analyzed by atomic absorption spectrophotometry. The TiO<sub>2</sub> content was determined according to Myers et al. (2004), at the Animal Nutrition Laboratory of the Federal University of Minas Gerais, Brazil. The standard curve was prepared using 2, 4, 6, 8, and 10 mg TiO<sub>2</sub>, and the spectrophotometer readings were recorded at a wavelength of 410 nm. For the calculation of fecal production (FP) estimated by TiO<sub>2</sub>, the following formula was used:

$$FP = \frac{\text{TiO}_2 \text{ supplied}}{\text{TiO}_2 \text{ in feces} / \text{DM } 105^\circ \text{C}}$$

where FP = fecal production obtained by TiO<sub>2</sub>, g DM/day; TiO<sub>2</sub> supplied = amount of TiO<sub>2</sub> supplied to the animals per day (10 g); TiO<sub>2</sub> in feces = percentage of titanium in feces, %; DM 105°C = the dry matter of feces at 105°C.

Fecal Production and indigestible NDF (iNDF) were used to estimate dry matter intake (DMI, kg/day) for each animal. Indigestible NDF was used as the internal marker and obtained after *in situ* incubation of a diet (iNDF diet) and feces (iNDF feces) samples for 288 hours in the rumen of a cannulated bovine (Valadares-Filho et al., 2010). Follow equation (Eq 4) was used for DMI:  $DMI = FP \times (iNDF_{\text{feces}} / iNDF_{\text{diet}})$ .

### 2.3 Slaughter and carcass traits

A day before slaughter, animals were weighed after a 16-hour fasting period to obtain the FBW and sent to the commercial slaughterhouse, where they were kept fasting for 24 hours with only *ad libitum* water access. According to humanitarian procedures required by Brazilian legislation, the slaughter was conducted following the official rules of RIISPOA (Brasil, 1997).

The hot carcass weight (HCW) was recorded immediately after the carcass was cleaned. The dressing percentage (DP) was calculated by dividing HCW by FBW x 100. The average daily gain of the carcass (ADG<sub>c</sub>) was calculated using the formula:  $ADG_c = [HCW - (IBW \times 50\%)/\text{days in feedlot}]$  (Gomide, Ramos & Fontes, 2006).

After cooling and weighing, the carcass was divided into hindquarter, forequarter, and ribs. The weights of these cuts were used to calculate the percentage of each one in relation to the cold carcass.

The carcass pH was measured between the 12<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> rib of the cold carcass (24 h cooling), using a digital potentiometer equipped with a thermometer. Prior to pH measurement, the pH meter and electrode were standardized using commercial pH buffers of 4.0 and 7.0 at room temperature (23 °C).

### 2.4 Methane production measurement

Emissions of enteric methane were measured using the sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) tracer gas technique (Johnson et al., 1994; Primavesi et al., 2014; Berndt et al., 2014). The same animals used for intake measurements were assessed daily for five consecutive days. The animals were fitted with halters and sampling canisters for gas collection seven days before sampling to allow the animals to adapt to the devices, and thereby facilitate handling during the sampling period. Permeation tubes filled with known quantities of

SF<sub>6</sub> and release rates ( $1431 \pm 59$  ng/min) were administered orally to each of the 24 animals ten days prior to sampling to allow tracer gas flow to stabilize in the rumen.

The animals were equipped with gas collection halters attached to pre-evacuated polyvinyl chloride (PVC) sampling canisters with a capillary tube (0.127 mm diameter), made to permit 50% filling in 24 h. The collections started at 7:00 a.m., with the animals brought in from their pens to the handling center to facilitate the exchange of equipment. The capillary was calibrated to allow the vacuum inside the canister to remain at 40–60% of the initial vacuum after 24 h of measurement. Gas samples were not collected if the pressure inside the canisters was below or above the 40–60% range. To collect enteric CH<sub>4</sub> and SF<sub>6</sub> samples, the canisters were vacuumed to approximately –12 PSI with a vacuum pump.

The halters were replaced by new ones after completing the 24-h collection period. After exchanging the collection containers, the animals were returned to their original pen. The halters were stored for chromatography analysis. Daily samples were also collected to determine the concentration of CH<sub>4</sub> and SF<sub>6</sub> in the environment. The pressures, dates, and times of removal of the containers in both cases were noted for control.

The collected respired air was analyzed immediately after the end of the experimental period. Analysis of CH<sub>4</sub> and SF<sub>6</sub> concentrations were determined by gas chromatography at Embrapa Southeast Livestock in São Carlos, São Paulo, Brazil. For chromatography analysis, the sampling canisters were pressurized with nitrogen (N<sub>2</sub>) to approximately 10% above atmospheric pressure, with the analysis conducted using a Shimadzu model GC-2014 chromatograph (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) following the method described by Johnson and Johnson (1995). Calibration curves were established using standard gas certified by the company “White Martins” (São Carlos,

São Paulo, Brazil) with CH<sub>4</sub> concentrations in ppm (4.85% ± 5%, 9.96% ± 1.65%, and 19.1% ± 3.44%), and SF<sub>6</sub> concentrations in ppt (34 ± 9.0, 91.0 ± 9.0 and 978.0 ± 98.0), according to Johnson et al. (2007).

The CH<sub>4</sub> emissions were calculated using the CH<sub>4</sub>: SF<sub>6</sub> ratio in the sampling canister, with each of the gases corrected for background concentrations and the predetermined permeation rate of the SF<sub>6</sub> capsules. In the following equation, M indicates the sample measured from the animal, and BG indicates the background concentration:

$$RCH_4 = R_{SF_6} \times \frac{(CH_4)_M - (CH_4)_{BG}}{(SF_6)_M - (SF_6)_{BG}} \times \frac{(MW_{CH_4})}{(MW_{SF_6})} \times 1000$$

Furthermore, RCH<sub>4</sub> (g/d) is the ruminal CH<sub>4</sub> emission rate calculated in g/d; R<sub>SF<sub>6</sub></sub> depicts the release rate measured from the SF<sub>6</sub> capsule (mg/d); MW<sub>CH<sub>4</sub></sub> is the molecular weight of CH<sub>4</sub> (16) and M<sub>SF<sub>6</sub></sub> is the molecular weight of SF<sub>6</sub> (146). The CH<sub>4</sub> concentrations are expressed in ppm and SF<sub>6</sub> concentrations in ppt. The factor 1000 converts the units so that RCH<sub>4</sub> is expressed in g/d.

## 2.5 Fatty acid profiles analysis

Samples of the *longissimus thoracis* (LT) muscle (between the 12th and 13th ribs) were taken from the same animals used for intake and methane measurements to analyze the FA profile of intramuscular fat. To analyse ether extract (EE) the meat samples were lyophilized to obtain homogeneous samples. The analysis was performed according to method 920.85 of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990). The samples were identified and stored at -18 °C in individual packages. Then, they were thawed at a refrigerated temperature (5 °C) for 12 hours and subjected to cleaning to perform lipid extraction. The FA extraction was performed according to the methodology described by Folch et al. (1957).



The FA profile determination followed the procedures established by Hartman and Lago (1973). A 5 ml sample of the lipid extract was concentrated in a water bath at 45 °C, with gaseous nitrogen, proceeding to saponification with a sodium hydroxide solution in 0.5 M methanol, followed by methylation with ammonium chloride, methanol, and sulfuric acid.

After methylation, 5 ml of hexane was added and stirred for 10 seconds to separate the esterified FA. Then, 3 ml of the supernatant (hexane and methylated fatty acids) were removed and concentrated again in a water bath at 45°C, with gaseous nitrogen. At the time of injection, this extract was diluted with 1 ml of hexane, and 1 µl of this solution was injected in a gas chromatograph with a flame ionization detector (GC 2010, Shimadzu, Kyoto, Japan), equipped with a capillary column SP 2560 (100 m x 0.25 mm x 0.20 µm) (Supelco, Bellefonte, PA).

The chromatographic conditions were as follows: the oven was maintained at 70 °C for 4 min, and the temperature was increased from 13 °C/min to 175 °C, which was held for 27 min; increased at 4 °C/min to 215 °C, and maintenance for 9 min; increased at 7 °C/min to 230 °C, and maintenance for 5 min. The injector temperature was 250 °C, and the detector temperature was 300 °C.

Several FA were identified by comparison with retention times shown by the C4:0 to C24:0 chromatographic standard 0 (Supelco – TM37 Component FAME Mix, 100 mg Neat). FA concentrations were determined by the peak areas shown in the chromatogram for each acid concerning FA total area, and a FA percentage was obtained through Chromquest 4.1 software (Thermo Electron, Italy).

The activities of the enzymes  $\Delta^9$  desaturase 16,  $\Delta^9$  desaturase 18, and elongase were determined, according to Malau-Aduli et al. (1997), Kazala et al. (1999), and Pitchford et al. (2002), through mathematical indexes, where:

$$\Delta^9 \text{ desaturase } 16 = 100 [(C16:1 \text{ cis-9}) / (C16:1 \text{ cis-9} + C16:0)]$$

$$\Delta^9 \text{ desaturase } 18 = 100 [(C18:1 \text{ cis-9}) / (C18:1 \text{ cis-9} + C18:0)]$$

$$\text{Elongase} = 100 [(C18:0 + C18:1 \text{ cis-9}) / (C16:0 + C16:1 \text{ cis-9} + C18:0 + C18:1 \text{ cis-9})]$$

The atherogenicity index (AI) was calculated using the equation proposed by Ulbricht and Southgate (1991) as an indicator of the risk of cardiovascular disease:

$$AI = [(C12:0) + (4 \times C14:0) + (C16:0)] / (\sum n-6 + \sum n-3 + MUFA).$$

The thrombogenicity index (TI) was calculated using the equation proposed by Ulbricht and Southgate (1991) as an indicator for the onset of coronary thrombosis:

$$TI = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / [(0.5 \times \sum MUFA) + (0.5 \times \sum n-6) + (3 \times \sum n-3) + (\sum n-3 / \sum n-6)].$$

## 2.6 Statistical analyses

All analyses were performed using the statistical software R (R CORE TEAM, 2021). The effect of breed on carcass traits, enteric methane emissions, and fatty acid profile was evaluated using the completely randomized design one-way. The treatment means were compared by the F test ( $P < 0.05$ ).

## 3. Results and Discussion

### 3.1 Growth performance and carcass traits

Most of the variables evaluated were different between genetic groups ( $P < 0.01$ ), as presented in Table 2. The crossbred animals had a higher DMI, feed efficiency, IBW, FBW, ADG, ADGc, HCW, and percentage of rib. However, Nellore animals had higher percentages of forequarter and hindquarter. No differences were observed regarding DP, and pH 0 and 24h ( $P > 0.05$ ).

**Table 2.** Means and standard errors of the mean (SEM) of growth performance and carcass traits of Nellore and Angus x Nellore crossbred young bulls finished in feedlot

Item	Nellore	Nellore x Angus	SEM	P-value
DMI, kg/d	10.6	12.6	0.16	< 0.01
Feed efficiency	0.136	0.156	0.003	< 0.01
IBW (kg)	444.7	509.8	5.75	< 0.01
FBW (kg)	595.6	720.8	10.65	< 0.01
ADG (kg)	1.44	2.01	0.07	< 0.01
ADGc (kg)	1.17	1.46	0.06	< 0.01
HCW (kg)	345.0	404.7	7.63	< 0.01
DP (%)	57.9	56.7	1.05	0.28
Forequarter (%)	41.3	40.0	0.29	< 0.01
Hindquarter (%)	44.7	43.5	0.22	< 0.01
Rib (%)	14.0	16.4	0.27	< 0.01
Carcass pH 0h	6.9	6.9	0.02	0.45
Carcass pH 24h	5.5	5.4	0.04	0.38

DMI, dry matter intake; Feed efficiency: ADG/DMI; IBW, initial body weight; FBW, final body weight; ADG, average daily gain; ADGc, ADG of carcass; HCW, hot carcass weight; DP, dressing percentage; SEM, standard error of the mean.

Azevêdo et al. (2016) developed equations to estimate the DMI of zebu and crossbred animals according to the only system created under Brazilian conditions for beef cattle production (BR-CORTE). These equations are based on metabolic body weight, ADG, and concentrate content in the diet (% of total DM in the diet). According to these equations, as we know the concentrated content used in the diet (80%), the expected DMI of Nellore would be 10.5 kg, and the DMI of Nellore x Angus animals would be 11.1 kg. Thus, the DMI was similar to that predicted by BR-CORTE for Nellore animals, but the crossbred animals consumed 1.5 kg/day more than expected.

Likewise, the feed efficiency of the crossbred animals was higher compared to Nellore. Feed efficiency is the ability of the animal to convert the food ingested into a product of animal origin, either meat or carcass (Gomes et al., 2012). Thus, it can be supported that the crossbred animals were more efficient, as they gained 156 grams of live weight for each kilogram of food (DM basis) ingested, while Nellore animals gained

136 grams. Similar results were obtained by Amaral et al. (2018), Maciel et al. (2019), and Dallantonia et al. (2021), who observed greater feed efficiency in Nellore x Angus animals, compared to Nellore animals.

The crossbred animals demonstrated greater growth performance (total gain of 211.0 kg vs. 150.9 kg for Nellore animals), but the growth rates reached by both breeds were satisfactory. This result is related to the higher growth rate of crossbred animals (2.01 vs 1.44 kg/day). It is important to report that the animals from both genetic groups were slaughtered after they reached the maturity weight, which is 517 kg for Nellore animals and 560 kg for crossbred animals (Marcondes et al., 2016). Furthermore, all animals were slaughtered with a desired subcutaneous fat thickness (above 12 mm thick, results not shown).

In general, crosses between animals of different breeds European and Zebu breeds result in animals with greater weight at slaughter when finished with a high-energy diet (Marcondes et al., 2016). The differences observed in carcass weight in our study were related to differences in weight at slaughter.

Angus animals are known worldwide for their marbling meat and tenderness and are being widely used in Brazil through crosses with Nellore animals. According to Façanha et al. (2014), these crosses result in heavier progenies with better carcass characteristics, such as greater rib eye area, greater subcutaneous fat thickness, and greater marbling.

Dressing percentage is one of many factors that affect the value of a slaughtered animal, and it is important to understand slaughter cattle pricing systems and pricing variability. Therefore, Nellore animals, despite their lower performance, recovered from an economic point of view about the crossbred, as the dressing percentage was not different between them (57.9% vs. 56.7%).

Similar results were obtained by Monteiro et al. (2022), who did not observe any differences ( $P > 0.05$ ) in DP between Nellore (56.2%) and Nellore x Angus (55.9%) animals finished in the feedlot, although the crossbred animals showed higher FBW (633.8 kg vs. 515.5 kg), ADGc (4.10 kg vs. 0.89 kg), and HCW (361.6 kg vs. 285.1 kg).

Lopes et al. (2012a) observed differences ( $P < 0.01$ ) in the FBW of animals Nellore and  $\frac{3}{4}$  *Bos taurus* x  $\frac{1}{4}$  *Bos indicus*, which was 482.8 kg vs. 519.4 kg, respectively. However, the DP of the Nellore animals was higher ( $P < 0.01$ ) compared to the crossbred animals (57.7% vs. 54.7%). The authors reported that even though the crossbred animals showed a lower DP, it can be considered that the values are satisfactory from a productive point of view, as many slaughterhouses in Brazil consider only 50% of DP when they buy the animal based on FBW.

Growth performance and carcass characteristics of  $\frac{1}{2}$  Red Angus x  $\frac{1}{2}$  Nellore and  $\frac{3}{4}$  Red Angus x  $\frac{1}{4}$  Nellore animals finished in confinement were evaluated by Façanha et al., (2014). The authors did not observe differences regarding slaughter weight (412.33 kg vs. 426.53 kg), and DP (52.6% vs 52.9%) for  $\frac{1}{2}$  Red Angus x  $\frac{1}{2}$  Nellore and  $\frac{3}{4}$  Red Angus x  $\frac{1}{4}$  Nellore animals, respectively. They concluded that there were no differences between the genetic groups in carcass and meat traits and highlighted that  $\frac{1}{2}$  Red Angus x  $\frac{1}{2}$  Nellore would be more recommended, as it would allow the animals to be slaughtered one generation before the  $\frac{3}{4}$  Angus x  $\frac{1}{4}$  Nellore animals.

Maciel et al. (2019) studied animals Nellore and Nellore x Angus finished in the feedlot and also found differences between the two breed compositions for all variables evaluated. The crossbred animals had higher FBW, ADG, ADGc, carcass weight, and feed conversion than Nellore, but, as in the present study, the animals did enter the feedlot at a significantly higher weight.

The higher percentage of forequarter observed for Nellore animals may have been due to cupim (beef hump) in Zebu animals. Due to the greater economically important commercial cuts in the posterior part of the carcass, a greater hindquarter yield is crucial, as these cuts have better commercial value. Therefore, Nellore animals demonstrated excellent ability to muscle development in the hindquarter. On the other hand, crossbred animals had greater DMI, which provides a larger digestive tract and consequent higher rib percentage (Costa et al., 2017).

According to Lopes et al. (2012a), when analyzing cuts (quarters) by weight, there is a direct influence of slaughter weight, as animals finished with higher weight have heavier cuts. Therefore, the comparison in percentage is the most appropriate way to evaluate carcasses of animals with different slaughter weights, as in the present study.

Regarding the carcass pH values at 0h and 24 hours after slaughter, Nellore and Nellore x Angus had similar results. The carcasses had a pH within the standard recommended by the meat industry, which considers normal pH values between 5.5 and 5.7, and meat within this range possesses the most desirable quality characteristics (Matarneh et al., 2017). These authors reported that meat with pH 6.0 or higher tends to be darker in color and has a reduced shelf life. In contrast, meat pH < 5.4 is pale in color, has lower water holding capacity, decreased protein extraction capacity, and low yield when processed.

