UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

DANIEL SILVA ANTONELO

**Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos de
diferentes grupos genéticos suplementados com ácidos graxos poli-
insaturados**

Pirassununga

2018

DANIEL SILVA ANTONELLO

Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos de diferentes grupos genéticos suplementados com ácidos graxos poli-insaturados

Versão Corrigida

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Ciências

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Saulo da Luz e Silva

Pirassununga

2018

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

A634d Antonelo, Daniel Silva
Desempenho, características de carcaça e qualidade
de carne de bovinos de diferentes grupos genéticos
suplementados com ácidos graxos poli-insaturados /
Daniel Silva Antonelo ; orientador Saulo da Luz e
Silva. -- Pirassununga, 2018.
92 f.

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

1. Análise sensorial. 2. Crescimento animal. 3.
Gordura intramuscular. 4. Óleo de soja. 5. Perfil de
ácidos graxos. I. Silva, Saulo da Luz e, orient.
II. Título.

DANIEL SILVA ANTONELO

Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos de diferentes grupos genéticos suplementados com ácidos graxos poli-insaturados

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Ciências

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Data de aprovação: 20/06/2018

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Saulo da Luz e Silva

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP

Presidente da Banca Examinadora

Prof^a. Dr^a. Angélica Simone Cravo Pereira

Instituição: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – FMVZ/USP

Prof^a. Dr^a. Carmen Josefina Contreras Castillo

Instituição: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP

Prof. Dr. Luis Arthur Loyola Chardulo

Instituição: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – FMVZ/UNESP

Dr^a. Nara Regina Brandão Cônsolo

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP

Prof. Dr. Rodrigo Silva Goulart

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP

DEDICATÓRIA

A Deus, que criou a minha fonte de inspiração, a vida.

*A minha família e minha namorada, pela dedicação, confiança,
compreensão, apoio e amor depositados a mim.*

Aos meus verdadeiros amigos que sempre estiveram presentes.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me proporcionar tantas glórias ao lado de pessoas que amo.

Ao meu pai, Walter, que em uma simples frase mudou meu jeito de pensar a vida. A minha Mãe, Maria, por toda a preocupação e palavras de apoio nas horas difíceis. A minha irmã, Sabrina, por toda a fraternidade e apoio. A minha namorada, Camilla, por toda a compreensão, apoio e momentos memoráveis.

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio com uma bolsa de doutorado, a qual tornou possível a realização dessa etapa.

Ao meu orientador Professor Doutor Saulo da Luz e Silva, pela paciência e pela confiança no meu trabalho, por todo apoio e conselhos nas horas difíceis e pela relação de cumplicidade, que o fez ser mais que um orientador.

A todos os professores que eu já tive a oportunidade de aprender, não somente sobre as disciplinas, mas também sobre a vida.

A todos os colegas de trabalho e funcionários que participaram, direta ou indiretamente, desse trabalho.

Aos meus amigos pessoais, Juan, Mari, Inútil e Dilberto, por todo o companheirismo durante todos esses anos.

Aos meus amigos-família da República Jiromba, na qual estendo também à República CaiPira, por todo o companheirismo, conselhos e risadas compartilhadas nesses anos.

A todos citados meus sinceros agradecimentos!

EPÍGRAFE

“Quando tudo diz que não, Sua voz me encoraja a prosseguir”

Toque no Altar

“Firme, oh, Deus está o meu coração

Firme nas promessas do Senhor

Eu continuo olhando para Ti

E assim eu sei que posso prosseguir”

Kleber Lucas

RESUMO

ANTONELO, D. S. **Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos de diferentes grupos genéticos suplementados com ácidos graxos poli-insaturados**. 2018. 92 F. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

Este trabalho foi desenvolvido para avaliar o efeito da suplementação com ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) sobre o desempenho, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos de diferentes predisposições genéticas para deposição de gordura intramuscular (GIM). Foram utilizados 60 machos não-castrados, dos quais 30 Nelore (NE) e 30 cruzados Nelore x Aberdeen Angus (NA), com uma média de 363 ± 28 kg de peso vivo inicial e 24 meses de idade. Os animais foram designados a um delineamento em blocos casualizados (peso vivo inicial) com um arranjo fatorial 2 x 2 (dieta e grupo genético), usando 15 repetições por tratamentos. Os animais foram alimentados durante 133 dias com uma das seguintes dietas: CO - dieta controle, sem adição de óleo de soja; OS - dieta controle contendo 3,5% de óleo de soja em substituição ao milho grão moído. Foi analisado o ganho médio diário (GMD), a eficiência alimentar (EA), a ingestão de matéria seca (IMS) e o peso vivo animal. No abate, foi avaliado o peso (PCQ) e o rendimento (RCQ) de carcaça quente, bem como a área de olho de lombo (AOL), a espessura de gordura subcutânea (EGS) e o escore de marmorização da carne. Amostras do músculo *Longissimus* foram utilizadas para avaliação da força de cisalhamento (CS), comprimento de sarcômero, análise sensorial e metaboloma da carne, bem como a vida útil e oxidação lipídica e o perfil de ácidos graxos e sua implicação na saúde humana. Todos os dados foram analisados utilizando o procedimento MIXED do software SAS. Não houve interação entre dieta e grupo genético para a maioria das características avaliadas, de modo que seus efeitos podem ser considerados separadamente. Animais alimentados com a dieta OS apresentou maior GMD ($P = 0,0392$) e EA ($P = 0,0020$) sem modificar a IMS e as características de carcaça quando comparado aos alimentados com a dieta CO. Não houve efeito da dieta em relação à FC e a cor da carne, porém a carne dos animais alimentados com OS apresentaram menores notas de aceitação geral ($P < 0,0001$), maciez ($P < 0,0001$) e suculência ($P = 0,0009$), além de uma tendência de menores notas de sabor ($P = 0,0533$) quando comparados aos animais CO. Não