Oliveira et al. (2021), evaluated Nellore, Angus x Nellore, and Canchim x Nellore animals finished in a feedlot. They did not observe differences ( $P > 0.05$ ) between breeds regarding carcass pH 0h values (6.68 vs. 6.92 vs. 6.89), and pH 24h values (5.91 vs. 5.98 vs. 5.93, for Nellore, Angus x Nellore and Canchim x Nellore, respectively).

The decline of carcass pH rate post-mortem is influenced by many factors, including genetics, muscle fiber type, and pre and post-mortem handling conditions (Matarneh et

al. 2017). Still, the pH values observed in our study prove that glycogen reserve in muscle tissue was adequate at the time of slaughter for both genetic groups.

According to Matarneh et al. (2017), the end product of post-mortem glycolysis and ATP hydrolysis, lactate and hydrogen ions (H<sup>+</sup>), accumulate in the muscle. Because of that, the carcass pH gradually decreases from about 7.2 in living tissue to a final pH close to 5.6. Post-mortem glycolysis usually stops in the presence of residual glycogen in the muscle of certain species. The relation between glycogen content and final pH is curvilinear instead of linear because final pH decreases as glycogen increases until a plateau is reached.

### 3.2 Methane production

No difference was observed between groups regarding methane production ( $P > 0.05$ ), except for CH<sub>4</sub> g/kg ADG ( $P < 0.01$ ), as presented in Table 3.

**Table 3.** Means and standard errors of the mean (SEM) of methane production of Nellore and Angus x Nellore crossbred young bulls finished in feedlot

Item	Nellore	Nellore x Angus	SEM	P-value
CH <sub>4</sub> , g/h	15.6	14.5	1.43	0.89
CH <sub>4</sub> , g/day	374.9	348.8	34.4	0.59
CH <sub>4</sub> , kg/year	127.4	127.3	10.9	0.99
CH <sub>4</sub> , kg/DMI	35.4	27.7	2.99	0.08
CH <sub>4</sub> , kg/BW	0.72	0.57	0.06	0.09
CH <sub>4</sub> g/kg BW 0.75	3.44	2.83	0.30	0.16
CH <sub>4</sub> g/kg ADG	266.0	173.4	20.8	< 0.01
CH <sub>4</sub> g/kg CW	1.09	0.87	0.09	0.11
CH <sub>4</sub> g/ADGc	321.8	247.3	26.5	0.06

CH<sub>4</sub>, methane; BW, body weight; BW 0.75, metabolic body weight; ADG, average daily gain; CW, carcass weight; ADGc, ADG of carcass; SEM, standard error of the mean.

In general, larger and fast-growing animals eat more and produce more enteric methane, but it is notable that even though the crossbred animals were heavier and had a

higher DMI, they produced less methane expressed as CH<sub>4</sub> g/kg ADG. However, despite the difference in DMI, breed composition did not modify the CH<sub>4</sub> yield (g CH<sub>4</sub> per unit of DMI).

Methane emissions occur naturally in ruminants but are more accentuated mainly by consuming diets high in fibrous carbohydrates (Archimède et al., 2011). According to Berndt and Tomkins (2013), in general, reductions in enteric methane emission can occur with an improvement in the composition of the diet provided, reducing the fiber content, and increasing the concentrations of crude protein and soluble carbohydrates.

Supplementing diets with lipids is one of the most effective ways to reduce enteric CH<sub>4</sub> emissions by ruminants. However, due to the toxic action of lipids on ruminal microorganisms, there may be a decrease in digestion, mainly of the fibrous fraction of the food, and consequently, cause a drop in the DMI of the diet. Therefore, the NRC (2016) recommends that the maximum amount of ether extract in the diet of cattle does not exceed 7% of dry matter.

Methane production in the rumen is mainly modulated by the presence of free CO<sub>2</sub> and hydrogen (H<sub>2</sub>) produced from the fermentation of feeds. From H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> is reduced by microorganisms, with the consequent formation of CH<sub>4</sub> (Martin et al., 2010). The synthesis of methane contributes to the efficiency of rumen fermentation, preventing H<sub>2</sub> concentration from increasing to levels that can inhibit the normal functioning of the rumen, and reduce fermentation (Morgavi et al., 2010).

The UFAs present in lipids are toxic to gram-positive bacteria, protozoa, and archaea methanogenic, because they change the fluidity of their plasma membrane, causing cell disruption. Rumen bacteria use the hydrogen present in the rumen by adding it to the double bonds to convert unsaturated fatty acids into saturated fatty acids



(biohydrogenation). This process reduces the amount of hydrogen available for CH<sub>4</sub> synthesis (Kozloski, 2011; Palmquist and Matos, 2011).

Silva et al. (2018) studied different lipid sources (soybean oil, soybeans, and rumen-protected fat based on soybean oil) on the performance and methane emissions of Nellore animals in the feedlot. The concentrated were composed of maize, soybean meal, urea, and crude glycerin. The enteric methane emission (g/d, kg/year, and g/kg DMI) was not affected by different soybean lipids ( $P > 0.05$ ). The authors reported that this result might be due to the adaptation of the microbial population, and the rumen wall may have absorbed part of the added glycerol.

Methane production from Nellore and Nellore x Angus groups finished in the feedlot was evaluated by Maciel et al. (2019). They found that the CH<sub>4</sub> g/kg ADG or CH<sub>4</sub> g/ADGc was significantly lower ( $P < 0.01$ ) in crossbred than in Nellore animals. According to the authors, the results suggest that the CH<sub>4</sub> production of crossbred animals is compensated by better performance, resulting in lower CH<sub>4</sub> per kg of meat produced when a feedlot is used in tropical climate conditions.

According to Donoghue et al. (2016) and Hayes et al. (2016), methane emission levels in cattle are heritable traits, and there is potential to use genetic selection to reduce methane emissions in ruminants, which could result in cumulative and permanent changes in emission levels. Further, genetic correlations are usually higher than phenotypic correlations, and genetic improvement based on testing sires and their progeny in a feedlot trial will lead to a better understanding of genetic correlations on methane emissions (Herd et al., 2016).

### *3.3 Fatty acid profile of longissimus thoracis muscle*

No difference ( $P > 0.05$ ) was observed between genetic groups for total fatty acid concentration (TFA), as demonstrated in Table 4. The TFA content found in our study

agrees with other studies that used identical analytical methods (Oliveira et al., 2011; Lopes et al., 2012b; Machado Neto et al., 2014; Bressan et al., 2016; Renna et al., 2019).

**Table 4.** Concentrations of total fatty acid and fatty acid profile in the *longissimus thoracis* muscle of Nellore and Angus x Nellore bulls finished in the feedlot with high-lipid diets

Fatty Acid		Nellore	Nellore x Angus	SEM	P-value
Total fatty acids (g / 100 g tissue)		1.9	2.2	0.20	0.35
Saturated fatty acids (SFA)					
Lauric	C12:0	0.08	0.06	0.004	< 0.01
Myristic	C14:0	3.31	2.63	0.13	< 0.01
Pentadecanoic	C15:0	0.36	0.34	0.02	0.32
Palmitic	C16:0	23.4	22.6	0.44	0.27
Margaric	C17:0	0.59	0.74	0.04	0.04
Stearic	C18:0	13.7	13.6	0.62	0.89
Monounsaturated fatty acids (MUFA)					
Myristoleic	C14:1 ( <i>c-9</i> )	0.81	0.69	0.05	0.07
Palmitoleic	C16:1 ( <i>c-9</i> )	3.32	3.00	0.12	0.08
Heptadecenoic	C17:1	0.57	0.63	0.02	0.08
Oleic	C18:1 ( <i>c-9</i> )	38.1	40.8	0.86	0.05
Vaccenic	C18:1 ( <i>t-11</i> )	3.12	3.04	0.19	0.76
Sum of C18:1	C18:1*	3.38	3.69	0.09	< 0.01
Elaidic	C18:1 ( <i>t-16</i> )	0.30	0.23	0.02	0.04
Polyunsaturated fatty acids (PUFA)					
CLA – Rumenic acid	C18:2 ( <i>c-9, t-11</i> )	0.50	0.39	0.03	< 0.01
Linoleic	C18:2 (n-6)	4.84	4.12	0.38	0.20
$\alpha$ -linolenic	C18:3 (n-3)	0.46	0.39	0.02	0.03
Dihomo- $\gamma$ -linoleic	C20:3 (n-6)	0.15	0.12	0.02	0.19
Arachidonic	C20:4 (n-6)	0.76	0.73	0.12	0.85
Docosapentaenoic	C22:5 (n-3)	0.37	0.33	0.05	0.51

\*Sum of C18:1 *c-11*; C18:1 *c-12*; C18:1 *c-13*; C18:1 *c-15*; SEM, standard error of the mean.

There was a significant difference in lauric and myristic acid concentrations between genetic groups ( $P < 0.01$ ). Nellore animals had the highest levels compared to the crossbred animals (0.08% vs. 0.06% and 3.31% vs. 2.63%, respectively).

Nevertheless, the lauric acid values observed in this study were relatively low for both genetic groups, and a low percentage of lauric acid in beef is considered normal (Liu et al., 2020).

Regardless of the genetic group, the FA found in higher concentrations were oleic (C18:1 n-9), palmitic (C16:0), and stearic acids (C18:0). These FA represented 75,2% of Nellore and 77.0% for crossbred animals of the total FA.

According to Feitosa et al. (2017), intramuscular fat can indicate the FA profile of meat from Zebu animals and their crosses. Although the adipogenic mechanism is complex, different Zebu genes have been confirmed to be responsible for the FA profile of beef. This genomic information can help improve the FA profile, and in the future, these data can be included in breeding programs to obtain quality beef (Chiaia et al., 2017).

Ladeira et al. (2014), evaluated the FA profile of the intramuscular fat from  $\frac{3}{4}$  *Bos taurus* x  $\frac{1}{4}$  *Bos indicus* animals fed ground soybean, ground soybean + monensin, rumen-protected fat from soybean oil, and rumen-protected fat from soybean oil + monensin. The authors observed different levels ( $P < 0.01$ ) of lauric acid ranging from 0.26% to 0.39%, and myristic acid between 2.02% to 2.55%.

There was no significant effect in the palmitic acid concentration ( $P > 0.05$ ) between breeds. According to Woollett et al. (1992), myristic and palmitic acids have hypercholesterolemic potential because they enrich the phospholipids of cell membranes and cause interference in LDL receptors by reducing their removal with an increase in their concentration in blood. However, when compared to palmitic acid, myristic acid has the potential to fourfold increase blood cholesterol.

Regarding margaric acid, there was a significant effect ( $P = 0.04$ ), which crossbred animals showed the highest concentrations of this FA (0.74%). Barcellos et al. (2017)

evaluated Nellore animals finished in the pasture and Nellore x Angus finished in the feedlot. They found a difference only in margaric acid concentrations in the intramuscular fat (0.97% vs. 0.86%, respectively).

There was no significant difference in stearic acid concentrations between genetic groups ( $P > 0.05$ ). In the animal body, stearic acid is rapidly metabolized to oleic acid by the enzyme  $\Delta^9$  desaturase, and it is known to contribute to reducing serum cholesterol. This FA decreases cholesterol absorption while increasing the excretion of endogenous cholesterol (Duckett, 2017). Rossato et al. (2010) found a genetic group effect in the FA profile, in which the concentrations of myristic acid (3.52% vs. 3.08%) and stearic acid (22.5% vs. 18.7%) were higher for the *Bos indicus* animals, while the concentration of palmitic acid was higher for *Bos taurus* (26.1% vs. 24.8%).

Oleic acid, the main monounsaturated fatty acid (MUFA) in beef, is found in the highest concentration, corresponding to practically 40% of the total proportion of FA. There was a significant effect ( $P = 0.05$ ) between breeds in the present study, with higher levels found in the intramuscular fat of Nellore x Angus than in Nellore animals (38.1% vs. 40.8%). Oleic acid contributes to an increase in HDL and a decrease in LDL and triglyceride concentrations in blood plasma, which makes it possible to prevent cardiovascular diseases (Gilmore et al., 2011). According to Daley et al. (2010), grain-fed animals, especially oilseeds, usually have higher concentrations of MUFA, mainly oleic acid.

Machado Neto et al. (2014) found differences in oleic acid concentration in  $\frac{3}{4}$  *Bos taurus* x  $\frac{1}{4}$  *Bos indicus* animals fed ground soybean or ground cottonseed (34.9% vs. 28.7%, respectively). Monteiro et al. (2022) studied the FA profile of intramuscular fat from Angus x Nellore and Nellore animals. They observed a difference ( $P = 0.04$ )

between breeds in the concentration of oleic acid, with the crossbred animals showing the highest concentrations (36.7% vs. 41.5%).

No difference in vaccenic acid concentration was found ( $P > 0.05$ ) between genetic groups. As the concentration of vaccenic acid was higher than the CLA concentration, it is suggested that the first steps of ruminal biohydrogenation occur more quickly than the conversion of vaccenic acid to stearic acid. Therefore, vaccenic acid accumulates in the rumen and becomes more available for absorption after it reaches the intestine, where it is converted to CLA by the enzyme  $\Delta^9$  desaturase (Griinari and Bauman, 1999; Kazama et al., 2008; Oliveira et al., 2011).

Regarding the sum of C18:1 isomer, there was a significant effect between breeds ( $P < 0.01$ ), with lower concentrations for Nellore animals. Bressan et al. (2016) did not observe significant differences in the concentrations of C18:1 *cis*-11, C18:1 *cis*-12, and C18:1 *cis*-13 in intramuscular fat from different genetic groups (*Bos indicus* vs. *Bos indicus* x *Bos taurus*).

There was a significant effect in CLA concentrations ( $P < 0.01$ ). Nellore animals had a higher concentration of CLA than crossbred animals (0.50% vs. 0.39%). Contrary to what was observed in this study, Monteiro et al. (2022), evaluating the same genetic groups, found a higher concentration ( $P = 0.03$ ) of CLA in the intramuscular fat of Nellore x Angus compared to Nellore animals (0.19% vs. 0.32%).

One factor that influences the production of CLA in fat tissues is the ruminal pH. Diets with high levels of concentrate, mainly starch, can decrease rumen pH and reduce lipolysis, an essential step for biohydrogenation (Fiorentini et al., 2018). As the present study used 80% of concentrate in the diet, a ruminal pH of 5.99 (NRC, 2016) was estimated, according to the explanations previously mentioned.

CLA is found only in animal products and is formed through an incomplete ruminal biohydrogenation of LA from the diet and through an endogenous synthesis from vaccenic acid by the action of the enzyme  $\Delta^9$  desaturase in adipose tissue (McAfee et al., 2010). It is estimated that more than 80% of the CLA found in ruminant fat is produced endogenously through the action of  $\Delta^9$  desaturases (Palmquist et al., 2005). According to Alfaia et al. (2009), there are different CLA isomers, and the C18:2 *cis*-9, *trans*-11 (rumenic acid) form represents the majority of CLA isomers present in ruminant fat, reaching 90% of the total CLA.

Much research has been conducted to assess the benefits of CLA. According to some studies, the CLA has demonstrated properties that act to reduce body fat, cardiovascular disease, cancer, lower blood triglycerides, and prevent fat in the liver, in addition to modifying the immune and inflammatory responses of the body ( Gilbert et al., 2011; Dilzer and Park, 2012; Gebauer et al., 2015; Vahmani et al., 2020).

Nellore animals showed higher concentrations of ALA than crossbred animals ( $P = 0.03$ ). There was no difference between genetic groups ( $P > 0.05$ ) in the concentrations of linoleic acid, dihomo- $\gamma$ -linoleic acid, arachidonic acid, and docosapentaenoic acid. The results found in the present study for dihomo- $\gamma$ -linoleic acid, arachidonic acid, and docosapentaenoic acid were greater than the results observed by Rossato et al. (2010) and Lopes et al. (2012b) for different genetic groups.

A higher level of linoleic acid than  $\alpha$ -linolenic in tissues is not only due to a higher affinity for incorporation into phospholipid molecules but also by a reduced biohydrogenation in the rumen due to the diet, which is rich in concentrate. These diets have a small particle size and a shorter rumen transit time than forage diets, limiting microbial biohydrogenation (Wood et al., 2008).

An explanation for these results is that the FA previously mentioned comes from the elongation and desaturation of linoleic and  $\alpha$ -linolenic acids. Therefore, the higher the linoleic and  $\alpha$ -linolenic acid concentrations, the higher the long-chain FA concentrations derived from these acids. Also, according to Fiorentini et al. (2012), diets with soybean grain have greater linoleic and  $\alpha$ -linolenic acids deposition than diets with fat protected, and a more significant presence of these essential FA is associated with better composition and meat quality.

The breed composition did not affect the sum of SFA, UFA, and n-6 ( $P > 0.05$ ), but differences were observed in the sum of MUFA ( $P = 0.05$ ), PUFA ( $P = 0.03$ ), and n-3 ( $P = 0.02$ ) according to Table 5.

**Table 5.** Sum and ratios of fatty acids and activities of desaturase and elongase enzymes, atherogenicity index, and thrombogenicity index in the intramuscular fat of Nellore and Angus x Nellore bulls finished in the feedlot with high-lipid diets.

Fatty Acid	Nellore	Nellore x Angus	SEM	<i>P</i> -value
$\Sigma$ SFA	42.3	40.1	0.93	0.12
$\Sigma$ UFA	57.2	59.1	0.92	0.19
$\Sigma$ MUFA	49.7	52.4	0.95	0.05
$\Sigma$ PUFA	7.67	6.71	0.73	0.03
$\Sigma$ n-3	0.68	0.53	0.06	0.02
$\Sigma$ n-6	6.63	4.89	0.88	0.07
n-6/n-3	9.75	9.22	0.02	0.07
$\Delta^9$ Desaturase 16	12.4	11.7	0.38	0.14
$\Delta^9$ Desaturase 18	73.6	75.0	1.09	0.38
Elongase	65.6	67.8	0.65	0.03
Atherogenicity index	0.65	0.57	0.02	0.03
Thrombogenicity index	1.33	1.27	0.05	0.42

Compared to Nellore, the crossbred animals had higher concentrations of MUFA (49.7% vs. 52.4%) but lower concentrations of PUFA (6.71% vs. 7.67%). Generally, animals with a higher zebu breed percentage have higher concentrations of PUFA in

intramuscular fat due to their characteristics in fiber composition and the increase in muscle membranes (Ito et al., 2012).

Fiorentini et al. (2018) found higher concentrations ( $P < 0.01$ ) of PUFA in the intramuscular fat from animals fed soybean grain (9.40%), compared to protected fat (8.26%). On the other hand, supplementation with protected fat increased the concentration of CLA, and this result must be related to the lower biohydrogenation of the lipid source.

Gilmore et al. (2011) observed that meat consumption (114 g/meal, for nine weeks) with a higher MUFA increased the HDL concentration in blood compared to meat consumption with a lower MUFA concentration. The authors found that meat with a higher MUFA content provides 3.21 g more oleic acid, 1.26 g less stearic acid, 0.89 g less palmitic acid, and 0.36 g less C18:1 (*trans*-9 and *trans*-11).

A significant difference was observed between breed compositions regarding the concentrations of n-3 ( $P = 0.02$ ). Nellore animals had 0.15% more in the sum of these acids than the crossbred animals. No difference was observed in the sum of n-6 and the ratio between the n-6 and n-3 acids ( $P > 0.05$ ).

There is growing evidence that regular consumption of n-3 is beneficial for growth and development, as well as the health and well-being of humans of all ages (Ponnampalam et al., 2018). The n-3 fatty acids help to prevent diseases such as arthritis, depression, and cancer. They are incorporated into the cells of all tissues in the human body, participating in processes such as cell signaling and gene expression (Surette, 2008). In general, n-3 and n-6 FAs are necessary to maintain cell membranes, brain functions, and transmission of nerve impulses, in addition to participating in hemoglobin synthesis and cell division (Martin et al., 2008).



According to FAO and UN (2010), there are no recommendations for the n-6/n-3 ratio intake, as long as n-6 and n-3 are within the recommended: the consumption of PUFA should stay between 6 and 11%, with a total intake of n-3 varying between 0.5 to 2%, and the input of n-6 ranging between 2.5 to 9%. It is proposed that the consumption should be based mainly on the amount of n-3 present in the food, then on the proportion of n-6/n-3. Also, to prevent disease development, the recommended daily intake of total fats is 20 to 30%, and the UFA intake is approximately 10%. The recommended PUFA/SFA ratio is 4 to 5, and the input of *trans* FA should not exceed 1%.

Do Prado et al. (2011) evaluated Nellore, Nellore x Limousin, and Nellore x Angus animals and found an n-6/n-3 ratio of 8.54, 7.18, and 8.21, respectively. The animals from the Nellore x Limousin crossbred showed their study the highest concentrations of n-3 acids. Bressan et al. (2016) evaluated Nellore and Nellore x Simmental animals and found no significant difference in the n-6/n-3 ratio between the genetic groups. However, the authors also evaluated the finishing system (pasture x feedlot). They observed that animals finished on pasture obtained higher concentrations of n-3 and a lower ratio of n-6/n-3 due to the high levels of  $\alpha$ -linolenic acid in forages and linoleic in grains. Despite the biohydrogenation of these FA in the rumen, the authors state that diets influenced the FA profile of the meat.

No differences between the genetic groups were found ( $P > 0.05$ ) regarding the activity of  $\Delta^9$  desaturase 16 and  $\Delta^9$  desaturase 18 enzymes, although considerable differences have been demonstrated in the concentrations of oleic acid. On the other hand, Bressan et al. (2016) found a greater activity of  $\Delta^9$  desaturase 16 in the intramuscular fat of *Bos indicus* animals than crossed *Bos indicus* x *Bos taurus* animals (9.52% vs. 10.30%). No differences were observed between breeds for the activity of  $\Delta^9$  desaturase

18. Gama et al. (2013) also reported that *B. indicus* has a much stronger influence on their crossbred offspring than *B. taurus*, suggesting a solid dominance genetic effect.

The  $\Delta^9$  desaturase enzyme has been identified and reported as one of the genes associated with the FA profile of beef (Martins et al., 2018). Desaturase enzymes oxidize two carbons in the chain by forming double bonds, and elongase enzymes add two carbon atoms to the chain (Perini et al., 2010).

The greater proportion of concentrate in the finishing diets promotes the  $\Delta^9$  desaturase enzyme activity and intramuscular fat deposition. However, the rumen outflow of vaccenic acid frequently is replaced by an isomer of C18:1 *trans*-10, which cannot be converted to CLA. Thus, the occurrence of C18:1 *trans*-10 acid is usually associated with low CLA concentrations in beef. The constraints to n-3 long-chain (LC) PUFA enrichment of beef are mainly associated with the rumen biohydrogenation of PUFA, the low elongation, and desaturation of 18:3 n-3 into n-3 LC PUFA, and the capacity of muscle lipids to incorporate n-3 LC PUFA (Bessa et al., 2015).

A significant difference ( $P = 0.03$ ) was observed in the elongase enzyme activity between Nellore and Nellore x Angus. Thus, it is evident that the crossbred animals had a greater capacity to promote elongation from palmitic acid to stearic acid, although we did not find discrepancies in the concentration of these acids. Also, this result demonstrates that the crossbred could perform greater fatty acid biosynthesis, mainly oleic acid. Furthermore, the animals were slaughtered at a weight heavier than the weight at maturity, as we mentioned before. Therefore, it is natural that greater *de novo* synthesis of FA occurs and this leads to a greater formation of UFA through SFA.

A difference was found in the atherogenicity and thrombogenicity indexes ( $P = 0.03$ ) only for the atherogenicity index. Nellore animals showed a greater result compared to the crossbred animals (0.65% vs. 0.57%). Bressan et al. (2011) evaluated the

atherogenicity index of *B. indicus* and *B. taurus* intramuscular fat. They reported that the *B. taurus* animals had the lowest index (0.71%) compared to *B. indicus* (0.76%). Different results were found by Monteiro et al. (2022), who observed differences in the thrombogenicity index ( $P = 0.05$ ) between Nellore (1.37%) and Nellore x Angus (1.95%) animals.

The effect of heterosis in *B. indicus* and *B. indicus* x *B. taurus* animals finished in different systems (pasture and grain) was evaluated by Gama et al. (2013). In the pasture system, heterosis influenced the 5% increase in CLA concentration, but few changes were observed in the profiles of the other FA. In the feedlot, heterosis caused a reduction in intramuscular fat, cholesterol, and atherogenicity index, increased amounts of PUFA, and the sum of n-6. The estimated  $\Delta^9$  desaturase activity in the crossbred animals was similar to the *B. indicus* animals, suggesting a genetic dominance effect on the enzymes involved in FA synthesis and metabolism. Heterosis corresponds to modifications in performance when different genetic groups are crossed, resulting from the increase in heterozygosity in the offspring. The results of their study indicated that the cross between *B. taurus* and *B. indicus* was beneficial for meat quality and FA profiles in both finishing systems, although the benefits arising from heterosis differed between them.

Beef consumption must be stimulated since it contains beneficial FA to human health, such as oleic acid and CLA, the last one being found only in animal-origin products, especially in ruminants. Furthermore, according to Biesalski (2005), most consumers are unaware of a lot of important information about the nutritional value of beef, as meat consumption, especially red meat, is recommended to avoid risks of cancer and metabolic syndromes in addition to obesity.

#### **4. Conclusions**

Crossbred Nellore x Angus young bulls showed improved feedlot performance and carcass characteristics while not negatively affecting total CH<sub>4</sub> production but rather lessening CH<sub>4</sub> emissions per unit of beef produced.

Different breeds can modify the FA profile of beef. Nellore animals had higher concentrations of PUFA and CLA in the intramuscular fat.

#### **Declaration of Competing Interest**

The authors declare no conflicts of interest.

#### **Acknowledgments**

This research did not receive any specific grant from public, commercial, or not-for-profit funding agencies. The authors thank the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) for conceding the scholarship and the Integrated Crop-Livestock-Forest Network Association (ICLFS / Brazilian Agricultural Research Corporation) for the system's implementation and all support staff at Embrapa Maize & Sorghum. Also, the authors are grateful to Prodap – Livestock Technology for providing the supplements and to all the researchers and technicians at Embrapa and the Federal University of Minas Gerais.

#### **References**

- Alfaia, C. P. M., Alves, S. P., Martins, S. I. V., Costa, S. H., Fontes, C. M. G. A., Lemos, J. P. C., Bessa, R. J. B., Prates, J. A. M., 2009. Effect of the feeding system on intramuscular fatty acids and conjugated linoleic acid isomers of beef cattle, with emphasis on their nutritional value and discriminatory ability. *Food Chem.*, v. 114, n. 3, p. 939–946. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.041>.

- Amaral, A. B.; Solva, M. V. D.; Lannes, S. C. D. S., 2018. Lipid oxidation in meat: Mechanisms and protective factors - a review. *Food Sci. Technol.*, v. 38, p. 1–15. <https://doi.org/10.1590/fst.32518>.
- Archimède, H., Eugène, M., Magdeleine, C. M., Boval, M., Martin, C., Morgavi, D. P., Lecomte, P., Doreau, M., 2011. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v. 166–167, p. 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.003>.
- Azevêdo, J. A. G., Valadares Filho, S. C., Silva, L. F. C., Santos, A. B., Souza, L. L., Rotta, P. P., Rennó, L. N., Prado, I. N. P., 2016. Regulação e predição de consumo de matéria seca. *Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados - BR CORTE*, p. 15–43.
- Barcellos, V. C., Mottin, C., Passetti, R. A. C., Guerrero, A., Eiras, C. E., Prohmann, P. E. F., Vital, A. C. P., Prado, I. N., 2017. Carcass characteristics and sensorial evaluation of meat from Nellore steers and crossbred Angus vs. Nellore bulls. *Acta Sci. Anim. Sci.*, 39(4), 437. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i4.36692>.
- Berndt, A.; Tomkins, N. W., 2013. Measurement and mitigation of methane emissions from beef cattle in tropical grazing systems: a perspective from Australia and Brazil. *Animal*, v. 7 Suppl 2, n. 2013, p. 363–372. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000670>.
- Berndt, A., Pedroso, A. F., Pereira, L. G. R., Rodrigues, P. H. M., Almeida, R. G., Guimarães Júnior, R., Frighetto, R. T. S., Oliveira, P. P. A., 2014. Diretrizes para avaliação da emissão de metano entérico com a técnica do gás traçador SF6. *Embrapa Pecuária Sudeste-Documentos (INFOTECA-E)*. ISSN 1980-6841.

- Bessa, R. J. B., Alves, S. P., Santos-Silva, J., 2015. Constraints and potentials for the nutritional modulation of the fatty acid composition of ruminant meat. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 117(9), 1325–1344. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400468>.
- Biesalski, H. K., 2005. Meat as a component of a healthy diet - Are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet? *Meat Sci.*, 70(3 SPEC. ISS.), 509–524. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.07.017>.
- Bressan, M. C., Rossato, L. V., Rodrigues, E. C., Alves, S. P., Bessa, R. J. B., Ramos, E. M., Gama, L. T., 2011. Genotype  $\times$  environment interactions for fatty acid profiles in *Bos indicus* and *Bos taurus* finished on pasture or grain. *J. Anim. Sci.*, 89(1), 221–232. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2672>.
- Bressan, M. C., Rodrigues, E. C., De Paula, M. do L., Ramos, E. M., Portugal, P. V., Silva, J. S., Bessa, R. B., da Gama, L. T., 2016. Differences in intramuscular fatty acid profiles among *Bos indicus* and crossbred *Bos taurus*  $\times$  *Bos indicus* bulls finished on pasture or with concentrate feed in Brazil. *Ital. J. Anim. Sci.*, 15(1), 10–21. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1139478>.
- Bridi, A. M., 2014 Consumo de carne bovina e saúde humana: convergências e divergências. *Bovinocultura de corte*, p. 1–15.
- Cardoso, A. S., Berndt, A., Leytem, A., Alves, B. J. R., Carvalho, I. N. O., Soares, L. H. B., Urquiaga, S., Boddey, R. M., 2016. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agric. Syst.*, v. 143, p. 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.12.007>.
- Chiaia, H. L. J., Peripoli, E., Silva, R. M. O., Aboujaoude, C., Feitosa, F. L. B., Lemos, M. V. A., Berton, M. P., Olivieri, B. F., Espigolan, R., Tonussi, R. L., Gordo, D. G.

- M., Bresolin, T., Magalhães, A. F. B., Fernandes Júnior, G. A., Albuquerque, L. G., Oliveira, H. N., Furlan, J. J. M., Ferrinho, A. M., Mueller, L. F., Tonhati, H., Pereira, A. S. C., Baldi, F., 2017. Genomic prediction for beef fatty acid profile in Nellore cattle. *Meat Sci.*, v. 128, p. 60–67. <https://10.1016/j.meatsci.2017.02.007>.
- Costa, P. M., Barbosa, F. A., Alvarenga, R. C., Guimarães, S. T., Lampeão, A. A., Winkelströter, L. K., Maciel, I. C. F., 2017. Performance of crossbred steers post-weaned in an integrated crop-livestock system and finished in a feedlot. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 52, n. 5, p. 355–365. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000500009>.
- Daley, C. A., Abbott, A., Doyle, P. S., Nader, G. A., Larson, S., 2010. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. *Nutr. J.*, v. 9, n. 1, p. 1–12. <https://10.1186/1475-2891-9-10>
- Dallantonia, E. E., Fernandes, M. H. M. R., Cardoso, A. S., Leite, R. G., Ferrari, A., Ongaratto, F., Lage, J. F., Balsalobre, M. A. A., Reis, R. A., 2021. Performance and greenhouse gas emission of Nellore and F1 Angus × Nellore yearling bulls in tropical production systems during backgrounding and finishing. *Livest. Sci.*, v. 251, n. September 2020, p. 104646. <https://10.1016/j.livsci.2021.104646>.
- Dilzer, A.; Park, Y., 2012. Implication of Conjugated Linoleic Acid (CLA) in Human Health. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, v. 52, n. 6, p. 488–513. <https://10.1080/10408398.2010.501409>.
- Do Prado, I. N., Maggioni, D., Dos Santos Abrahão, J. J., Zawadzki, F., Valero, M. V., De Araújo Marques, J., Ito, R. H., Perotto, D., 2011. 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. *Semin. Cienc. Agrar.*, 32(4), 1461–1476. <https://10.5433/1679-0359.2011v32n4p1461>.

Donoghue, K. A., Gardiner, T. B., Arthur, P. F., Herd, R. M., Hegarty, R. F., 2016. Genetic and phenotypic variance and covariance components for methane emission and postweaning traits in Angus cattle. *J. Anim. Sci.*, v. 94, n. 4, p. 1438–1445. <https://10.2527/jas.2015-0065>.

Duckett, S. K., 2017. Effects of nutrition and management practices on marbling deposition and composition. University of Georgia, Athens. Retrieved from [https://cabcattle.com/wp-content/uploads/NewsReleaseDocs/duckett\\_nutrition.pdf](https://cabcattle.com/wp-content/uploads/NewsReleaseDocs/duckett_nutrition.pdf)

Façanha, D. A. E., Leite, J. H. G. M., Queiroga, R. C. R. E., Costa, R. G., Garruti, D. S., Silva, T. L. S., 2014. Carcass and meat characteristics of very young Angus x Nelore steers in the Agreste Potiguar region. *Rev. Cien. Agron.*, v. 45, n. 3, p. 612–619. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000300024>.

FAO-WHO. 2010. Fats and fatty acids in human nutrition. Rome: FAO Food and nutrition paper # 91. Report of an expert consultation. Geneva, November 10-14. <http://www.fao.org/3/a-i1953e.pdf> / Accessed 25 July 2022.

Feitosa, F. L. B., Olivieri, B. F., Aboujaoude, C., Pereira, A. S. C., de Lemos, M. V. A., Chiaia, H. L. J., Berton, M. P., Peripolli, E., Ferrinho, A. M., Mueller, L. F., Mazalli, M. R., de Albuquerque, L. G., de Oliveira, H. N., Tonhati, H., Espigolan, R., Tonussi, R. L., de Oliveira Silva, R. M., Gordo, D. G. M., Magalhães, A. F. B., Baldi, I. A. F., 2017. Genetic correlation estimates between beef fatty acid profile with meat and carcass traits in Nelore cattle finished in feedlot. *J. Appl. Genet.*, 58(1), 123–



132. <https://doi.org/10.1007/s13353-016-0360-7>.

Fiorentinni, G., Berchielli, T. T., Santana, M. C. A., Dian, P. H. M., Reis, R. A., Sampaio, A. A. M., Biehl, M. V., 2012. Qualitative characteristics of meat from confined crossbred heifers fed with lipid sources. *Sci. Agr.*, v. 69, n. 5, p. 336–344. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162012000500008>.

Fiorentini, G., Santana, M. O., Messana, J. D., Valente, A. L. S., Härter, C. J., Rabelo, C. H. S., Barbero, R. P., Lanna, D. P. D., Reis, R. A., Berchielli, T. T., 2018. Effect of lipid sources on fatty acid profiles of meat from pasture- and feedlot-finished Nellore bulls. *Livest. Sci.*, 211, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.03.006>.

Folch, J., Lees, M., Sloane-Stanley, G. H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226, 497-509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5).