houve efeito da dieta sobre a quantidade de GIM, porém a carne de animais alimentados com a dieta OS tiveram menor proporção dos ácidos graxos da família n-3 ($P = 0,0287$), reduzindo também a relação n-6:n-3 ($P = 0,0256$) e o índice de qualidade ($P = 0,0133$) da carne para a saúde humana. Em relação ao grupo genético, os animais NA tiveram maior IMS ($P = 0,0479$) e tenderam a ter maior GMD ($P = 0,0907$) e peso vivo ao abate ($P = 0,0596$) do que animais NE, sem alterar a EA e qualquer característica de carcaça. Não houve efeito do grupo genético em relação à FC, porém a carne dos animais NE apresentaram maiores notas de aceitação geral ($P = 0,0440$) e sabor ($P = 0,0444$) do que as dos animais NA. A carne de animais NE apresentaram maiores valores de L^* ($P = 0,0003$) e b^* ($P = 0,0023$) e, consequentemente, maiores valores de croma ($P = 0,0358$) e ângulo de inclinação ($P = 0,0073$) comparados à carne de animais NA. Não houve efeito do grupo genético sobre a quantidade de GIM, além de nenhuma modificação na proporção de ácidos graxos. Além disso, o metaboloma da carne foi modificado ($P < 0,10$) tanto pela dieta quanto pelo grupo genético em 8 e 15 metabólitos, dos 31 identificados, respectivamente. Isoleucina, glicerol, carnitina e betaína tiveram maior concentração na carne de animais alimentados com OS, enquanto que glutamina, glutamato, carnosina e fumarato foram mais presentes no grupo CO. Por outro lado, acetato, succinato, glutamato, colina, glicose, carnosina, acetil-carnosina, glicerato, anserina e inosina monofosfato tiveram maior concentração na carne de animais NE, enquanto que isoleucina, alanina, metionina, creatinina e glicina foram mais presentes na carne de animais NA. Em conclusão, a suplementação com AGPI melhora os índices de desempenho, mas piora as características sensoriais e o índice de qualidade da carne para a saúde humana, independentemente do grupo genético alimentado. Do mesmo modo, a utilização de animais NA melhora os índices de desempenho, mas piora as características sensoriais da carne, enquanto que o grupo genético tem efeitos mínimos sobre o perfil de ácidos graxos da carne e consequentemente não altera a saudabilidade da carne, independentemente da dieta ofertada. Além disso, a partir dos resultados do metaboloma da carne pode-se sugerir que a quantidade de alguns metabólitos, como a carnosina e o glutamato, pode estar relacionada com mudanças na avaliação sensorial do consumidor, principalmente em relação ao sabor da carne.

Palavras-chave: análise sensorial, crescimento animal, gordura intramuscular, óleo de soja, perfil de ácidos graxos.

ABSTRACT

ANTONELO, D. S. **Performance, carcass traits and meat quality of cattle from different genetic groups supplemented with polyunsaturated fatty acids**. 2018. 92 F. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

This work was carried out to evaluate the effect of supplementation with polyunsaturated fatty acids (PUFA) on performance, carcass traits, meat quality attributes and meat metabolome of cattle from different genetic predispositions for intramuscular fat (IMF) deposition. Sixty non-castrated animals, 30 Nellore (NE) and 30 crossbred Nellore x Angus (NA), with an average of 363 ± 28 kg initial body weight and 24 months old, were used in this study. The animals were assigned to a randomized complete block design (initial body weight), with a 2 x 2 factorial arrangement (diet and genetic group), using 15 replicates per treatment. They were evaluated in a 133-d feeding study with one of the following diets: CO – control diet without soybean oil inclusion; SO – control diet containing 3.5% soybean oil inclusion replacing the ground corn grain. Average daily gain (ADG), feed efficiency (G:F), dry matter intake (DMI), and body weight were evaluated. At slaughter, hot carcass weight (HCW), dressing percentage (DP), *Longissimus* muscle area (LMA), backfat thickness (BFT), and meat marbling score were also evaluated. Samples from *Longissimus* muscle were used to evaluate the shear force (SC), length of sarcomere, sensorial analysis and meat metabolome were evaluated, as well as shelf life, lipid oxidation, and fatty acid profile and their implication in human health. All data were analyzed using the MIXED procedure of SAS software. There was no diet x genetic group interaction for most traits evaluated, so their effects can be considered separately. In relation to the diet, SO treatment increased ADG ($P = 0.0392$) and G:F ($P = 0.0020$) without modifying the DMI and any carcass traits when compared to the CO treatment. There was no effect of the diet in relation to the meat SF and color, but the meat from animals fed SO had lower grades for overall liking ($P < 0.0001$), tenderness ($P < 0.0001$) and juiciness ($P = 0.0009$), besides a trend for lower flavor scores ($P = 0.0533$) when compared to animals fed CO. No effect of the diet on the amount of IMF was observed, but the meat of animals fed SO diet had a reduction in the proportion of n-3 fatty acids ($P = 0.0287$), also reducing the n-6: n-3 ratio ($P = 0.0256$) and the meat quality index ($P = 0.0133$) for human health. In relation to the genetic group, NA