Gama, L. T., Bressan, M. C., Rodrigues, E. C., Rossato, L. V., Moreira, O. C., Alves, S. P., Bessa, R. J. B., 2013. Heterosis for meat quality and fatty acid profiles in crosses among *Bos indicus* and *Bos taurus* finished on pasture or grain. *Meat Sci.*, 93(1), 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.08.005>.

Gebauer, S. K., Destailats, F., Dionisi, F., Krauss, R. M., Baer, D. J., 2015. Vaccenic acid and trans fatty acid isomers from partially hydrogenated oil both adversely affect LDL cholesterol: A double-blind, randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.*, 102(6), 1339–1346. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.116129>.

Gilbert, W., Gadang, V., Proctor, A., Jain, V., Devareddy, L., 2011. Trans-trans conjugated linoleic acid enriched soybean oil reduces fatty liver and lowers serum cholesterol in obese Zucker rats. *Lipids*, 46(10), 961–968.

<https://doi.org/10.1007/s11745-011-3585-6>.

Gilmore, L. A., Walzem, R. L., Crouse, S. F., Smith, D. R., Adams, T. H., Vaidyanathan, V., Cao, X., Smith, S. B., 2011. Consumption of high-oleic acid ground beef increases HDL-cholesterol concentration but both high- and low-oleic acid ground beef decrease HDL particle diameter in normocholesterolemic men. *J. Nutr.*, 141(6), 1188–1194. <https://doi.org/10.3945/jn.110.136085>.

Gomes, R. C., Santana, M. H. A., Ferraz, J. B. S., Leme, P. R., Silva, S. L., 2012. Ingestão de alimentos e eficiência alimentar de bovinos e ovinos de corte. Metodologia de avaliação e instalações para viabilizar a colheita de dados na fase pós-desmama. Ribeirão Preto: FUNPEC Editora.

Gomide, L.A.M., Ramos, E.M., Fontes, P.R., 2006. Slaughter technology and carcass tipfication, 1th ed. Viçosa.

Griinari, J. M. and Bauman, D. E., 1999. Biosynthesis of Conjugated Linoleic Acid and its incorporation into Meat and Milk in Ruminants. In: *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*. Champaign, Illinois, v. 1, p. 180-200.

Hayes, B. J., Donoghue, K. A., Reich, C. M., Mason, B. A., Gardiner, T. B., Herd, R. M., Arthur, P. F., 2016. Genomic heritabilities and genomic estimated breeding values for methane traits in Angus cattle. *J. Anim. Sci.*, v. 94, n. 3, p. 902–908. <https://10.2527/jas.2015-0078>.

Herd, R. M., Velazco, J. I., Arthur, P. F., Hegarty, R. F., 2016. Associations among methane emission traits measured in the feedlot and in respiration chambers in angus cattle bred to vary in feed efficiency. *J. Anim. Sci.*, v. 94, n. 11, p. 4882–4891. <https://10.2527/jas.2016-0613>.

- Ito, R. H., Prado, I. N., Rotta, P. P., Oliveira, M. G., Prado, R. M., Moletta, J. L., 2012. Carcass characteristics, chemical composition and fatty acid profile of longissimus muscle of young bulls from four genetic groups finished in feedlot. *Ver. Bras. Zootec.*, v. 41, n. 2, p. 384–391. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000200022>.
- Johnson KA, Huyler MT, Westberg HH, Lamb BK, Zimmerman P., 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF<sub>6</sub> tracer technique. *Environ. Sci. Technol.*, 28(2):359–362. <https://doi.org/10.1021/es00051a025>.
- Johnson, K. A.; Johnson, D. E., 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.*, v. 73, n. 8, p. 2483-2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>.
- Johnson, K. A., Westberg, H. H., Michal, J. J., Cossalman, M. W., 2007. The SF<sub>6</sub> tracer technique: Methane measurement from ruminants. In: *Measuring Methane Production from Ruminants*. Springer, Dordrecht, 33–67.
- Kazala, E.C., Lozeman, F.J., Mir, P.S., Laroche, A., Bailey, D.R., Weselake, R.J., 1999. Relationship of fatty acid composition to intramuscular fat content in beef from crossbred Wagyu cattle. *J. Anim. Sci.* 77 (7), 1717–1725. <https://doi.org/10.2527/1999.7771717x>.
- Kazama, R., Zeoula, L. M., Prado, I. N., Silva, D. C., Ducatti, T., Matsushita, M., 2008. Características quantitativas e qualitativas da carcaça de novilhas alimentadas com diferentes fontes energéticas em dietas à base de cascas de algodão e de soja. Quantitative and qualitative carcass characteristics of heifers fed different energy sources. *Rev. Bras. Zootec.*, v. 37, n. 2. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000200023>.

- Kozloski, G. V., 2011. *Bioquímica dos ruminantes*. 3ed. Santa Maria: UFSM, 216p.
- Kouba, M.; Morout, J., 2011. A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. *Biochimie*, v. 93, n. 1, p. 13–17, 2011. <https://doi:10.1016/j.biochi.2010.02.027>.
- Ladeira, M. M., Santarosa, L. C., Chizzotti, M. L., Ramos, E. M., Machado Neto, O. R., Oliveira, D. M., Carvalho, J. R. R., Lopes, L. S., Ribeiro, J. S., 2014. Fatty acid profile, color and lipid oxidation of meat from young bulls fed ground soybean or rumen protected fat with or without monensin. *Meat Sci.*, v. 96, n. 1, p. 597–605. <https://10.1016/j.meatsci.2013.04.062>.
- Ladeira, M. M., Schoonmaker, J. P., Swanson, K. C., Duckett, S. K., Gionbelli M. P., Rodrigues, L. M., Teixeira, P. D., 2018. Review: Nutrigenomics of marbling and fatty acid profile in ruminant meat. *Animal*, v. 12, n. s2, p. S282–S294. <https://10.1017/S1751731118001933>.
- Liu, T., Wu, J. P., Lei, Z. M., Zhang, M., Gong, X. Y., Cheng, S. R., Liang, Y., Wang, J. F., 2020. Fatty acid profile of muscles from crossbred angus-simmental, wagyu-simmental, and chinese simmental cattles. *Food Sci. Anim. Res.*, v. 40, n. 4, p. 563–577. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e33>.
- Lopes, L. S., Laderia, M. M., Machado Neto, Paulino, P. V. R., Chizzotti, M. L., O. R., Ramos, E. M., Oliveira, D. M., 2012a. Características de carcaça e cortes comerciais de tourinhos Red Norte e Nelore terminados em confinamento. *Rev. Bras. Zootec.*, v. 41, n. 4, p. 970–977. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000400020>.
- Lopes, L. S., Laderia, M. M., Machado Neto, O. R., Ramos, E. M., Paulino, P. V. R., Chizzotti, M. L., Guerreiro, M. C., 2102b. Composição química e de ácidos graxos

do músculo longissimus dorsi e da gordura subcutânea de tourinhos Red Norte e Nelore Chemical composition and of fatty acids of the muscle longissimus dorsi and backfat of Red Norte and young Nelore bulls. *Rev. Bras. Zootec.*, v. 41, n. 4, p. 978–985. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000400021>.

Macedo, L. O. B., 2015. The role of social capital for the governance of hybrid forms in agribusiness: an analysis of Brazilian beef alliances. *Evolut. Inst. Econ. Rev.*, v. 12, n. 2, p. 307–327. <https://doi:10.1007/s40844-015-0017-y>.

Machado Neto, O. R., Chizzotti, M. L., Ramons, E. M., Oliveira, D. M., Lanna, D. P. D., Ribeiro, J. S., Lopes, L. S., Descalzo, A. M., Amorim, T. R., Ladeira, M. M., 2014. Fatty acid profile and meat quality of young bulls fed ground soybean or ground cottonseed and vitamin e. *Animal*, v. 9, n. 2, p. 362–372, 2014. <https://doi:10.1017/S1751731114002377>.

Maciel, I. C., Barbosa, F. A., Tomich, T. R., Ribeiro, L. G. P., Alvarenga, R. C., Lopes, L. S., Malaco, V. M. R., Rowntree, J. J., Thompson, L. R., Lana, A. M. Q., 2019. Could the breed composition improve performance and change the enteric methane emissions from beef cattle in a tropical intensive production system? *PLoS ONE*, v. 14, n. 7, p. 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220247>.

Malau-Aduli, A.E.O., Siebert, B.D., Bottema, C.D.K., Pitchford, W.S., 1997. A comparison of the fatty acid composition of triacylglycerols in adipose tissue from Limousin and Jersey cattle. *Aust. J. Agric. Res.* 48 (5), 715–722. <https://doi.org/10.1071/A96083>.

Martin, C. A., Almeida, V. V., Ruiz, M. R., Visentainer, J. E. L., Matshushita, M., Souza, N. E., Visentainer, J. V., 2008. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6:

- Importância e ocorrência em alimentos. *Rev. Nutr.*, v. 19, n. 6, p. 761–770. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000600011>.
- Martin, C.; Morgavi, D. P.; Doreau, M., 2010. Methane mitigation in ruminants: From microbe to the farm scale. *Animal*, v. 4, n. 3, p. 351–365. <https://0.1017/S1751731109990620>.
- Martins, T. da S., Lemos, M. V. A. de, Mueller, L. F., Baldi, F., Amorim, T. R. de, Ferrinho, A. M., Muñoz, J. A., Fuzikawa, I. H. de S., Moura, G. V. de, Gemelli, J. L., Pereira, A. S. C., 2018. Fat Deposition, Fatty Acid Composition, and Its Relationship with Meat Quality and Human Health. *Meat Sci. Nutr.*, 17-37. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77994>.
- McAfee, A. J., McSorley, E. M., Cuskelly, G. J., Moss, B. W., Wallace, J. M. W., Bonham, M. P., Fearon, A. M., 2010. Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. *Meat Sci.*, v. 84, n. 1, p. 1–13. <http://10.1016/j.meatsci.2009.08.029>.
- Marcondes, M. I.; Da Silva, A. L.; Gionbelli, M. P.; Valadares-Filho, S. Campos, 2016. Exigências de energia para bovinos de corte. In: *Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados - BR-CORTE*. 3ed, UFV.
- Matarneh, S. K., England, E. M., Scheffler, T. L., Gerrard, D. E., 2017. The Conversion of Muscle to Meat. *Lawrie's Meat Sci.* 8 ed. p. 159–185. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00005-4>.
- Monteiro, P. A. M., Maciel, I. F., Alvarenga, R. C., Oliveira, A. L., Barbosa, F. A., Guimarães, S. T., Souza, F. A., Lanna, D. P. D., Rodrigues, B. M., Lopes, L. S., 2022. Carcass traits, fatty acid profile of beef, and beef quality of Nellore and Angus

- x Nellore crossbred young bulls finished in a feedlot. *Livest. Sci.*, v. 256.  
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104829>
- Morgavi, D. P., Forano, E., Martin, C., Newbold, C. J., 2010. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, v. 4, n. 7, p. 1024–1036.  
<https://10.1017/S1751731110000546>.
- Myers W. D., Ludden P. A., Nayigihugu V., Hess B. W., 2004. Technical Note: A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *J. Anim. Sci.* 82(1):179–183. <https://doi.org/10.2527/2004.821179x>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016. *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council - NRC., 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7.rev.ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Oliveira, D. M., Ladeira, M. M., Chizzotti, M. L., Machado Neto, O. R., Ramos, E. M., Gonçalves, T. M., Bassi, M. S., Lanna, D. P. D., Ribeiro, J. S., 2011. Fatty acid profile and qualitative characteristics of meat from zebu steers fed with different oilseeds<sup>1</sup>. *J. Anim. Sci.*, 89(8), 2546–2555. <https://10.2527/jas.2010-3553>.
- Oliveira, M. A., Reis, R. B., Ladeira, M. M., Ribeiro, C. V. D. M., Lopes, L. S., Franco, G. L., Oliveira, R. L., 2012. Fatty acids profile of milk from cows fed different maize silage levels and extruded soybeans. *Rev. Bras. Saude. Prod. Anim.*, v. 13, n. 1, p. 192–203. ISSN: 1519-9940.
- Oliveira, E. R., Monção, F. P., Goés, R. H. T. B., Gabriel, A. M. A., Paz, I. C. L. A., Naas,

- I. A., Santos, R. C., Moura, L. V., 2014. Bioprodutos do cerrado: Alternativas alimentares na redução da emissão de metano em bovinos—estudo de caso. *Agrarian*, v. 7, n. 24, p. 369-381. ISSN: 1984-2538.
- Oliveira, P. R. O., Oliveira, M. V. M., Bonin, M. N., Avalo, S. P., Cancio, P. F., Nascimento, J. D., Ferraz, A. L. J., Surita, L. M. A., Piazzon, C. J., Galhardo, A. G., Oliveira, D. M., 2021. Carcass and meat characteristics of feedlot finished nelore cattle and their crossbreeds in the Brazilian Pantanal. *Livest. Sci*, v. 244, p. 104360. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104360>.
- Palmquist, D. L., Lock, A. L., Shingfield, K. J., Bauman, D. E., 2005. Biosynthesis of Conjugated Linoleic Acid in Ruminants and Humans. *Adv. Food Nutr. Res.*, v. 50, n. 05, p. 179–217. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(05\)50006-8](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(05)50006-8).
- Palmquist, D. L., Mattos, W. R. S., 2011. Metabolismo de lipídeos. In: Berchieli, T.T.; Pires, A.V.; Oliveira, S.G. (Ed.). *Nutrição de ruminantes*. 2. ed. p.299-322. Jaboticabal: Funep.
- Perini, J. Â. De L., Stevanato, F. B., Sargi, S. C., Visentainer, J. E. L., Dalalio, M. M. De O., Matshushita, M., De Souza, N. E., 2010. Ácidos graxos poli-insaturados n-3 e n-6: Metabolismo em mamíferos e resposta imune. *Rev. de Nutr.*, v. 23, n. 6, p. 1075–1086. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732010000600013>.
- Pitchford, W.S., Deland, M.P.B., Siebert, B.D., Malau-Aduliand, A.E.O., Bottema, C.D.K., 2002. Genetic variation in fatness and fatty acid composition of crossbred cattle. *J. Anim. Sci.* 80 (11), 2825–2832. <https://doi.org/10.2527/2002.80112825x>.
- Ponnampalam, E. N.; Hopkins, D. L.; Jacobs, J. L. Increasing omega-3 levels in meat from ruminants under pasture-based systems. *Revue Sci. Tech.* (International Office



of Epizootics), v. 37, n. 1, p. 57–70, 2018. <https://10.20506/rst.37.1.2740>.

Primavesi, O., Frighetto, R. T. S., Pedreira, M. S., Lima, M. A., Berchielli, T. T., Demarchi, J. J. A. A., Manella, M. W., Barbosa, P. F., Johnson, K. A., 2004. SF6 tracer gas technique for field measurement of ruminal methane in cattle: adaptations for Brazil. Brazilian Agricultural Research Corporation Southeast Livestock Documents (INFOTECA-E).

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Renna, M., Brugiapaglia, A., Zanardi, E., Destefanis, G., Prandini, A., Moschini, M., Sigolo, S., Lussiana, C., 2019. Fatty acid profile, meat quality and flavour acceptability of beef from double-muscled Piemontese young bulls fed ground flaxseed. *Ital. J. Anim. Sci.*, 18(1), 355–365. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1530958>.

Rossato, L. V., Bressan, M. C., Rodrigues, É. C., Gama, L. T. da, Bessa, R. J. B., Alves, S. P. A., 2010. Physicochemical parameters and fatty acid profiles in Angus and Nellore cattle finished on pasture. *Rev. Bras. Zootec.*, 39(5), 1127–1134. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982010000500025>.

Silva, R. A., Fiorentini, G., Messana, J. D., Lage, J. F., Castagnino, P. S. San Vito, E., Casvalho, P. C., Berchielli, T. T., 2018. Effects of different forms of soybean lipids on enteric methane emission, performance and meat quality of feedlot Nellore. *J Agric Sci*, v. 156, n. 3, p. 427–436. <https://doi.org/10.1017/S002185961800045X>.

Surette, M. E., 2008. The science behind dietary omega-3 fatty acids. *CMA*, 177, v. 178,

n. 1, p. 150–157. <https://doi.org/10.1503/cmaj.071356>.

Vahmani, P., Ponnampalam, E. N., Kraft, J., Mapiye, C., Bermingham, E. N., Watkins, P. J., Proctor, S. D., Dugan, M. E. R., 2020. Bioactivity and health effects of ruminant meat lipids. Invited Review. *Meat Sci.*, 165(March), 108114. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108114>.

Valadares Filho S. C., Marcondes M. I., Chizzotti M. L., Paulino P. V. R., 2010. Exigências nutricionais de puros e cruzados – BR-CORTE. Viçosa: Suprema. 193p.

Wood, J. D., Enser M., Fisher A. V., Nute G. R., Sheard P. R., Richardson R. I., Hughes S. I., Whittington F. M., 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat sci.*, 78(4), 343-358. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>.

Woollett, L. A., Spady, D. K., Dietschy, J. M., 1992. Saturated and unsaturated fatty acids independently regulate low density lipoprotein receptor activity and production rate. *J. Lipid. Res.*, 33(1), 77–88. [https://doi.org/10.1016/s0022-2275\(20\)41885-1](https://doi.org/10.1016/s0022-2275(20)41885-1).