animals had higher IMS ($P = 0.0479$) and tended to have higher ADG ($P = 0.0907$) and body weight at slaughter ($P = 0.0596$) than NE animals, without modifying G:F and any characteristic evaluated in the carcass. No effect of the genetic group on the SF was observed, but the meat from NE animals had higher ratings for overall liking ($P = 0.0440$) and flavor ($P = 0.0444$) when compared to the NA animals. In addition, the meat from NE animals had higher values of L^* ($P = 0.0003$) and b^* ($P = 0.0023$) and, consequently, higher values of chroma ($P = 0.0358$) and hue angle ($P = 0.0073$) compared to meat from NA animals. There was no effect of the genetic group on the amount of IMF, without any modification in the proportion of fatty acids. Moreover, the meat metabolome was modified ($P < 0.10$) by both the diet and the genetic group in 8 and 15 metabolites of the 31 identified, respectively. Isoleucine, glycerol, carnitine and betaine had higher concentrations in the meat from animals fed SO, whereas glutamine, glutamate, carnosine and fumarate were in greater concentration in the CO meat. On the other hand, acetate, succinate, glutamate, choline, glucose, carnosine, acetyl-carnosine, glycerate, anserine and inosine monophosphate had higher concentrations in NE meat, whereas isoleucine, alanine, methionine, creatinine and glycine were in greater concentration in the NA meat. In conclusion, PUFA supplementation improves performance rates, but it worsens the sensory characteristics and meat quality index for human health, regardless of the fed genetic group. Similarly, using NA animals improves the performance rates, but it worsens the sensorial characteristics of the meat, whereas the genetic group has minimal effects on the fatty acid profile of the meat and consequently does not alter the healthiness of the meat, regardless of the diet offered. Moreover, from the meat metabolome data, it can be suggested that the amount of some metabolites, such as carnosine and glutamate, may be related to changes in the sensorial evaluation of the consumer, especially in relation to the meat flavor.

Keywords: animal growth, fatty acid profile, intramuscular fat, sensory analysis, soybean oil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Metabolismo de lipídeos no rúmen e incorporação de ácidos graxos de cadeia longa nos tecidos	20
Figura 2 – Taxas de crescimento de vários órgãos e tecidos em animais com alta (a) e baixa (b) taxa de crescimento	21
Figura 3 – Cartão de comparação visual para marmorização da carne bovina.	48
Figura 4 – Ficha de avaliação do teste sensorial de aceitação do consumidor acoplado ao teste <i>just-about-right</i>	51
Figura 5 – Comprimento de sarcômero em função do grupo genético e da dieta.	57
Figura 6 – Maciez da carne avaliada pelo teste sensorial <i>just-about-right</i> em função do grupo genético e da dieta.....	58
Figura 7 – Espectro da ressonância nuclear magnética do extrato cárneo.....	61
Figura 8 – Percepção subjetiva da descoloração da carne ao olho humano (ΔE^*) ao longo do tempo de exposição da carne em condições simuladas de varejo.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ingredientes e composição química (com base na matéria seca) das dietas.	46
Tabela 2 – Efeito da dieta (DT) e do grupo genético (GG) sobre o desempenho e características de carcaça de bovinos em terminação.	54
Tabela 3 – Efeito da dieta (DT) e do grupo genético (GG) sobre a qualidade instrumental e sensorial da carne.	59
Tabela 4 – Metabólitos que diferiram ($P < 0,10$) nas amostras de carne em função das dietas.	62
Tabela 5 – Metabólitos que diferiram ($P < 0,10$) nas amostras de carne em função dos grupos genéticos.	63
Tabela 6 – Cor e oxidação lipídica da carne sob condições simuladas de exposição em varejo.	78
Tabela 7 – Escala e interpretação da percepção subjetiva de descoloração da carne (ΔE).	79
Tabela 8 – Efeito da dieta (DT) e do grupo genético (GG) sobre a cor da carne.	80
Tabela 9 – Efeito da dieta (DT) e do grupo genético (GG) sobre o perfil de ácidos graxos da carne.	82
Tabela 10 – Efeito da dieta (DT) e do grupo genético (GG) sobre o perfil de ácidos graxos da carne.	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	Ácido graxo
AGCC	Ácido graxo de cadeia curta
AGCL	Ácido graxo de cadeia longa
AGI	Ácido graxo insaturado
AGMI	Ácido graxo monoinsaturado
AGPI	Ácido graxo poli-insaturado
AGS	Ácido graxo saturado
AOL	Área de olho de lombo
C*	Croma
C14:0	Ácido mirístico
C16:0	Ácido palmítico
C16:1 n-7	Ácido palmitoléico
C18:0	Ácido esteárico
C18:1 cis-9	Ácido oleico
C18:1 trans-11	Ácido transvacênico
C18:2	Ácido linoleico
C18:3	Ácido linolênico
C20:4 n-6	Ácido araquidônico
C20:5 n-3	Ácido eicosapentaenóico
C22:6 n-3	Ácido docosahexaenóico
CLA	Ácido linoleico conjugado
CO	Controle
ΔE	Delta E
EA	Eficiência alimentar
EE	Extrato etéreo
EGS	Espessura de gordura subcutânea
FC	Força de cisalhamento
GIM	Gordura intramuscular
GMD	Ganho médio diário
GRPI	Gordura renal, pélvica e inguinal
H*	Ângulo de inclinação

HH	Índice hipo/hipercolesterolêmico
IA	Índice aterogênico
ID14	Índice de dessaturação do carbono 14
ID16	Índice de dessaturação do carbono 16
ID18	Índice de dessaturação do carbono 18
IMS	Ingestão de matéria seca
IQ	Índice de qualidade
IS	Índice de saúde
IT	Índice trombogênico
MDA	Malonaldeído
NA	Nelore x Angus
NE	Nelore
OS	Óleo de soja
PC	Perdas por cocção
PCQ	Peso de carcaça quente
RCQ	Rendimento de carcaça quente
RNM	Ressonância nuclear magnética
TBARS	Substâncias reagentes ao ácido tiobarbitúrico
TEC	Tonelada de equivalente de carcaça
TMSP-d4	3trimetilsilil-2,2,3,3-d4-propionato
VLDL	Lipoproteína de muito baixa densidade

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL	16
1.1	Objetivo geral	17
1.1.1	Objetivos específicos.....	17
1.2	Revisão de literatura.....	18
1.2.1	Metabolismo de lipídeos em ruminantes	18
1.2.1.1	Digestão e absorção de lipídeos	18
1.2.1.2	Lipogênese	20
1.2.1.2.1	Lipogênese e marmorização	22
1.2.2	Impacto do consumo de carne bovina na saúde humana	23
1.2.2.1	Composição de ácidos graxos da carne bovina	24
1.2.2.2	Composição de ácidos graxos x saúde humana	25
1.2.3	Metabólitos e vias metabólicas.....	26
1.2.4	Efeitos do grupo genético na composição de ácidos graxos da carne bovina.....	28
1.2.5	Uso de óleos vegetais na dieta de ruminantes	29
1.2.5.1	Efeitos dos óleos vegetais sobre o desempenho e características de carcaça.....	30
1.2.5.2	Efeitos dos óleos vegetais sobre a qualidade de carne.....	31
1.3	Referências bibliográficas	33
2.	EFEITO DO GRUPO GENÉTICO E DA SUPLEMENTAÇÃO COM ÁCIDOS GRAXOS POLI-INSATURADOS SOBRE O DESEMPENHO E QUALIDADE DA CARNE.....	43
2.1.	Introdução.....	43
2.2.	Material e métodos	44
2.2.1.	Animais e tratamentos	44
2.2.2.	Desempenho animal.....	47
2.2.3.	Coleta de dados de carcaça	47
2.2.4.	Marmorização, AOL e EGS	48
2.2.5.	Força de cisalhamento	48
2.2.6.	Comprimento de sarcômero	49
2.2.7.	Análise sensorial.....	49
2.2.8.	Análise de metabólitos.....	52

2.2.8.1. Preparação da amostra	52
2.2.8.2. Espectroscopia de RNM	52
2.2.9. Análise estatística	52
2.3. Resultados e discussão	53
2.3.1. Desempenho animal	53
2.3.2. Características de carcaça	55
2.3.3. Qualidade de carne	57
2.3.4. Metaboloma da carne	60
2.4. Conclusão	65
2.5. Referências bibliográficas	65
3. VIDA ÚTIL, PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E SAUDABILIDADE DA CARNE DE BOVINOS DE DIFERENTES GRUPOS GENÉTICOS SUPLEMENTADOS COM ÁCIDOS GRAXOS POLI-INSATURADOS	71
3.1. Introdução	71
3.2. Material e métodos	72
3.2.1. Animais e tratamentos	72
3.2.2. Abate e coleta de amostras da carne	73
3.2.3. Vida útil e oxidação lipídica	74
3.2.4. Extração dos lipídeos totais	74
3.2.5. Perfil de ácidos graxos	75
3.2.6. Saudabilidade da carne e atividade estimada das enzimas envolvidas no metabolismo de lipídeos	76
3.2.7. Análise estatística	76
3.3. Resultados e discussão	76
3.3.1. Vida útil da carne	77
3.3.2. Cor da carne	80
3.3.3. Perfil de ácidos graxos da gordura intramuscular	81
3.4. Conclusão	86
3.5. Referências bibliográficas	86
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	92

1. INTRODUÇÃO GERAL

O consumo de produtos cárneos tem aumentado nos últimos anos (USDA, 2017), principalmente devido a uma melhor distribuição de renda, o que estimula o consumo de produtos de alto valor agregado, principalmente de carnes com alta gordura intramuscular (GIM), a qual está relacionada com um maior sabor e suculência da carne pelos consumidores (OKUMURA et al., 2007). No entanto, a GIM tem sido associada ao aumento do colesterol plasmático e ao surgimento de doenças cardiovasculares em humanos devido à grande concentração de ácidos graxos saturados (AGS) (JENKINS et al., 2008). No contexto de mudança dos hábitos alimentares, os consumidores, de modo geral, estão cada vez mais preocupados com os alimentos que consomem em relação à qualidade nutricional e aos benefícios ou malefícios que estes podem trazer a sua saúde.

Nesse sentido, alimentos ricos em ácidos graxos poli-insaturados (AGPI), como óleos vegetais, têm sido incluídos na dieta de bovinos de corte a fim de modificar a composição de ácidos graxos (AG) na carne, diminuindo a quantidade de AGS e aumentando a absorção intestinal de AGPI, o que permite uma maior incorporação de AGPI à carne. Isto ocorre principalmente em animais de raças predisponentes a depositar maior GIM, na qual os adipócitos, ricos em triacilgliceróis, contribuem para uma grande parte da gordura da carne. Por outro lado, em animais que produzem carne magra, com menor quantidade de GIM, como é o caso da raça Nelore, a maior parte da GIM é proveniente de lipídeos de membrana celular, principalmente fosfolipídeos, que apresentam maior grau de insaturação quando comparados aos triacilgliceróis (DE SMET; RAES; DEMEYER, 2004). Desse modo, a genética também tem uma importante função no perfil de AG do tecido de ruminantes, principalmente por influenciar a atividade das enzimas envolvidas no metabolismo lipídico e a forma de deposição da GIM. De acordo com De Smet; Raes; Demeyer (2004), os grupos genéticos com menor deposição de GIM produzem carne com maior quantidade de AGPI dada a alta correlação negativa entre ambas as variáveis.

Adicionalmente, a suplementação com óleo vegetal pode melhorar a eficiência alimentar (EA) dos bovinos (ANDRAE et al., 2000), além de aumentar a espessura de gordura subcutânea (EGS) na carcaça e o grau de marmorização da carne (GILLIS et al., 2004), os quais também podem ser modificados ao utilizar cruzamentos raciais

(BRESSAN et al., 2016). Outro fator importante da maior oferta de AGPI na dieta é a formação do ácido linoleico conjugado (CLA), o qual é formado a partir da biohidrogenação incompleta do ácido linoleico (C18:2) no rúmen (BEAULIEU; DRACKLEY; MERCHEN, 2002) e é considerado um potente agente anticarcinogênico (JENKINS et al., 2008). Por outro lado, uma maior concentração de AGPI na GIM pode modificar a sua estabilidade oxidativa, pois os AGPI são mais susceptíveis a oxidação lipídica do que os AGS devido à instabilidade das suas duplas ligações, o que pode diminuir a vida útil da carne (HUR; PARK; JOO, 2007). Portanto, a suplementação com AGPI na dieta pode estar direta ou indiretamente relacionada com os atributos sensoriais de suculência, sabor e aceitação global da carne.