**CAPÍTULO 3 – ARTIGO 2****Aged beef quality and fatty acid profile of subcutaneous fat from Nelore and Nelore x Angus crossbred young bulls finished in the feedlot with a high-lipid diet**

Bárbara Martins Rodrigues<sup>1\*</sup>, Ramon Costa Alvarenga<sup>2</sup>, Dante Pazzanese Duarte Lanna<sup>3</sup>, Afonso de Liguori Oliveira<sup>4</sup>, Caroline Ceribeli<sup>5</sup>, Banny Silva Barbosa Correia<sup>5</sup>, Daniel Rodrigues Cardoso<sup>5</sup>, Fernando Antônio de Souza<sup>1</sup>, Leandro Sâmia Lopes<sup>1</sup>

1 Federal University of Minas Gerais, Veterinary School, Department of Animal Science, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.;

2 Brazilian Agricultural Research Corporation Maize & Sorghum, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brazil.;

3 Federal University of Minas Gerais, Veterinary School, Department of Technology and Inspection of Animal Products, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.;

4 University of São Paulo, Department of Animal Science, Piracicaba, São Paulo, Brazil.;

5 University of São Paulo, Institute of Chemistry, São Carlos, São Paulo, Brazil.

\* Corresponding author

**Corresponding author:**

Bárbara Martins Rodrigues,

Federal University of Minas Gerais, Veterinary School, Department of Animal Science, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.

Email: barbararodrigues.zootecnista@gmail.com

## ABSTRACT

This study investigated the effects of aging time (1, 14, 28, and 42 days) on beef quality, the chemical composition of *longissimus thoracis* (LT) muscle, and the fatty acid profile of subcutaneous fat of Nellore and Nellore x Angus young bulls finished in the feedlot with a high-lipid diet. Animals were sourced from the same breeding season and endured a grazing growing phase in *Megathyrus maximus* cv. Mombaça pasture, with protein and energy supplement offered at 0.2% of body weight (BW). The feedlot phase comprehended 105 days of feed, and the diet (80% concentrate) was formulated to meet or safely exceed the beef cattle requirements to target an average daily gain (ADG) of 1.6 kg/day. No difference was observed for total loss, drip loss, and cooking loss between genetic groups ( $P > 0.05$ ). A gradual increase in lipid oxidation was observed as a function of time ( $P < 0.01$ ) for both TBARS in the *longissimus thoracis* muscle and subcutaneous fat, especially at 42 days of aging time. Shear force was influenced by breed and aging time ( $P < 0.01$ ), in which Nellore animals presented higher values. There was a significant interaction between aging time and  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$ , and  $h^*$  parameters ( $P < 0.01$ ). The crossbred animals had a higher ( $P < 0.01$ ) concentration of collagen, and Nellore had higher values of moisture in their LT muscle ( $P < 0.01$ ). Nellore animals had higher concentrations of polyunsaturated fatty acids (PUFA) and conjugated linoleic acid (CLA). Shear force, collagen concentration, and moisture of meat were affected by breeds, while the aging time affected lipid oxidation, shear force, and color parameters of meat. Different breeds and a diet with high-lipid content can modify the FA profile of subcutaneous fat.

**Keywords:** Beef aging; Chemical composition; Crossbreeding; Polyunsaturated fatty acids; Soybean; Tenderness.

## 1. Introduction

In the various market segments, both internal and external, some consumers are increasingly demanding about the quality of the meat produced and consumed. Thus, the improvement of beef cattle farming in Brazil, especially when it comes to herd genetics, has been a growing interest in the agricultural sector.

The crossbred between *Bos indicus* and *Bos taurus* animals is an important strategy to produce animals that aggregate the main characteristics of these distinct genetic groups. It is well known that *Bos taurus* animals have more tender meat compared to *Bos indicus* animals. Thus, the crossbred between Nellore and taurine breeds, such as Aberdeen Angus, makes it possible to associate the rusticity of zebu with the productivity of the Europeans, obtaining animals with higher carcass and cut yields, and better-quality beef.

According to Façanha et al. (2014), the crossbred result in heavier progenies with better carcass characteristics. Furthermore, consumers prefer meats that have certain desirable degrees of tenderness, marbling, juiciness, and flavor (Elzo et al., 2012).

In addition to improvements in genetics, meat aging is another strategy used to enhance its tenderness and flavor. The process consists of vacuum packaging the meat (wet-aged) and keeping it refrigerated for certain periods which can vary from 3 to 90 days. Increased tenderness is caused by the long-term activity of enzymes (calpain system) that cause proteolysis of myofibrils, and connective tissue proteins (Kahraman and Gürbüz, 2018). This process can reduce shear force, which increases the acceptability and add value to the final product.

However, a lack of oxygen results in meat with a darker color, a characteristic of deoxymyoglobin, which makes a product less attractive to consumers (Troy and Kerry, 2010). In addition, one of the most important changes that occur during aging, which can

affect the color, aroma, flavor, texture, and even the nutritional value of meat, is lipid oxidation (Ladeira et al., 2014).

Currently, there is a continuous concern on the part of consumers regarding the intake of fats, mainly from beef, due to its associations with the incidence of cardiovascular diseases. The reason is mainly due to the presence of saturated fatty acids (SFA) in fat, which causes an increase in serum levels of low-density lipoprotein (LDL) and total cholesterol. Although, recent studies have concluded that there is no association between the consumption of beef with an increase in cardiovascular diseases and cancers (McAfee et al., 2010; Yamagishi et al., 2010; Lawrence, 2013; Oliveira and Pitchel, 2013; Vahmani et al., 2015, 2020). Also, some fatty acids (FA) have a beneficial role in human health and can prevent cardiovascular disease incidence. Among them, conjugated linoleic acid (CLA), widely studied, has an inhibitory role in atherosclerosis development and owns anticarcinogenic properties (Gebauer et al., 2011).

In this way, the meat industry must find the best alternatives to improve meat tenderness, through aging, with the least loss of color and lipid stability, and also with a better FA profile in fat. Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of different beef aging times (1, 14, 28, and 42 days) on the shear force, color stability, lipid oxidation, chemical composition, and FA profile in the subcutaneous fat of beef from Nellore and Nellore x Angus animals finished in the feedlot with a high-lipid diet.

## **2. Materials and Methods**

### *2.1. Treatment, experimental design, and feedlot management*

The Ethics Committee approved all experimental procedures for Animal Use of the Federal University of Minas Gerais (UFMG, protocol number 71/2019).

At the beginning of the trial, 20-month-old young bulls were divided into two groups according to their breed composition as follows: Nellore (initial body weight

(IBW) =  $450 \pm 47$  kg, n = 25) and Nellore x Angus crossbred (IBW =  $501.5 \pm 45.5$  kg, n = 25). The crossbred animals were obtained through Angus sires mated with Nellore dams, and the animals belonged to different herds. The animals were weighed after 16-hour of water and feed fasting to obtain the IBW. The animals came from the same breeding season, and before the feedlot, they stayed on a pasture of *Megathyrus maximus* cv. Mombaça, with protein and energy supplement intake by 0.2% of BW.

In the feedlot, the animals were divided into groups following their breed composition. They were allocated into two collective pens measuring 20 x 24 m, equipped with feed lanes and drinkers. All animals were drenched with an anthelmintic agent prior to the start of the feedlot.

The feedlot period was 126 days, and the animals were adapted to facilities and the experimental diets during the first 21 days. The diet was formulated using the Maximum Profit Ration® software for an average daily gain (ADG) of 1.6 kg/day. Initially, 50% of sorghum silage and 50% of concentrate diet were supplied, and the amount of concentrate was increased every week until the ratio of roughage: concentrate was 20:80 (DM basis) (Table 1). The soybean used in the concentrate was grounded and passed through a 5 mm mesh to increase the lipid ruminal availability. The animals were fed three times per day – at 07:00, 11:00, and 16:00 h. The diet was adjusted daily to maintain 5 to 10% refusals.

**Table 1.** Ingredients and chemical composition and fatty acid profile of the experimental diet.

Ingredients	Composition (% DM.)
Sorghum silage	20.0

Ground corn grain	57.6
Ground soybean grain	20.4
Mineral mix	2.0
Nutrients	
Dry matter	66.7
Organic matter	94.7
Crude protein	15.6
Ether extract	7.3
Neutral detergent fiber	23.1
Ash	5.2
Non-fibrous carbohydrates	51.5
Total digestible nutrients (TDN)*	82.8
Fatty acid profile (g/ 100 g of FA)	
Myristic (C14:0)	0.4
Palmitic (C16:0)	13.7
Stearic (C18:0)	4.5
Oleic (C18:1 c-9)	19.9
Linoleic (C18:2 n-6)	49.1
$\alpha$ -linolenic (C18:3 n-3)	8.3

\* Calculated according to the NRC 2001.

#### 2.4. Slaughter and carcass traits

Before being taken to the slaughterhouse, the animals were weighed after 16-hour water and food fast to obtain the final body weight (FBW). The FBW was  $605 \pm 73$  kg and  $720.5 \pm 65$  kg for Nellore and crossbred animals, respectively. The animals were sent to the commercial slaughterhouse, where they were kept fasting for 24 hours with only *ad libitum* water access. The slaughter was conducted according to humanitarian procedures required by Brazilian legislation, following the official rules of RIISPOA (Brazil, 1997).

#### 2.5. Meat sample and analysis



*The longissimus thoracis* (LT) muscle samples were collected between the 11th and 13th ribs after 24 hours *post-mortem*. Five steaks were removed and sectioned in the transversal direction of the muscle. Four steaks (2.5 cm thick) of each animal were aged for 1, 14, 28, and 42 days and subjected to color analysis, cooking loss, shear force, and lipid oxidation (TBARS) in intramuscular and subcutaneous fat. One steak (1.0 cm thick) was subjected to chemical composition. The subcutaneous tissue was obtained between the 11th and 13th ribs to determine the fatty acid profile.

### 2.5.1 Aging

The steaks were packaged and identified in polyethylene bags of high vacuum resistance at a constant temperature of 2°C, in Bio-Chemical Oxygen Demand incubator MA 415 (Marconi Equipamentos Ltda., Piracicaba, Brazil), being the three steaks of each animal randomly distributed in the three evaluation periods.

### 2.5.2 Color

The CIE determination L\*, a\*, and b\* were performed after removing the steaks from the packaging and exposing them for 30 minutes to atmospheric air for oxygenation of the myoglobin. A Chroma-Meter Cr-200b colorimeter, illuminant D65, 10° for standard observation, calibrated to a white standard was used. Six readings were made per sample as a way to represent the entire surface of the steaks.

The determinations of values for chroma (c\*), and hue angle (h\*) were made according to MacDougall (1994), using the coordinates L\*, a\*, and b\* obtained in colorimetric determinations, with the following formulas:

$$c^* = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{0.5}$$

$$h^* = \arctan (b^*/a^*)$$

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{0.5}$$

### 2.5.3 Cooking loss

To determine the cooking loss, steaks were weighed and grilled at 160-180°C until they reached an internal temperature of 71°C (Amsa, 1995) monitored by a digital thermometer inserted into their geometric centers. Subsequently, each steak was conditioned to room temperature, and after temperature stabilization, the steak was weighed, and the result was expressed in a percentage.

### 2.5.4 Shear force

According to the Warner-Bratzler Square Shear Force described by Silva et al. (2015), a shear force was obtained in the same samples used for cooking loss. Eight core samples with 1.0 x 1.0 x 2.5 cm were obtained from each steak in the muscle fiber direction. The core was sheared entirely perpendicularly to the muscle fibers with a Warner-Bratzler blade of 1.016 mm at a speed of 200 mm/min coupled MTA.TX.plus texture meter. The maximum force (N) was measured, and the average value was calculated for each steak.

### 2.5.5. Lipid oxidation - Thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS)

TBARS was performed according to Witte (1970) and Rosmini *et al.* (1996) and adapted by Bueno (2008). Two grams of ground beef and subcutaneous fat from each aging time were homogenized separately with 0.5 mL of 0.2% butylated hydroxytoluene, and 5.0 ml of 10% trichloroacetic acid (TCA). Homogenates were filtered (Munktell, 00K) into clean glass tubes. Afterward, 1.0 ml of filtrate was transferred into separate screw cap glass tubes, and 5 mL of 0.02 M thiobarbituric acid (TBA) was added. Subsequently, the test tubes were kept in a boiling water bath for 35 min. The absorbance

was measured at 530 nm in a spectrophotometer and multiplied by 7.8 to obtain the TBARS value, expressed as mg malonaldehyde/kg of meat.

#### *2.5.6. Chemical composition*

The samples were ground and homogenized using the method 2007.04 (A. O. A. C, 2012). Collagen, protein, ether extract, moisture, and mineral were obtained using the FOSS FoodScan™ Near Infrared Spectrophotometer (NIR) with an artificial neural network calibration model and associated database.

#### *2.5.7. Fatty acid profile*

After collection, the samples were identified and stored at -18 °C in individual packages. Then, they were thawed at a refrigerated temperature (5°C) for 12 hours and subjected to cleaning to perform lipid extraction. The FA extraction was performed according to the methodology described by Folch et al. (1957).

The FA profile determination followed the procedures established by Hartman and Lago (1973). A 5 ml sample of the lipid extract was concentrated in a water bath at 45 °C, with gaseous nitrogen, proceeding to saponification with a sodium hydroxide solution in 0.5 M methanol, followed by methylation with ammonium chloride, methanol, and sulfuric acid.

After methylation, 5 ml of hexane was added and stirred for 10 seconds to separate the esterified FA. Then, 3 ml of the supernatant (hexane and methylated fatty acids) were removed and concentrated again in a water bath at 45°C, with gaseous nitrogen. At the time of injection, this extract was diluted with 1 ml of hexane, and 1 µl of this solution was injected in a gas chromatograph with a flame ionization detector (GC 2010, Shimadzu, Kyoto, Japan), equipped with a capillary column SP 2560 (100 m x 0.25 mm x 0.20 µm) (Supelco, Bellefonte, PA).

The chromatographic conditions were as follows: the oven was maintained at 70 °C for 4 min, and the temperature was increased from 13 °C/min to 175 °C, which was held for 27 min; increased at 4 °C/min to 215 °C, and maintenance for 9 min; increased at 7 °C/min to 230 °C, and maintenance for 5 min. The injector temperature was 250 °C, and the detector temperature was 300 °C.

Several FA were identified by comparison with retention times shown by the C4:0 to C24:0 chromatographic standard 0 (Supelco – TM37 Component FAME Mix, 100 mg Neat). FA concentrations were determined by the peak areas shown in the chromatogram for each acid concerning FA total area, and a FA percentage was obtained through Chromquest 4.1 software (Thermo Electron, Italy).

The activities of the enzymes  $\Delta^9$  desaturase 16,  $\Delta^9$  desaturase 18, and elongase were determined, according to Malau-Aduli et al. (1997), Kazala et al. (1999), and Pitchford et al. (2002), through mathematical indexes:

$$\Delta^9 \text{ desaturase 16} = 100 [(C16:1 \text{ cis-9}) / (C16:1 \text{ cis-9} + C16:0)]$$

$$\Delta^9 \text{ desaturase 18} = 100 [(C18:1 \text{ cis-9}) / (C18:1 \text{ cis-9} + C18:0)]$$

$$\text{Elongase} = 100 [(C18:0 + C18:1 \text{ cis-9}) / (C16:0 + C16:1 \text{ cis-9} + C18:0 + C18:1 \text{ cis-9})]$$

The atherogenicity index (AI) was calculated using the equation proposed by Ulbricht and Southgate (1991) as an indicator of the risk of cardiovascular disease:

$$\text{AI} = [(C12:0) + (4 \times C14:0) + (C16:0)] / (\sum n-6 + \sum n-3 + \text{MUFA}).$$

The thrombogenicity index (TI) was calculated using the equation proposed by Ulbricht and Southgate (1991) as an indicator for the onset of coronary thrombosis:

$$\text{TI} = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / [(0.5 \times \sum \text{MUFA}) + (0.5 \times \sum n-6) + (3 \times \sum n-3) + (\sum n-3 / \sum n-6)].$$

## 2.6. Statistical analysis

All analyzes were performed using the statistical analysis software R (R CORE TEAM, 2021). The effect of breed on carcass traits, centesimal composition, fatty acid profile, and  $\Delta E$  was evaluated using the completely randomized design one-way.

For color characteristics ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$ ,  $h^*$ ), losses, TBARS, and shear force measured on days 1, 14, 28, and 42, were evaluated using the repeated measures in time according to (Pinheiro and Bates, 2000). The Tukey test was used to compare the averages of breed, time, and breed x time interaction. The breed effect was compared by the F test ( $p < 0.05$ ).

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Total loss, drip loss, cooking loss, TBARS, shear force, and color traits

The means of total loss, drip loss, cooking loss, lipid oxidation (TBARS) values of intramuscular fat and subcutaneous fat, shear force, lightness index, redness, yellowness, chroma index, and hue angle are presented in Table 2. No differences were observed for total loss, drip loss, and cooking loss ( $P > 0.05$ ).

**Table 2.** Total loss, drip loss, cooking loss, TBARS of intramuscular fat and subcutaneous fat, shear force, and color traits present in LT muscle of Nellore and Nellore x Angus crossbred young bulls finished in feedlot, after 1, 14, 28, and 42 days of aging time

Item	Nellore				Nellore x Angus				SE M	Breed (B)	Time (T)	B x T
	1	14	28	42	1	14	28	42				
Total loss (%)	26.4	28.2	27.5	26.8	28.0	28.1	28.5	29.5	1.08	0.18	0.71	0.55
Drip loss (%)	1.83	1.50	1.60	1.68	2.77	2.59	2.80	2.76	0.29	0.18	0.71	0.55
Cooking loss (%)	24.6	26.4	25.9	25.1	25.2	25.6	25.7	26.6	1.00	0.75	0.62	0.62

TBARS LT muscle	0.66	0.71	0.81	1.04	0.64	0.75	0.89	1.11	0.06	0.34	< 0.01	0.88
TBARS subcutaneous fat	0.76	0.81	1.20	2.97	0.93	1.05	1.08	3.21	0.09	0.03	< 0.01	0.20
Shear force (N)	7.06	5.79	4.86	4.48	6.67	4.84	4.57	4.24	0.20	< 0.01	< 0.01	0.18
Lightness (L*)	41.7	42.9	44.7	43.1	42.1	43.4	45.7	43.8	0.53	0.11	< 0.01	0.95
Redness (a*)	13.0	15.2	13.9	15.3	12.3	14.7	15.0	15.1	0.53	0.82	< 0.01	0.25
Yellowness (b*)	6.18	8.03	6.8	7.91	5.57	7.42	7.53	7.71	0.38	0.62	< 0.01	0.18
Chroma (c*)	14.4	17.2	15.5	17.3	13.5	16.5	16.8	17.0	0.64	0.76	< 0.01	0.22
Hue angle (h*)	25.1	27.7	25.7	27.1	24.3	25.6	26.6	27.0	0.62	0.62	< 0.01	0.19

Cooking loss occurs during cooking, through water diffusion, evaporation from the surface of the meat, and a physical outflow of water, caused by constriction of muscle bundles during cooking (Offer et al., 1989). The cooking loss might be related to cooking methods, temperature, storage time, and moisture content of the meat (Gök et al., 2019). Furthermore, according to Bejerholm and Aaslyng (2003), less cooking loss results in meat with greater juiciness.