Embora os fatores nutricionais e genéticos sejam apontados como fonte de variações no perfil de AG da GIM, alguns estudos avaliando diferentes fontes de lipídeos a fim de aumentar a concentração de AGPI na dieta têm mostrado resultados inconsistentes sobre seu efeito no perfil de AG de bovinos de diferentes grupos genéticos (GRUFFAT et al., 2013; GONZALEZ et al., 2014; CASTRO et al., 2016). Desse modo, a avaliação da magnitude da mudança dos AG da carne de animais de diferentes predisposições genéticas para deposição de GIM por meio de uma suplementação com AGPI é necessária a fim de direcionar futuras pesquisas, principalmente em animais de baixa deposição de GIM, como o Nelore, o qual representa a grande maioria dos animais do rebanho brasileiro.

1.1 Objetivo geral

Este trabalho foi desenvolvido para avaliar o efeito da suplementação com AGPI sobre o desempenho, características de carcaça e qualidade da carne de bovinos de diferentes predisposições genéticas para deposição de GIM.

1.1.1 Objetivos específicos

- I. Avaliar o desempenho e as características de carcaça e seus efeitos sobre a maciez instrumental e sensorial da carne de animais de diferentes predisposições genéticas para deposição de GIM.

- II. Identificar e quantificar os metabólitos da carne e relaciona-los com o desempenho, características de carcaça e qualidade de carne.
- III. Avaliar a magnitude da mudança dos AG identificados na carne dos animais de diferentes predisposições genéticas para deposição de GIM e suplementados com AGPI.
- IV. Avaliar a vida útil da carne sob condições simuladas de exposição em varejo.

1.2 Revisão de literatura

1.2.1 Metabolismo de lipídeos em ruminantes

1.2.1.1 Digestão e absorção de lipídeos

O metabolismo ruminal dos lipídeos provenientes da dieta é intenso e tem amplo impacto no perfil de AG disponíveis para absorção e deposição nos tecidos. Os dois principais processos que ocorrem durante a lipólise são a hidrólise das ligações de ésteres e a biohidrogenação dos ácidos graxos insaturados (AGI) (BAUMAN; LOCK, 2006). O primeiro processo para a transformação dos lipídeos da dieta é a hidrólise das ligações de ésteres do AG, a qual é um pré-requisito para o segundo processo que é a biohidrogenação (BALDWIN; ALLISON, 1983; BAUMAN; LOCK, 2006).

Os lipídeos esterificados da dieta sofrem uma rápida hidrólise quando liberados no rúmen, por meio das enzimas lipases, as quais desesterificam os lipídeos liberando glicerol e, conseqüentemente, deixam os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) disponíveis (JENKINS et al., 2008). A provável razão para o desenvolvimento da biohidrogenação pelas bactérias ruminais é o mecanismo de defesa para a redução da toxidez dos AGI aos microrganismos ruminais (PALMQUIST; MATTOS, 2006). Desse modo, esses AGI são hidrogenados pelas enzimas hidrogenases em um

processo denominado biohidrogenação (BALDWIN; ALLISON, 1983; BAUMAN; LOCK, 2006).

A biohidrogenação é a adição de um íon hidrogênio em uma dupla ligação dos AGI, a qual é realizada pelas bactérias ruminais, resultando na conversão de AGI em seus saturados correspondentes (BAUMAN; LOCK, 2006). Esse processo é realizado por dois grupos distintos de bactérias. O primeiro é responsável pela biohidrogenação do C18:2 e ácido linolênico (C18:3) a ácido transvacênico (C18:1 trans-11) e as bactérias do segundo grupo são capazes de biohidrogenar uma grande extensão de ácido oleico (C18:1 cis-9) a ácido esteárico (C18:0) (DEMEYER; DOREAU, 1999). No entanto, esse processo não é totalmente completo para todos os AGI e, dessa forma, alguns AG como o C18:2, C18:3 e produtos intermediários tais como o CLA cis-9 trans-11 e o C18:1 trans-11, alcançam o duodeno e são absorvidos e depositados no tecido muscular (FIGURA 1) (TANAKA, 2005; BAUMAN; LOCK, 2006; KIM et al., 2009). Desse modo, a biohidrogenação é um dos principais responsáveis pela presença de AGS na carne de ruminantes (JENKINS et al., 2008; KIM et al., 2009).

Beam et al. (2000) avaliaram as alterações ruminais durante a síntese de AG ao alimentar os animais com diferentes tipos e níveis de gordura, observando que a taxa de biohidrogenação do C18:2 foi reduzida quando se adicionou C18:2 à dieta, o qual é um dos principais fatores que afeta a extensão da biohidrogenação no rúmen (BEAULIEU; DRACKLEY; MERCHEN, 2002). Portanto, uma elevada concentração de AGPI na dieta possivelmente diminui a biohidrogenação e aumenta o fluxo pós-ruminal desses AGPI.

Como consequência da biohidrogenação ruminal, 85% dos lipídeos que passam pelo intestino delgado são AG livres e predominantemente saturados, enquanto que os outros 15% dos lipídeos consistem de fosfolipídeos bacterianos (DRACKLEY, 2000). De acordo com o mesmo autor, a digestão e absorção intestinal ocorre por meio da ação das enzimas do suco pancreático e da bile, principalmente pela hidrólise realizada pela enzima fosfolipase A2, no qual formam-se micelas mistas dos AGS, como produto dessa reação, a fim de facilitar a entrada dos AG nas células do duodeno.

Figura 1 – Metabolismo de lipídeos no rúmen e incorporação de ácidos graxos de cadeia longa nos tecidos

Fonte: Adaptado de Tanaka (2005).

No interior das células do duodeno, os AG são re-esterificados com glicerol-3-fosfato para formar os triacilgliceróis, que são incorporados às lipoproteínas de muito baixa densidade (VLDL), as quais são secretadas nas células e penetram nos vasos linfáticos até atingirem a circulação perineal, com a função de fornecer ácidos graxos de cadeia longa (AGCL) da dieta para tecidos periféricos (DRACKLEY, 2000). Nos tecidos periféricos, o VLDL é hidrolisado pela enzima lipoproteína lipase (LPL), a qual tem atividade elevada no tecido adiposo e é responsável pela liberação dos triacilgliceróis (BRAUN; SEVERSON, 1992), o que permite, de fato, a lipogênese.

1.2.1.2 Lipogênese

A lipogênese é um processo fisiológico de síntese de AG que aumenta inversamente ao desenvolvimento muscular (LADEIRA et al., 2016). Segundo Owens; Dubeski; Hanson (1993), os órgãos e os tecidos não amadurecem simultaneamente (FIGURA 2) e, com base nas taxas de crescimento relativo de vários tecidos, a

composição corpórea muda ao longo do tempo. Portanto, a curva de crescimento do animal é determinante para estimar a intensidade de formação do tecido adiposo, pois a deposição de certos componentes musculares internos, como a GIM, é mais extensa e acontece por último, uma vez que quando o animal atinge a puberdade e a maturidade sexual a lipogênese se torna mais intensa.

O corpo do animal possui depósitos de gordura com deposição não homogênea entre eles. O primeiro depósito de gordura a ser formado é a gordura interna ou visceral, que compreende a gordura abdominal, pélvica e inguinal, seguido pelo depósito de gordura intermuscular e subcutânea e, por fim, o depósito de GIM ou de marmorização (PETHICK; HARPER; ODDY, 2004).

Figura 2 – Taxas de crescimento de vários órgãos e tecidos em animais com alta (a) e baixa (b) taxa de crescimento

1: Cabeça, cérebro, metatarso e gordura renal. 2: Pescoço, osso, tibia-fíbula e gordura intermuscular. 3: Tórax, músculo, fêmur, gordura subcutânea. 4: Lombo, gordura, pelve e gordura intramuscular. Fonte: Owens; Dubeski; Hanson (1993).

Para a lipogênese acontecer, o triacilglicerol deve ser incorporado às VLDL após a absorção dos AG oriundos da dieta (DRACKLEY, 2000; ROLLIN et al., 2003). Portanto, a fonte dietética é determinante para modificar a lipogênese, que, desse modo, tem início a partir da ingestão do alimento pelo animal.

O principal AGCC formado no rúmen a partir da alimentação com forragem é o acetato, o qual é o principal precursor para a síntese de novos AG (SHINGFIELD; BONNET; SCOLLAN, 2013). O acetato é absorvido pelo epitélio intestinal e é convertido em acetil-CoA nas células adiposas por meio da enzima acetil-CoA sintase

(COOK; MILLER, 1965; FUJINO et al., 2001). Em relação às dietas com grãos e outros concentrados, o principal AGCC formado no rúmen é o propionato, o qual também é precursor do acetil-CoA utilizado para a síntese de novos AG (COOK; MILLER, 1965). Outro AGCC formado no rúmen a partir de ambas as dietas é o butirato, o qual é considerado um substituto do acetil-CoA na síntese de AG pelo tecido adiposo, principalmente em relação aos AGCL (CHILLIARD et al., 2000).

O próximo passo da lipogênese consiste da carboxilação do acetil-CoA para formar o malonil-CoA por meio da ação da enzima acetil-CoA carboxilase, que é codificada pelo gene acetil-CoA carboxilase alfa. Posteriormente, a partir da ação do complexo multienzimático ácido graxo sintase, o qual é codificado pelo gene ácido graxo sintase, outra molécula de acetil-CoA é unida à molécula de malonil-CoA através de sete reações enzimáticas de redução, resultando na síntese do ácido palmítico (C16:0), principal AG produzido pelo organismo animal (GRIFFIN; SUL, 2004). O C16:0 pode sofrer alongação ou ser convertido em AGPI por meio da ação da enzima $\Delta 9$ dessaturase, cujo gene codificador, a estearoil-CoA dessaturase, é significativamente influenciado pela dieta (GRAUGNARD et al., 2009; WATERS et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2014).

Outra característica importante do metabolismo de lipídeos em ruminantes é a presença da enzima $\Delta 9$ dessaturase em alguns tecidos, como a mucosa intestinal, o fígado e as células adiposas, a qual converte AGS em ácidos graxos monoinsaturados (AGMI), como por exemplo, a conversão do C18:0 para C18:1 cis-9 (TUME, 2004), que é o AG de maior concentração na carne (WOOD et al., 2008). A alongação e a dessaturação são processos que permitem a introdução de átomos de carbono nos AG, formando cadeias mais longas dos mesmos, inclusive AGCL com propriedades nutracêuticas (ácido docosahexaenóico [C22:6 n-3] e ácido eicosapentaenóico [C20:5 n-3]) a partir dos AG essenciais oriundos da dieta, da classe dos n-3 e n-6 (DRACKLEY, 2000). Uma das funções dos AGI essenciais é manter a fluidez das membranas celulares, uma vez que a mudança na fluidez pode afetar a atividade das enzimas associadas à membrana, mudar a expressão e a função dos receptores e alterar o transporte de moléculas através das membranas.

1.2.1.2.1 Lipogênese e marmorização

A marmorização resulta tanto do número (hiperplasia) quanto do tamanho (hipertrofia) dos adipócitos intramusculares, os quais sofrem maior impacto durante o estágio fetal e a vida adulta, respectivamente (LADEIRA et al., 2016). Du et al. (2011) observaram que a nutrição no estágio fetal e início da vida exerce um forte impacto sobre a hiperplasia do adipócito, enquanto que, de um modo geral, o tamanho do depósito de GIM em animais adultos resulta do balanço entre a síntese e a degradação dos triacilgliceróis (HOCQUETTE et al., 1998). Além disso, a taxa de deposição de GIM não depende apenas do número e da atividade intrínseca dos adipócitos intramusculares, mas também da taxa de crescimento muscular e das atividades metabólicas de outros órgãos (HOCQUETTE et al., 2009).