Similar results were obtained by Monteiro et al. (2022), who did not find differences between breeds (Nellore and Nellore x Angus) or aging time for cooking loss ( $P > 0.05$ ). Teixeira et al. (2022), did not find differences ( $P = 0.80$ ) in cooking loss between genetic groups (Nellore and Angus), however, the authors observed a quadratic effect of aging time on cooking loss, with a greater loss at 17 days ( $P < 0.01$ ).

A gradual increase in lipid oxidation was observed as a function of time ( $P < 0.01$ ) for both TBARS in the LT muscle and subcutaneous fat. The highest values were observed at 42 days of aging time, followed by 28, 14, and 0 days. Breed influence was also observed ( $P = 0.03$ ) for TBARS on subcutaneous fat, in which Nellore x Angus animals presented higher values.

According to Amaral et al. (2018), lipid oxidation in meat is a process whereby polyunsaturated fatty acids (PUFA) react with reactive oxygen species leading to a series of secondary reactions which lead to the degradation of lipids and the development of oxidative rancidity and meat discoloration.

TBARS estimates the formation of reactive by-products of lipid oxidation, such as aldehydes, which form covalent bonds with myoglobin, accelerating heme oxidation and subsequent meat discoloration. According to Amaral et al. (2018), meat from animals supplemented with diets enriched in PUFA is more susceptible to lipid oxidation and discoloration, as they oxidize faster. In the present study, the diet used was rich in PUFA, which likely contributed to our results.

Oliveira et al. (2011), also found an increase in lipid oxidation in beef from zebu steers receiving a diet added of ground oilseed sources, after 25 days of aging. At 50 days of aging, the authors observed 0.6 mg malonaldehyde/kg of meat, which can be considered low concerning the values obtained in our study.

Campo et al. (2006), reported that TBARS values of around 2.0 mg of malonaldehyde/kg can be considered the limit for the acceptability of oxidized beef. In our study, regarding the subcutaneous fat, the TBARS values obtained for both genetic groups at 42 days of aging, were above the values previously mentioned, which could lead to meat being less accepted by consumers.

Shear force was influenced by breed and aging time ( $P < 0.01$ ). The aging time provided a decrease in shear force values, which shows the effectiveness of aging to improve the qualitative attributes of meat. Our results demonstrate that the meat from the crossbred animals was more tender, however, both breeds showed shear force above the acceptable range of tenderness.

Shackelford et al. (1991) reported that to be considered tender, meat must have shear force values below 4.6 kg/cm<sup>2</sup>. It can be observed that at 28 and 42 days of aging time, the crossbred animals had shear force values close to those mentioned above, while Nellore animals presented acceptable values at 42 days. Nonetheless, it is important to state that, as previously demonstrated, lipid oxidation increases along aging time, being higher at 42 days, which could affect the meat quality.

During the *post-mortem*, the action of proteolytic enzymes, such as calpain and calpastatin, is important to meat quality, mainly because they affect tenderness. Calpain degrades myofibrillar proteins, and calpastatin is an endogenous inhibitor of calpains. Numerous isoforms of the enzyme calpain and calpastatin form the calpain system (Lonergan et al., 2010). Alves, et al. (2005), stated that the meat aging process can benefit tenderness through the action of these enzymes.

The decrease in proteolysis by the activity of calpastatin can result in less tender meat and, consequently, higher shear force. According to Whipple et al. (1990), *Bos indicus* animals have lower levels of calpain and higher levels of calpastatin, which results in decreased meat tenderness. Also, the authors reported a relationship between the activity of the calpastatin enzyme and shear force.

For both breeds, the greater value of L\* was observed at 28 days of aging ( $P < 0.01$ ). An increase in L\* parameters over aging time, as in this study, was also observed by Vitale et al. (2014), Aroeira et al. (2017), and Monteiro et al., (2022). The increase in L\* values as a function of aging time is associated with reduced mitochondrial respiratory activity, which provides greater oxygenation of the myoglobin molecule, resulting in oxymyoglobin formation (Monteiro et al., 2022).

There was a significant interaction between aging time and a\*, b\* c\*, and h\* parameters ( $P < 0.01$ ). Regarding the days of aging, day 42 presented the highest value

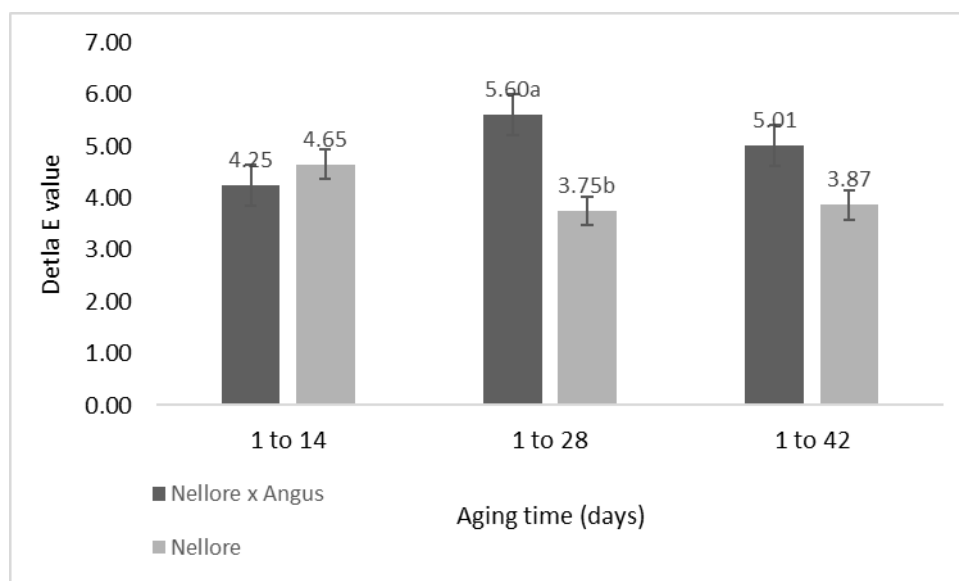


of  $a^*$ ,  $b^*$ , and  $c^*$  compared to days 1, and 28. Regarding  $h^*$  parameters, the highest values were observed on days 1 and 14, followed by days 42 and 28.

The surface color of the muscle is determined mainly by the amount and redox state of myoglobin, and aging may increase sarcolemma permeability to myoglobin with greater accessibility of oxygen, which makes meat redder (Marino et al., 2014).

Andrade et al. (2014) studied Nellore x Angus animals and observed an increase ( $P < 0.01$ ) in the value of  $L^*$ , and  $a^*$ , due to the aging process (0, 14, and 28 days). Monteiro et al. (2022) found differences between breeds when studying three aging times (1, 28, and 24 days). In their study, Nellore animals showed higher values of  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$ , and  $h^*$  than Nellore x Angus animals at days 21 and 42 of aging time ( $P < 0.01$ ). According to the authors, the higher values of  $a^*$  and  $b^*$  presented by Nellore animals could be related to the lower stability demonstrated over the aging time due to increased metmyoglobin accumulation.

Regarding the global color changes ( $\Delta E$ ), a difference ( $P = 0.03$ ) was observed between 1 and 28 days of aging time (Figure 1). The meat from Nellore x Angus animals had a higher  $\Delta E_{1-28}$  compared to Nellore.



**Figure 1.** Global color changes ( $\Delta E_{1-21}$  and  $\Delta E_{1-42}$ ) of the LT muscle of Nellore and Nellore x Angus crossbred young bulls finished in the feedlot. "a" and "b" indicate differences among breeds for  $\Delta E$  measured between days 1 and 28 ( $P = 0.03$ ).

The  $\Delta E$  parameters are evaluated by the differences in color coordinates between the estimated storage time and the initial evaluation time. This color difference corresponds to values or indices of alterations.

Prändl et al. (1994) presented an interpretation scale for global color changes.  $\Delta E$  values between 0 - 0.2 correspond to imperceptible changes to the human eye; 0.2 - 0.5 very barely noticeable; 0.5 - 1.5 barely noticeable; 1.5 - 3.0 evident perceptions; 3.0 - 6.0 very evident perceptions; 6 - 12 quite clear perception; 12 - 14 easily noticeable. Based on the values obtained in this study, the  $\Delta E$  of meat from both genetic groups had very evident perceptions for all aging time. Even with the difference observed in the first 28 days of aging time, the color change can be identified by human eyes, in both genetic groups.

Andrade et al. (2010) observed  $\Delta E$  averages for Nellore and  $\frac{3}{4}$  *Bos taurus*  $\frac{1}{4}$  *Bos indicus* meats were similar ( $P > 0.05$ ), however, when comparing the averages of global changes over aging time, they found that  $\Delta E_{1-7}$  differed ( $P < 0.05$ ) from  $\Delta E_{1-14}$  (3.37 vs. 11.95), which was similar ( $P > 0.05$ ) to  $\Delta E_{1-21}$  (12.81). Different results were obtained by Monteiro et al. (2022), which observed that meat from Nellore animals showed higher  $\Delta E_{1-21}$  than Nellore x Angus animals (4.13 vs. 2.68).

### 3.2. Chemical composition

Nellore x Angus animals had a higher ( $P < 0.01$ ) concentration of collagen in their LT muscle compared to Nellore (1.8% vs. 1.3%). On the contrary, Nellore had higher

values of moisture than the crossbred animals (71.4% vs. 69.8%). No significant differences were observed between breeds for the content of protein, ether extract, and minerals ( $P > 0.05$ ).

**Table 3.** Chemical composition (%) in LT muscle of Nellore and Nellore x Angus crossbred young bulls finished in the feedlot with high-lipid diets.

Item	Nellore	Nellore x Angus	SEM	P-value
Collagen	1.3	1.8	0.08	< 0.01
Protein	25.2	25.5	0.33	0.42
Ether extract	1.9	2.2	0.20	0.35
Moisture	71.4	69.8	0.34	< 0.01
Mineral	1.6	1.8	0.20	0.41

The differences in the collagen content of meat could be expected because it seems that variations in collagen are mainly related to breeding variations (Christensen et al., 2011). These authors analyzed fifteen European breeds and observed the content of collagen varying between 1.54 and 3.99 (mg/g wet tissue).

According to Roy et al. (2015), animals with a faster growth rate can have increased rates of protein turnover, including collagen synthesis that contains fewer intermolecular crosslinks, resulting in less stable collagen fibers with higher solubility resulting in meat with greater tenderness. This could be observed in the present study, as the crossbred animals had higher collagen content, but lower shear force.

Zebu breeds tend to have reduced meat tenderness due to the greater number of thermostable cross-links of collagen, in addition to the profile of the enzymes calpain and calpastatin (Prado et al., 2008; De Lima et al., 2011). However, Barcellos et al. (2017) and Martins et al. (2015), found no differences ( $P > 0.05$ ) in the intramuscular collagen content of meat from Angus, Nellore, and Nellore x Angus animals, finished in the feedlot at 22 and 20 months of age, respectively.

Muscle fibers consist of myofibrils which are composed of diverse proteins, such as actin and myosin (main proteins of the filaments) (Nishimura, 2015). According to Lawrie (2005), meat proteins are one of the most nutritionally important compounds and have high biological value due to the availability of essential amino acids. Also, they are important for the growth, development, and maintenance of the organism, in addition, to promoting immunity and preventing diseases in the human body (Bridi, 2014).

According to Lopes et al. (2012a), protein levels in meat are practically constant, which agrees with our results, and when the ether extract content is higher, the moisture tends to be lower and vice versa. However, it was not observed in the present study, since no difference was found for ether extract content.

Despite the crossbred animals tend to present beef with greater intramuscular fat (Façanha et al., 2014), both genetic groups had the same content of ether extract. This might be related to the same conditions in which these animals were studied, such as the finishing system, diet, age, and gender (Lopes et al., 2012a).

The moisture content of meat is an essential quality parameter, as it relates to the yield of the final product, and is also important for consumer acceptability, as it influences juiciness and tenderness (Isleroglu et al., 2015). Nellore animals had greater moisture content, although, it was demonstrated that the values of shear force were higher, which shows a less tender beef compared to the crossbred animals.

Rivaroli et al. (2016), did not observe differences in the chemical composition of the LT muscle from Nellore x Angus bulls finished in a feedlot with different diets (without the addition of essential oils, and with 3.5 or 7 g/animal/day of an essential oil blend). The averages found by the authors for moisture, mineral, protein, ether extract, and collagen were 73.86%, 1.52%, 22.78%, 2.96%, and 1.41%, respectively.

Similar results were found by Oliveira et al. (2021), who analyzed the chemical composition of the LT muscle from two genetic groups finished in feedlot. No differences were observed ( $P > 0.05$ ) in moisture content (72.5% vs. 73.5%), protein (24.6% vs. 24.1%), total lipids (1.7% vs. 1.6%) and mineral (1.2% vs. 1.3%) for Nellore and Nellore x Angus, respectively.

### 3.3. Fatty acid profile

No difference was observed in total fatty acid concentration in the subcutaneous fat ( $P = 0.65$ ). There was a significant difference in lauric acid and myristic acid concentrations between genetic groups ( $P < 0.01$ ). Nellore animals had the highest levels compared to the crossbred animals (0.08% vs. 0.06% and 3.60% vs. 2.82%). According to Micha and Mozaffarian (2010), lauric acid can promote an increase in LDL. However, it also affects the high-density lipoprotein (HDL), causing a decrease in total cholesterol: HDL.

**Table 5.** Concentrations of total fatty acid and fatty acid profile in the subcutaneous fat of Nellore and Nellore x Angus bulls finished in the feedlot with high-lipid diets.

Fatty Acid		Nellore	Nellore x Angus	SEM	P-value
Total fatty acids (g / 100 g tissue)		74.6	72.7	0.75	0.65
Saturated fatty acids (SFA)					
Lauric	C12:0	0.08	0.06	0.004	< 0.01
Myristic	C14:0	3.60	2.82	0.14	< 0.01
Pentadecanoic	C15:0	0.39	0.36	0.02	0.31
Palmitic	C16:0	21.7	22.3	0.50	0.38
Margaric	C17:0	0.61	0.93	0.05	< 0.01
Stearic	C18:0	13.1	14.3	0.80	0.31
Monounsaturated fatty acids (MUFA)					
Myristoleic	C14:1 ( <i>c-9</i> )	1.22	0.80	0.12	0.01
Palmitoleic	C16:1 ( <i>c-9</i> )	4.08	3.03	0.20	< 0.01
Heptadecenoic	C17:1	0.61	0.64	0.03	0.50

Oleic	C18:1 ( <i>c</i> -9)	42.7	43.5	0.69	0.36
Vaccenic	C18:1 ( <i>t</i> -11)	3.3	3.4	0.19	0.92
Sum of C18:1*	C18:1	3.7	3.7	0.08	0.86
Polyunsaturated fatty acids (PUFA)					
CLA – Rumenic acid	C18:2 ( <i>c</i> -9, <i>t</i> -11)	0.76	0.52	0.02	< 0.01
Linoleic	C18:2 (n-6)	1.82	1.58	0.09	0.05
$\alpha$ -linolenic	C18:3 (n-3)	0.32	0.27	0.01	< 0.01
Dihomo- $\gamma$ -linoleic	C20:3 (n-6)	0.01	0.02	0.002	< 0.01
Arachidonic	C20:4 (n-6)	0.02	0.01	0.003	0.28
Docosapentaenoic	C22:5 (n-3)	0.02	0.02	0.004	0.83

\*Sum of C18:1 *c*-11; C18:1 *c*-12; C18:1 *c*-13; C18:1 *c*-15; SEM, standard error of the mean.

*Bos indicus* animals may have greater concentrations of myristic acid compared to *Bos taurus* and their crosses, as they had a more significant thioesterase enzyme activity. This enzyme is involved in the synthesis of FA and is responsible for the hydrolysis of the thioester bond of the carbon chain (St John et al., 1991; Huerta-Leidenz et al., 1993; Bressan et al., 2011).

According to Fiorentini et al. (2018), FA chains with less than 16 carbons are generally elongated before being incorporated into muscle and adipose tissue through elongase enzyme action. It explains the low content of lauric acid observed in the subcutaneous fat.

There was no significant difference in palmitic and stearic acid concentrations between genetic groups. The consumption of palmitic acid does not significantly affect the total cholesterol: HDL ratio (Micha and Mozaffarian, 2010). Also, in the human body, stearic acid is rapidly metabolized to oleic acid by the enzyme  $\Delta^9$  desaturase. Therefore, this acid is not associated with an increase in cholesterol (Machado Neto et al., 2014).

Machado Neto et al. (2014), evaluated different sources of lipid (ground soybean or ground cottonseed) in the diet of  $\frac{3}{4}$  *Bos taurus*  $\frac{1}{4}$  *Bos indicus* young bulls. The authors observed a higher concentration of palmitic acid in the subcutaneous fat of the animals fed cottonseed (26.4% vs. 24.5%). According to them, soybean has a greater

concentration of oleic and linoleic acids, and cottonseed has greater myristic, palmitic, and stearic acid concentrations.

Regarding margaric concentration, the crossbred animals had higher values in comparison to Nellore ( $P < 0.01$ ). Rumen microorganisms synthesize, through *de novo* synthesis, odd-chain fatty acids, such as margaric acid (Bonnet et al., 2007). Also, according to Duckett et al. (2017), subcutaneous fat contains margaric acid due to the incorporation of propionate instead of acetate in *de novo* fatty acid synthesis. Thus, it can be assumed that there was a greater synthesis of margaric acid in the crossbred animals.

There was a significant difference in myristoleic acid ( $P = 0.01$ ) and palmitoleic acid ( $P < 0.01$ ) concentrations between the genetic groups. Nellore animals had the highest concentrations, compared to the crossbred animals (1.22% vs. 0.80% and 4.08% vs. 3.03%).

When analyzed individually, oleic acid corresponds to practically 42% of the total proportion of FA. Nonetheless, no difference was observed ( $P > 0.05$ ) between the genetic groups. Rule et al. (1995) reported that the highest concentrations of oleic acid about palmitic acid are related to the conversion of palmitic acid into palmitoleic acid (desaturation process) and into oleic acid (elongation and desaturation process), even though palmitic acid is the end product of lipogenesis. According to Gilmore et al. (2011) and Lopes et al. (2014), oleic acid in its *cis* form has a hypocholesterolemic function and represents approximately 88% of the total MUFA.

Regarding vaccenic acid, no differences were observed ( $P > 0.05$ ) between the genetic groups. Vaccenic acid also plays an important role in the FA profile, as in addition to being a biohydrogenation product (an intermediary in the conversion of linoleic acid and  $\alpha$ -linolenic acid into stearic acid), it is desaturated in the intramuscular and

subcutaneous tissues for the synthesis of CLA through the action of the  $\Delta^9$  desaturase enzyme (Bressan et al., 2011, Rossato et al., 2010).

There was a difference between the concentration of CLA for Nellore and Nellore x Angus ( $P < 0.01$ ). Nellore animals had better values compared to the crossbred (0.76% vs. 0.52%). In recent years, several studies have demonstrated the benefits of CLA in human health, as CLA isomers are potent anticarcinogenic agents, act in reducing body fat deposition and in the development of atherosclerosis, have anti-diabetic effects, and provide improvement in bone mineralization and the immune system. The *cis-9, trans-11* CLA isomer (rumenic acid) is the main isomer found in bovine intramuscular and subcutaneous fat and represents about 80 to 90% of total CLA. Furthermore, CLA is only found in animal products and therefore ruminant fat is the richest natural source of these FAs (Gebauer et al., 2015; Vahmani et al., 2020).

The diet used in this study contained a high amount of ground whole soybean (rich in linoleic acid), which may have contributed to a lower ruminal biohydrogenation of FA, probably due to the high content of ether extract. According to Renna et al. (2019), the supply of oilseeds in concentrate-based diets may shift biohydrogenation away from pathways with intermediaries containing *trans-10* and *trans-11*.

Lopes et al. (2012b) evaluated the FA profile in the subcutaneous fat of animals  $\frac{3}{4}$  *Bos taurus* x  $\frac{1}{4}$  *Bos indicus* and Nellore and observed higher CLA concentration for the crossbred animals than Nellore (1.08 vs. 0.96%). Ladeira et al. (2014) found a CLA concentration of 0.41% in the subcutaneous fat of animals  $\frac{3}{4}$  *Bos taurus* and  $\frac{1}{4}$  *Bos indicus* fed with ground whole soybeans, values similar to those found in the present study. According to the authors, the incomplete biohydrogenation of LA in the rumen due to the soybean milling process can explain these results.



Nellore animals had higher concentrations of linoleic acid ( $P = 0.05$ ) compared to the crossbred animals (1.82% vs. 1.58%). The same was observed for  $\alpha$ -linolenic acid concentrations ( $P < 0.01$ ) (0.32% vs. 0.27%). A significant effect can be observed for dihomo- $\gamma$ -linoleic acid ( $P < 0.01$ ), and there was no difference between genetic groups ( $P > 0.05$ ) for arachidonic acid and docosapentaenoic acid. As linoleic acid is an essential FA, it is not synthesized by the animal organism, and its concentration in fat comes from the diet consumed by the animals.

As reported by Yang et al. (1999), Bartoň et al. (2007), and Rossato et al. (2009), PUFA presents several actions in the modulation of pathways that can influence cholesterol, such as a decrease in very-low-density lipoprotein (VLDL) that is a precursor to LDL and also by increasing the fluidity of cell membranes.

No difference was observed between breeds in the sum of SFA ( $P = 0.39$ ), UFA ( $P = 0.24$ ), MUFA ( $P = 0.55$ ), according to Table 5. Nellore animals had higher values ( $P < 0.01$ ) in the sum of PUFA, n-3, and n-6, and greater  $\Delta^9$  desaturase 16 enzyme activity.

**Table 6.** Sum and ratios of fatty acids and activities of desaturase and elongase enzymes, atherogenicity index, and thrombogenicity index in the subcutaneous fat of Nellore and Nellore x Angus bulls finished in the feedlot with high-lipid diets.

Fatty Acid	Nellore	Nellore x Angus	SEM	P-value
$\Sigma$ SFA	40.0	40.8	0.66	0.39
$\Sigma$ UFA	59.3	58.2	0.67	0.24
$\Sigma$ MUFA	56.3	55.8	0.67	0.55
$\Sigma$ PUFA	2.95	2.41	0.12	< 0.01
$\Sigma$ n-3	0.32	0.27	0.01	< 0.01
$\Sigma$ n-6	2.61	2.13	0.11	< 0.01
n-6/n-3	8.15	7.88	0.16	0.77
$\Delta^9$ Desaturase 16	15.7	11.9	0.51	< 0.01
$\Delta^9$ Desaturase 18	76.6	75.4	1.16	0.48
Elongase	68.4	69.5	0.89	0.41
Atherogenicity index	0.61	0.58	0.02	0.25
Thrombogenicity index	1.26	1.32	0.04	0.22

According to Di Marco et al. (2007), there is a predominance of UFA in beef, evidenced in both genetic groups. This result can be explained by the content of ether extract in the diet (7.3%) and the lipid source (rich in UFA). Furthermore, as reported by Jenkins et al. (2008) and Oliveira et al. (2008), the high content of concentrate in the diet (80%) may have contributed to a lower ruminal pH and a higher diet rate of passage through the rumen, which decreased the biohydrogenation of UFA with a consequent increase in the absorption of UFA in the small intestine.

Discrepancies in PUFA concentrations can be explained by genetic differences and diet composition in the expression of genes that influences the activity of enzymes involved in FA biosynthesis (Gruffat et al., 2013). Machado Neto et al. (2014) observed that feeding ground soybean or ground cottonseed during the finishing period increased the PUFA content of the subcutaneous fat from  $\frac{3}{4}$  *Bos taurus*  $\frac{1}{4}$  *Bos indicus* young bulls. Similar results were obtained by Barducci et al. (2016), who tested different lipid sources (cottonseed and protected fat) and found an increase in PUFA content of subcutaneous fat from Nellore animals.

Nellore presented 0.05% more in the concentration of n-3 than crossbred animals. The n-3 FA help prevents various diseases like arthritis, depression, cancer, and even Alzheimer's disease. The n-6 FA has some essential functions in blood pressure regulation and circulation to prevent inflammation and are constituents of cell membranes (Kim et al., 2016).

According to FAO and UN (2010), there are no recommendations for the n-6/n-3 ratio intake, as long as n-6 and n-3 are within the recommended. The consumption of PUFA should stay between 6 and 11%, with a total intake of n-3 varying between 0.5 to

2%, and the input of n-6 ranging between 2.5 to 9%. It is proposed that the consumption should be based mainly on the amount of n-3 present in the food, then on the proportion of n-6/n-3.

The result for  $\Delta^9$  Desaturase 16 enzyme activity corroborates those found in the FA profile since Nellore animals had higher palmitoleic acid concentrations. Conforming to Bressan et al. (2011), the differences between the genetic groups can explain 17 to 24% of the variation observed in the activity of the desaturase enzyme. In a study developed by the same authors, significant differences were observed between *Bos indicus* and *Bos taurus* animals, with superiority in *B. taurus* animals and, therefore, in the ability to convert SFA into MUFA. On the other hand, Fernandes et al. (2014) observed greater activity of the enzyme  $\Delta^9$  desaturase in Nellore animals, when compared to Canchim animals finished in feedlot.

There was no significant difference between the genetic groups and fat deposition sites for atherogenicity and thrombogenicity indexes ( $P > 0.05$ ). Although there is a difference between the concentrations of some FA used in the equations to determine these indices, such as myristic and palmitic acids, these differences were not enough to significantly differentiate the results.

Lopes et al. (2012b) did not find any difference in the atherogenicity index in subcutaneous fat between animals  $\frac{3}{4}$  *Bos taurus* x  $\frac{1}{4}$  *Bos indicus* and Nellore finished in feedlot. Fiorentini et al. (2018) observed different ( $P < 0.01$ ) atherogenicity indices in subcutaneous fat of Nellore animals receiving soybean, finished in two finishing systems (0.78% on feedlot vs. 0.70% on pasture).

Although meat has some FA capable of raising blood LDL, it is essential to note that approximately 70% of FA are stearic acid, MUFA, and PUFA, which are not fat sources potentially causative of cardiovascular diseases in humans. Also, it is emphasized

that meat is an ingredient of the human diet, and its consumption should not be taken into account only for the content of triglycerides but in the total amount of the diet consumed.

#### 4. Conclusion

Shear force, collagen concentration, and moisture of meat were affected by breeds, while the aging time affected lipid oxidation, shear force, and color parameters of meat.

Different breeds and a diet with high-lipid content can modify the FA profile of subcutaneous fat. Nellore produced beef with a better fatty acid profile, with increased CLA content.

#### References

- Alves, D. D., Goes, R. H. T. B., Mancio, A. B. (2005). Maciez da Carne Bovina. *Ciência Animal Brasileira*, 6(3), 135–149. <https://doi.org/10.22533/at.ed.616191504>.
- Amaral, A. B.; Solva, M. V. D; Lannes, S. C. D. S. (2018). Lipid oxidation in meat: Mechanisms and protective factors - a review. *Food Science Technology*, v. 38, p. 1–15. <https://doi.org/10.1590/fst.32518>.
- AMSA, 1995. Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of fresh meat. *American Meat Science Association* (AMSA), Chicago.
- Andrade, E. N., Polizel Neto, A., Roça, R. O., Faria, M. H., Resende, F. D., Siqueira, G. R., & Pinheiro, R. S. B. (2014). Beef quality of young Angus×Nellore cattle supplemented with rumen-protected lipids during rearing and fattening periods. *Meat Science*, 98(4), 591–598. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.05.028>.

AOAC (2012) Official Method of Analysis: Association of Analytical Chemists. 19th Edition, Washington DC, 121-130.

Aroeira, C. N., de Almeida Torres Filho, R., Fontes, P. R., de Lemos Souza Ramos, A., de Miranda Gomide, L. A., Ladeira, M. M., & Ramos, E. M. (2017). Effect of freezing prior to aging on myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nellore and Aberdeen Angus cattle. *Meat Science*, 125, 16–21.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.010>

Barcellos, V. C., Mottin, C., Passetti, R. A. C., Guerrero, A., Eiras, C. E., Prohmann, P. E. F., Vital, A. C. P., Prado, I. N. (2017). Carcass characteristics and sensorial evaluation of meat from Nellore steers and crossbred Angus vs. Nellore bulls. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 39(4), 437.  
<https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i4.36692>.

Barducci, R. S., Franzói, M. C. S., Sarti, L. M. N., Millen, D. D. Putarov, T. C., Perdigão, A., Martins, C. L., Arrigoni, M. D. B. (2016). Fatty acids and meat characteristics of feedlot Nellore cattle with different protected fat sources. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. v.68, n.1, p.233-242.

Bartoň, L., Marounek, M., Kudrna, V., Bureš, D., Zahradková, R. (2007). Growth performance and fatty acid profiles of intramuscular and subcutaneous fat from Limousin and Charolais heifers fed extruded linseed. *Meat Science*, 76(3), 517–523.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.01.005>.

Bejerholm, C., Aaslyng, M. D. (2004). Cooking. In Jensen, W. J., Devine, C. E., Dikeman, M. (Eds), *Encyclopedia of Meat Sciences*. p. 343-349. Academic Press, Oxford.

Bonnet, M., Faulconnier, Y., Leroux, C., Jurie, C., Cassar-Malek, I., Bauchart, D.,

- Boulesteix, P., Pethick, D., Hocquette, J. F., & Chilliard, Y. (2007). Glucose-6-phosphate dehydrogenase and leptin are related to marbling differences among Limousin and Angus or Japanese Black x Angus steers. *Journal of Animal Science*, 85(11), 2882–2894. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0062>.
- Bressan, M. C., Rossato, L. V., Rodrigues, E. C., Alves, S. P., Bessa, R. J. B., Ramos, E. M., Gama, L. T. (2011). Genotype × environment interactions for fatty acid profiles in *Bos indicus* and *Bos taurus* finished on pasture or grain. *Journal of Animal Science*, 89(1), 221–232. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2672>.
- Bridi, A. M. (2014). Consumo de carne bovina e saúde humana: convergências e divergências. *Bovinocultura de corte*, p. 1–15.
- Bueno, P.H.S. (2008). Efeitos da radiação gama e do tipo de embalagem sobre as características microbiológicas, físicoquímicas e sensoriais de peito de frango refrigerado. Dissertation. *Universidade Federal de Minas Gerais*, Escola de Veterinária. p.59.
- Campo, M. M., Nute, G. R., Hughes, S. I., Enser, M., Wood, J. D., & Richardson, R. I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72, 303-311. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.07.015>.
- Christensen, M., Ertbjerg, P., Failla, S., Sañudo, C., Richardson, R. I., Nute, G. R., Olleta, J. L., Panea, B., Albertí, P., Juárez, M., Hocquette, J. F., & Williams, J. L. (2011). Relationship between collagen characteristics, lipid content and raw and cooked texture of meat from young bulls of fifteen European breeds. *Meat Science*, 87(1), 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.09.003>..
- De Lima, D. M., Do Nascimento Rangel, A. H., Urbano, S. A., Do Vale MacIel, M., & De Araújo Amaro, L. P. (2011). Alguns aspectos qualitativos da carne bovina: uma

revisão. *Acta Veterinaria Brasilica*, 5(4), 351–358.

Di Marco, O.N.; Barcelos, J.O.; Costa, E.C. (2007) *Crescimento de bovinos de corte*.

Porto Alegre: NESPRO, 2007. 276p.

Duckett, S. K. (2017). Effects of nutrition and management practices on marbling deposition and composition. *University of Georgia*, Athens. Retrieved from [https://cabcattle.com/wp-content/uploads/NewsReleaseDocs/duckett\\_nutrition.pdf](https://cabcattle.com/wp-content/uploads/NewsReleaseDocs/duckett_nutrition.pdf).

Elzo, M. A., Johnson, D. D., Wasdin, J. G., & Driver, J. D. (2012). Carcass and meat palatability breed differences and heterosis effects in an Angus-Brahman multibreed population. *Meat Science*, 90(1), 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.06.010>.

Façanha, D. A. E., Leite, J. H. G. M., Queiroga, R. C. R. E., Costa, R. G., Garruti, D. S., Silva, T. L. S. (2014). Carcass and meet characteristics of very young Angus x Nelore steers in the Agreste Potiguar region. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 3, p. 612–619. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000300024>.

FAO-WHO. (2010). Fats and fatty acids in human nutrition. Rome: FAO Food and nutrition paper # 91. *Report of an expert consultation*. Geneva, November 10-14. <http://www.fao.org/3/a-i1953e.pdf> / Accessed 25 July 2022.

Fernandes, A. R. M., Sampaio, A. A. M., Oliveira, E. A., Pivaro, T. M., Henrique, W., Rosa, B. L., Osório, J. C. S., Osório, M. T. M. (2014). 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-ciencias Agrarias*, p. 467-475. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p467>.