Para que a deposição de GIM ocorra, em animais na fase de terminação, a energia líquida consumida deve superar a energia de manutenção, de modo que o grau de marmorização varia em função do conteúdo de energia da dieta (SMITH; CROUSE, 1984), assim como da genética e da curva de crescimento animal. Como já mencionado, o propionato pode ser precursor de novos AGs intramusculares em ruminantes, pois é convertido em glicose no fígado, entra na via glicolítica e é convertido em acetil-CoA, que, posteriormente, entra no ciclo do ácido cítrico, tornando-se um doador de carbono na síntese de novos AGs (CHUNG et al., 2007). Desse modo, os alimentos que aumentam a produção de propionato possuem maior capacidade glicogênica e insulínogênica, o que pode aumentar a deposição de GIM (SCHOONMAKER et al., 2003; CARVALHO et al., 2014), modificar o perfil de AG da carne e, conseqüentemente, relacionar-se à qualidade dos AG e à saúde humana.

1.2.2 Impacto do consumo de carne bovina na saúde humana

A carne bovina é a terceira proteína animal mais consumida no mundo, com aproximadamente 61,4 milhões de toneladas de equivalente de carcaça (TEC) em 2017, além de ser a segunda proteína animal mais consumida no Brasil, com aproximadamente 7,8 milhões de TEC em 2017 (USDA, 2017). No entanto, dependendo do país, a proporção da população que consome carne vermelha varia, em todo o mundo, de 5% até 100% (BOUVARD et al., 2015). A ingestão média de carne vermelha por aqueles que a consomem é de cerca de 50-100 gramas por

pessoa por dia, com um alto consumo ultrapassando 200 gramas por pessoa por dia (FAOSTAT, 2015).

Nas últimas décadas, uma maior preocupação dos consumidores com a qualidade nutricional da carne tem sido observada, com maior enfoque na composição de AG da GIM, que tem sido associada ao aumento do colesterol plasmático e ao surgimento de doenças cardiovasculares devido à grande concentração de AGS na GIM (JENKINS et al., 2008; MCAFEE et al., 2010). Neste contexto de mudança dos hábitos alimentares, principalmente alavancados pela mídia e suas recomendações médicas e nutricionais para que haja uma redução da ingestão total de gordura, principalmente as gorduras saturadas, e um aumento no consumo de fontes de gorduras poli-insaturadas, os consumidores têm buscado alimentos que possam ser benéficos à sua saúde.

1.2.2.1 Composição de ácidos graxos da carne bovina

Os lipídeos do músculo são compostos de lipídeos polares, principalmente fosfolipídeos, que estão localizados na membrana celular, e lipídeos neutros, principalmente triacilgliceróis, que estão localizados ao longo das fibras musculares (DE SMET; RAES; DEMEYER, 2004; WOOD et al., 2008). O conteúdo do fosfolipídio muscular é relativamente independente do total de gordura do músculo, o qual varia entre 0,2% e 1% do peso do músculo. No entanto, o conteúdo de triacilglicerol muscular é fortemente relacionado à quantidade total de gordura, o qual varia de 0,2% a mais do que 5% (FRENCH et al., 2000). Desse modo, a composição dos AGs da carne bovina é dependente de fatores intrínsecos e extrínsecos ao animal e modulam a sua deposição de gordura, uma vez que fosfolipídeos são particularmente ricos em AGPI enquanto que triacilgliceróis contém baixa quantidade de AGPI e alta quantidade de AGS (DE SMET; RAES; DEMEYER, 2004; WOOD et al., 2008).

Na carne são identificados inúmeros AGs que compõem a fração gordurosa dos tecidos de bovinos, mas praticamente seis deles são os mais representativos e correspondem a cerca de 90% do total. São estes: mirístico (C14:0), C16:0, palmitoléico (C16:1 n-7), C18:0, C18:1 cis-9, C18:2 n-6 e C18:3 n-3. A carne também contém significantes proporções de AGPI de cadeia longa (C20-22), tais como o ácido araquidônico (C20:4 n-6), o C20:5 n-3 e o C22:6 n-3, que são formados a partir dos

AGs linoleico e linolênico pela ação das enzimas $\Delta 5$ e $\Delta 6$ dessaturase e elongase e possuem vários papéis metabólicos. Em geral, os AG da GIM da carne bovina são compostos por aproximadamente 44% de saturados, 5% de cadeia ímpar, 45% de monoinsaturados e 5% de poli-insaturados (DUCKETT; ANDRAE; OWENS, 2002).

1.2.2.2 Composição de ácidos graxos x saúde humana

O crescente interesse no desenvolvimento de estratégias de manipulação da composição de AG da carne bovina está relacionado à necessidade de se produzir carne mais saudável a fim de reduzir a associação do consumo de carne bovina à ocorrência de doenças (WOOD et al., 2004). Como já exposto, o perfil de AGs da carne bovina tem maior concentração de AGS e menor relação AGPI:AGS quando comparado à carne de animais não ruminantes (FRENCH et al., 2000), combinação que pode influenciar no processo inflamatório humano e desencadear doenças cardiovasculares e câncer (CALDER et al., 2009). No entanto, nem todos os AGS são considerados hipercolesterolêmicos.

French et al. (2003) relataram que o C14:0 é o AG mais indesejável para o consumo humano, porém representa somente 3% do total de AGs da carne. Por outro lado, o C16:0 possui o menor efeito hipercolesterolêmico enquanto que o C18:0 tem efeito neutro, não influenciando os níveis de colesterol sanguíneo (DE SMET; RAES; DEMEYER, 2004; WOOD et al., 2004, 2008). Por esse motivo, não é adequado limitar o consumo de carne bovina na dieta humana baseado no somatório desses três AGS. Além disso, os AGMI, principalmente o C18:1 cis-9, são desejáveis por ter ação hipocolesterolêmica, atuando na proteção contra doenças coronarianas (WOOD et al., 2008). Outros AG também estão relacionados com benefícios à saúde humana, principalmente os AGPI da família n-3, que possuem efeitos supressores, como inibição da proliferação de linfócitos, produção de anticorpos e citocinas, expressão de moléculas de adesão e ativação das células *Natural Killers*, e da família n-6, que possuem ambos os efeitos inibitório e estimulante da resposta imune (CALDER et al., 2009). A ingestão de n-6 e n-3 está associada com benefícios e malefícios à saúde humana e, de acordo com o *Department of Health and Social Security* (DHSS, 1994), o valor ideal dessa relação deve ser de no máximo 4:1. No entanto, Simopoulos (2006) mostraram que essa relação já foi de 15:1 a 40:1 em dietas ocidentais.