- Fiorentini, G., Santana, M. O., Messana, J. D., Valente, A. L. S., Härter, C. J., Rabelo, C. H. S., Barbero, R. P., Lanna, D. P. D., Reis, R. A., Berchielli, T. T. (2018). Effect of lipid sources on fatty acid profiles of meat from pasture- and feedlot-finished Nellore bulls. *Livestock Science*, *211*, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.03.006>.
- Folch, J., Lees, M., Sloane-Stanley, G. H., (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, *226*, 497-509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5).
- Gebauer, S. K., Chardigny, J. M., Jakobsen, M. U., Lamarche, B., Lock, A. L., Proctor, S. D., & Baer, D. J. (2011). Effects of ruminant trans fatty acids on cardiovascular disease and cancer: A comprehensive review of epidemiological, clinical, and mechanistic studies. *Advances in Nutrition*, *2*(4), 332–354. <https://doi.org/10.3945/an.111.000521>.
- Gebauer, S. K., Destailats, F., Dionisi, F., Krauss, R. M., Baer, D. J. (2015). Vaccenic acid and trans fatty acid isomers from partially hydrogenated oil both adversely affect LDL cholesterol: A double-blind, randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, *102*(6), 1339–1346. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.116129>.
- Gilmore, L. A., Walzem, R. L., Crouse, S. F., Smith, D. R., Adams, T. H., Vaidyanathan, V., Cao, X., Smith, S. B. (2011). Consumption of high-oleic acid ground beef increases HDL-cholesterol concentration but both high- and low-oleic acid ground beef decrease HDL particle diameter in normocholesterolemic men. *Journal of Nutrition*, *141*(6), 1188–1194. <https://doi.org/10.3945/jn.110.136085>.
- Gök, V., Uzun, T., Tomar, O., Çağlar, M. Y., & Çağlar, A. (2019). The effect of cooking



- methods on some quality characteristics of gluteus medius. *Food Science and Technology (Brazil)*, 39(4), 999–1004. <https://doi.org/10.1590/fst.13018>.
- Gruffat, D., Cherfaoui, M., Bonnet, M., Thomas, A., Bauchart, D., Durand, D. (2013). Breed and dietary linseed affect gene expression of enzymes and transcription factors involved in n-3 long chain polyunsaturated fatty acids synthesis in longissimus thoracis muscle of bulls. *Journal of Animal Science*, 91(7), 3059–3069. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6112>.
- Hartman, L., Lago, R. C. (1973). *Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids*. *Laboratory Practice*, 22, 475-476.
- Huerta-Leidenz, N. O., Cross, H. R., Savell, J. W., Lunt, D. K., Baker, J. F., Pelton, L. S., Smith, S. B. (1993). Comparison of the fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue from mature Brahman and Hereford cows. *Journal of Animal Science*, 71(3), 625–630. <https://doi.org/10.2527/1993.713625x>.
- Isleroglu, H., Kemerli, T., & Kaymak-Ertekin, F. (2015). Effect of steam-assisted hybrid cooking on textural quality characteristics, cooking loss, and free moisture content of beef. *International Journal of Food Properties*, 18(2), 403–414. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.833219>.
- Jenkins, T. C., Wallace, R. J., Moate, P. J., Mosley, E. E. (2008). Board-Invited Review: Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *Journal of Animal Science*, 86(2), 397–412. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0588>.
- Kahraman, H. A., Gürbüz, U. (2018). Aging Applications on Beef Meat. *MANAS Journal of Engineering*, v. 6, n.1, p. 7-13.

- Kazala, E.C., Lozeman, F.J., Mir, P.S., Laroche, A., Bailey, D.R., Weselake, R.J. (1999). Relationship of fatty acid composition to intramuscular fat content in beef from crossbred Wagyu cattle. *Journal of Animal Science*, 77 (7), 1717–1725. <https://doi.org/10.2527/1999.7771717x>.
- Kim, J. H., Kim, Y., Kim, Y. J., Park, Y. (2016). Conjugated Linoleic Acid: Potential Health Benefits as a Functional Food Ingredient. *Annual Review of Food Science and Technology*, 7, 221–244. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-041715-033028>.
- Ladeira, M. M., Santarosa, L. C., Chizzotti, M. L., Ramos, E. M., Machado Neto, O. R., Oliveira, D. M., Carvalho, J. R. R., Lopes, L. S., Ribeiro, J. S. (2014). Fatty acid profile, color and lipid oxidation of meat from young bulls fed ground soybean or rumen protected fat with or without monensin. *Meat Science*, v. 96, n. 1, p. 597–605. <https://10.1016/j.meatsci.2013.04.062>.
- Lawrence, G. D. (2013). Dietary fats and health: Dietary recommendations in the context of scientific evidence. *Advances in Nutrition*, 4(3), 294–302. <https://doi.org/10.3945/an.113.003657>.
- Lawrie, R. A. *Ciência da carne*. 3 ed. Oxford: Pergamon Press, 2005. 451p.
- Lonergan, H. E., Zhang, W., Lonergan, S. M. Biochemistry of postmortem muscle - Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science*, v. 86, n. 1, p. 184–195, 2010. <https://10.1016/j.meatsci.2010.05.004>.
- Lopes, L. S., Laderia, M. M., Machado Neto, Paulino, P. V. R., Chizzotti, M. L., O. R., Ramos, E. M., Oliveira, D. M. (2012<sup>a</sup>). Características de carcaça e cortes comerciais de tourinhos Red Norte e Nelore terminados em confinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 41, n. 4, p. 970–977. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000400020>.

- Lopes, L. S., Laderia, M. M., Machado Neto, O. R., Ramos, E. M., Paulino, P. V. R., Chizzotti, M. L., Guerreiro, M. C. (2102b). Composição química e de ácidos graxos do músculo longissimus dorsi e da gordura subcutânea de tourinhos Red Norte e Nelore Chemical composition and of fatty acids of the muscle longissimus dorsi and backfat of Red Norte and young Nelore bulls. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 41, n. 4, p. 978–985. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000400021>.
- Lopes, L.S., Martins, S.R., Chizzotti, M.L., Busato, K.C., de Oliveira, I.M., Machado Neto, O.R., Paulino, P.V.R., Lanna, D.P.D. & Ladeira, M.M. (2014). Meat quality and fatty acid profile of Brazilian goats subjected to different nutritional treatments, *Meat Science*, 97(4):602-8. <https://10.1016/j.meatsci.2014.03.005>.
- MacDougall, D.B., 1994. Colour meat. In: Pearson, A.M., Dutson, T.R. (Eds.), Colour meat. Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products – *Advances in Meat Research Series*, 79–93.
- Machado Neto, O. R., Chizzotti, M. L., Ramos, E. M., Oliveira, D. M., Lanna, D. P. D., Ribeiro, J. S., Lopes, L. S., Descalzo, A. M., Amorim, T. R., Ladeira, M. M. (2014). Fatty acid profile and meat quality of young bulls fed ground soybean or ground cottonseed and vitamin e. *Animal*, 9(2), 362–372. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002377>.
- Malau-Aduli, A. E. O., Siebert, B. D., Bottema, C. D. K., Pitchford, W. S. (1997). A comparison of the fatty acid composition of triacylglycerols in adipose tissue from Limousin and Jersey cattle. *Australian Journal of Agricultural Research*, 48(5), 715–722. <https://doi.org/10.1071/A96083>.
- Marino, R., Albenzio, M., della Malva, A., Caroprese, M., Santillo, A., & Sevi, A. (2014). Changes in meat quality traits and sarcoplasmic proteins during aging in three

- different cattle breeds. *Meat Science*, 98(2), 178–186.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.05.024>
- McAfee, A. J., McSorley, E. M., Cuskelly, G. J., Moss, B. W., Wallace, J. M. W., Bonham, M. P., & Fearon, A. M. (2010). Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. *Meat Science*, 84(1), 1–13.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.029>.
- Micha, R., Mozaffarian, D. (2010). Saturated fat and cardiometabolic risk factors, coronary heart disease, stroke, and diabetes: A fresh look at the evidence. *Lipids*, 45(10), 893–905. <https://doi.org/10.1007/s11745-010-3393-4>.
- Monteiro, P. A. M., Maciel, I. F., Alvarenga, R. C., Oliveira, A. L., Barbosa, F. A., Guimarães, S. T., Souza, F. A., Lanna, D. P. D., Rodrigues, B. M., Lopes, L. S., 2022. Carcass traits, fatty acid profile of beef, and beef quality of Nelore and Nelore x Angus crossbred young bulls finished in a feedlot. *Livestock Science*, v. 256.  
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104829>
- National Research Council - NRC. (2001) *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7.rev.ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Nishimura, T. (2015). Role of extracellular matrix in development of skeletal muscle and postmortem aging of meat. *Meat Science*, v. 109, p. 48–55.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.015>.
- Offer, G., Knight, P., Jeacocke, R., Almond, R., Cousins, T., Elsey, J., Parsons, N., Sharp, A., Starr, R., & Purslow, P. (1989). The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat products. *Food Microstructure*, 8(1), 151–170.

- Oliveira, R. L., Ladeira, M. M., Barbosa, M. A. A. F., Assunção, D. M. P., Matsushita, M., Santos, G. T., Oliveira, R. L. (2008). Ácido Linoléico Conjugado E Perfil De Ácidos Graxos No Músculo E Na Capa De Gordura De Novilhos Bubalinos Alimentados Com Diferentes Fontes De Lipídios. *Arquivo Brasileir de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 60(1), 169–178. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352008000100024>.
- Oliveira, D. M., Ladeira, M. M., Chizzotti, M. L., Machado Neto, O. R., Ramos, E. M., Gonçalves, T. M., Bassi, M. S., Lanna, D. P. D., Ribeiro, J. S. (2011). Fatty acid profile and qualitative characteristics of meat from zebu steers fed with different oilseeds1. *Journal of Animal Science*, 89(8), 2546–2555. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3553>.
- Oliveira, E. & Pitchel, F. (2013). Perfil Lipídico da Carne Vermelha e Doença Cardiovascular. *Revista Nutricias*, 16(1), 20–23.
- Oliveira, P. R. O., Oliveira, M. V. M., Bonin, M. N., Avalo, S. P., Cancio, P. F., Nascimento, J. D., Ferraz, A. L. J., Surita, L. M. A., Piazzon, C. J., Galhardo, A. G., Oliveira, D. M. (2021). Carcass and meat characteristics of feedlot finished nelore cattle and their crossbreeds in the Brazilian Pantanal. *Livestock Science*, v. 244, p. 104360. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104360>.
- Pinheiro, J. C., & Bates, D. M. (2000). Linear mixed-effects models: basic concepts and examples. *Mixed-effects models in S and S-Plus*, 3-56.
- Pitchford, W. S., Deland, M. P. B., Siebert, B. D., Malau-Aduliand, A. E. O., Bottema, C. D. K. (2002). Genetic variation in fatness and fatty acid composition of crossbred cattle. *Journal of Animal Science*, 80, 2825-2832, 2002. <https://doi.org/10.2527/2002.80112825x>.

- Prado, I. N., Prado, R. M., Rotta, P. P., Visantainer, J. V., Moletta, J. L., & Perotto, D. (2008). Carcass characteristics and chemical composition of the Longissimus muscle of crossbred bulls (*Bos taurus indicus* vs *Bos taurus taurus*) finished in feedlot. *Journal of Animal and Feed Sciences*, *17*(3), 295–306. <https://doi.org/10.22358/jafs/66609/2008>.
- Prandl, O. Fischer, A., Schmidhofer, T., & Sinell, H. J. (1994). *Tecnologia e higiene de la carne*. Zaragoza: Editorial Acribia.
- R Core Team (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Renna, M., Brugiapaglia, A., Zanardi, E., Destefanis, G., Prandini, A., Moschini, M., Sigolo, S., & Lussiana, C. (2019). Fatty acid profile, meat quality and flavour acceptability of beef from double-muscled Piemontese young bulls fed ground flaxseed. *Italian Journal of Animal Science*, *18*(1), 355–365. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1530958>.
- Rivaroli, D. C., Guerrero, A., Velandia Valero, M., Zawadzki, F., Eiras, C. E., Campo, M. del M., Sañudo, C., Mendes Jorge, A., & Nunes do Prado, I. (2016). Effect of essential oils on meat and fat qualities of crossbred young bulls finished in feedlots. *Meat Science*, *121*, 278–284. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.06.017>.
- Rossato, L. V., Bressan, M. C., Rodrigues, É. C., Alves, M. I., Carolino, D. C. M., José, R., Bessa, B., Paula, S., Alves, P. (2009). Rep. lancaster advocates strong global chemical weapons treaty. *Chemical & Engineering News* *69*(33), 15–19. <https://doi.org/10.1021/cen-v069n033.p015>.

- Rossato, L. V., Bressan, M. C., Rodrigues, É. C., Gama, L. T. da, Bessa, R. J. B., Alves, S. P. A. (2010). Parâmetros físico-químicos e perfil de ácidos graxos da carne de bovinos Angus e Nelore terminados em pastagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(5), 1127–1134. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982010000500025>.
- Rosmini, M. R., Perlo, F., Perez A., J. A., Pagan-Moreno, M. J., Gago-gago, A., Lopez S., F. e Aranda-Catala, V. (1996). Tba test by an extractive method applied to pate. *Meat Science*, v.42, n.1, P. 103-110. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)00010-0](https://doi.org/10.1016/0309-1740(95)00010-0).
- Roy, B. C., Sedgewick, G., Aalhus, J. L., Basarab, J. A., & Bruce, H. L. (2015). Modification of mature non-reducible collagen cross-link concentrations in bovine m. gluteus medius and semitendinosus with steer age at slaughter, breed cross and growth promotants. *Meat Science*, 110, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.07.008>.
- Rule, D.C.; Smith, S.B.; Romans, J.R. (1995). Fatty acids composition of muscle and adipose tissue of meat animals. In: Smith, S.B.; Smith, D.R. (Eds.). *The biology of fat in meat animals*. p.144-165. Champaign: American Society of Animal Science.
- Shackelford, S.D., 1991. An evaluation of tenderness of the longissimus muscle of Angus by Hereford versus Brahman crossbred heifers. *Journal of Animal Science*, 69 (1), 171–177. <https://doi.org/10.2527/1991.691171x>.
- Silva, R. A., Fiorentini, G., Messana, J. D., Lage, J. F., Castagnino, P. S. San Vito, E., Casvalho, P. C., Berchielli, T. T. (2018). Effects of different forms of soybean lipids on enteric methane emission, performance and meat quality of feedlot Nellore. *Journal Agricultural Science*, v. 156, n. 3, p. 427–436. <https://doi.org/10.1017/S002185961800045X>.

- St. John, L. C., Lunt, D. K., & Smith, S. B. (1991). Fatty acid elongation and desaturation enzyme activities of bovine liver and subcutaneous adipose tissue microsomes. *Journal of animal science*, *69*(3), 1064-1073. <https://doi.org/10.2527/1991.6931064x>.
- Teixeira, P. D., Schoonmaker, J. P., Carvalho, J. R. R. D., Oliveira, C. V. R. D., Rodrigues, A. D. C., Santos, L. R. D., & Ladeira, M. M. (2022). Fatty acid profile and beef quality of Nellore and Angus bulls fed whole shelled corn. *Scientia Agricola*, *79*. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0273>.
- Troy, D. J., & Kerry, J. P. (2010). Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat Science*, *86*(1), 214–226. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.009>.
- Ulbricht, T. L. V., Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, *338*, 985-992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-m](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-m).
- Vahmani, P., Mapiye, C., Prieto, N., Rolland, D. C., McAllister, T. A., Aalhus, J. L., & Dugan, M. E. R. (2015). The scope for manipulating the polyunsaturated fatty acid content of beef: A review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *6*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0026-z>.
- Vahmani, P., Ponnampalam, E. N., Kraft, J., Mapiye, C., Bermingham, E. N., Watkins, P. J., Proctor, S. D., & Dugan, M. E. R. (2020). Bioactivity and health effects of ruminant meat lipids. Invited Review. *Meat Science*, *165*(March), 108114. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108114>.
- Vitale, M., Pérez-Juan, M., Lloret, E., Arnau, J., & Realini, C. E. (2014). Effect of aging time in vacuum on tenderness, and color and lipid stability of beef from mature cows during display in high oxygen atmosphere package. *Meat Science*, *96*(1), 270–277.



<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.07.027>.

Whipple, G., Koohmaraie, M., Dikeman, M. E., Crouse, J. D., Hunt, M. C., & Klemm, R.

D. (1990). Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Journal of Animal Science*, 68(9), 2716–2728.

<https://doi.org/10.2527/1990.6892716x>.

Witte, V. C., Krause, G. F. e Bailey, M. E. (1970). A new extraction method for

determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. *Journal of Food Science*, v.35, n. 1, p.582-585, 1970. <https://10.1111/j.1365-2621.1970.tb04815.x>.

Yamagishi, K., Iso, H., Yatsuya, H., Tanabe, N., Date, C., Kikuchi, S., Yamamoto, A.,

Inaba, Y., & Tamakoshi, A. (2010). Dietary intake of saturated fatty acids and mortality from cardiovascular disease in Japanese: The Japan Collaborative Cohort Study for Evaluation of Cancer Risk (JACC) study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 92(4), 759–765. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.29146>.

Yang, A., Larsen, T. W., Powell, V. H., Tume, R. K. (1999). A comparison of fat

composition of Japanese and long-term grain-fed Australian steers. *Meat Science*, 51(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00065-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00065-5).

## ANEXO 1

**Comitê de Ética em Uso Animal da Universidade Federal de Minas Gerais -  
Protocolo 71/2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**CEUA**

**COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS**

**CERTIFICADO**

Certificamos que o projeto intitulado "Produção de bovinos de corte zebuínos e cruzados em sistemas intensivos alimentados com dietas com alto teor de lipídios", protocolo do CEUA: 71/2019 sob a responsabilidade de Leandro Samia Lopes que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem) para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899 de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, em reunião de 27/05/2019.

Vigência da Autorização	27/05/2019 a 26/05/2024
Finalidade	Pesquisa
<b>*Espécie/linhagem</b>	Bovino / Nelore
Nº de animais	20
Peso/Idade	210kg / 8(meses)
Sexo	masculino
Origem	Embrapa
<b>*Espécie/linhagem</b>	Bovino / Cruzados
Nº de animais	20
Peso/Idade	210kg / 8(meses)
Sexo	masculino
Origem	Embrapa
<b>*Espécie/linhagem</b>	Bovino / Jersey
Nº de animais	3
Peso/Idade	420kg / 4(anos)
Sexo	feminino

Origem	Embrapa
--------	---------

## Considerações posteriores:

27/05/2019	Aprovado na reunião do dia 27/05/2019. Validade:27/05/2019 à 26/05/2024
------------	---

Belo Horizonte, 27/08/2019.

Atenciosamente,

Sistema Solicite CEUA UFMG [https://aplicativos.ufmg.br/solicite\\_ceua/](https://aplicativos.ufmg.br/solicite_ceua/)

Universidade Federal de Minas Gerais

Avenida Antônio Carlos,  
6627 – Campus Pampulha  
Unidade Administrativa II  
– 2º Andar, Sala 2005  
31270-901 – Belo  
Horizonte, MG – Brasil  
Telefone: (31) 3409-4516  
[www.ufmg.br/bioetica/ceua](http://www.ufmg.br/bioetica/ceua)  
a - [cetea@prpq.ufmg.br](mailto:cetea@prpq.ufmg.br)