A partir do consumo de AGPI das famílias n-3 e n-6, ocorre, por meio das enzimas *elongase* e *dessaturase*, uma modificação na estrutura desses AG por meio da incorporação de grupamentos de carbono e o aumento das duplas ligações entre esses grupamentos, de modo a formar os AGPI de cadeia longa. Derivado da ingestão de C18:3 n-3 ocorre a biossíntese dos AGs C20:5 n-3, que está envolvido com a proteção da saúde cardiovascular em adultos (LAAKSONEN et al., 2005), e C22:6 n-3, que está relacionado com o desenvolvimento cerebral e sistema visual em recém-nascidos (ÖHLUND et al., 2008), o que permite aos autores concluir que a dieta deve ser mais focada na qualidade do que na quantidade. Do mesmo modo, derivado da ingestão de C18:2 n-6 ocorre a biossíntese do AG C20:4 n-6, que está relacionado com respostas vasoconstritoras ou vasodilatadoras, estímulo da agregação plaquetária ou a inibição desta e efeitos pró ou anti-inflamatórios (CALDER, 2006), e do CLA, o qual não pode ser produzido pelo ser humano e está principalmente correlacionado com a associação de efeitos benéficos para a saúde, tais como a inibição da carcinogênese e por possuir propriedades antiaterogênica (MCAFEE et al., 2010).

Desse modo, índices relacionados ao perfil de AGs foram desenvolvidos, de modo que os AGs hipocolesterolêmicos, hipercolesterolêmicos, aterogênicos e trombogênicos fossem contabilizados (ULBRICHT; SOUTHGATE, 1991), assim como os AG benéficos e maléficos à saúde humana (MCAFEE et al., 2010), fazendo com que esses índices sejam uma abordagem mais real para a saúde humana.

1.2.3 Metabólitos e vias metabólicas

Durante o metabolismo, alguns metabólitos são formados e transformados quimicamente, proporcionando um funcionamento regular do estado celular (PATTI; YANES; SIUZDAK, 2012; ALONSO; MARSAL; JULIÀ, 2015), se caracterizando como evidências da ocorrência de atividade bioquímica (PATTI; YANES; SIUZDAK, 2012) e impressões digitais oriundas dos processos celulares específicos (HONG, 2011). Devido a isso, a análise dos metabólitos tem se tornado importante, nos últimos anos, uma vez que, aliada a novas ferramentas de análises, permite que se faça uma correlação entre alterações bioquímicas e fenotípicas (PATTI; YANES; SIUZDAK, 2012).

Alguns metabólitos vêm sendo associados com características de interesse econômico na produção animal. Alguns autores reportaram que a creatinina plasmática está correlacionada com o aumento no ganho de peso de bovinos (WEIKARD et al., 2010; CÔNSOLO et al., 2015, 2016), além de ter ligação inversa com o conteúdo de gordura na carcaça, sendo que, os animais com menor deposição lipídica apresentam maior teor de creatinina plasmática (CLARKE et al., 1996). Outros autores relataram que a leptina está associada com a porcentagem de gordura corporal (JI et al., 1998), sendo que animais com maior deposição de gordura, apresentam maiores quantidades de leptina plasmática. Outros também relataram que a ureia é um metabólito plasmático correlacionado positivamente com a degradação de proteína muscular (VAN BIBBER-KRUEGER et al., 2015) e correlacionado negativamente com a porcentagem de tecido magro na carcaça (BRAKE; TITGEMEYER; JONES, 2011).

A quase totalidade desses estudos avaliaram os metabólitos por meio do perfil bioquímico, via kits colorimétricos, de amostras de sangue, sendo quantificados poucos metabolitos e, conseqüentemente, não permitindo um amplo conhecimento das bases metabólicas ligados com as características de interesse (KIM; KEMP; SAMUELSSON, 2016). Para isso, se faz necessário um estudo amplo, identificando e quantificando os metabólitos e suas respectivas vias metabólicas. Dessa forma, novas tecnologias, como a ressonância magnética nuclear (RMN), vem tomando destaque (NICHOLSON; LINDON; HOLMES, 1999), a qual é simples e rápida em termos de obtenção de dados e proporciona uma visão geral do metaboloma, mesmo em misturas complexas, sem que seja necessário o tratamento prévio da amostra (ALONSO; MARSAL; JULIÀ, 2015; FUHRER; ZAMBONI, 2015).

Ao avaliar os metabólitos formados na carne, Kim; Kemp; Samuelsson (2016) identificaram e quantificaram vários metabólitos que foram relacionados, diretamente ou indiretamente, ao sabor da carne. De um modo geral, os metabólitos podem estar associados a um sabor amargo (valina, tirosina, isoleucina, fenilalanina, triptofano e leucina), doce (alanina, metionina, glutamina, glicina, glicose, lactato e succinato), azedo (ácido glutâmico e aspártico e asparagina), salgado (ácido glutâmico e aspártico) e umami (glutamato, aspartato, carnosina, inosina monofosfato) (NISHIMURA et al., 1988; NISHIMURA; KATO, 1988). Dessa forma, novos estudos nessa área têm como meta a obtenção de uma visão metabólica global do sistema

através da aquisição de um padrão de metabólitos (SCHRIPSEMA, 2010). Portanto, a análise dos metabólitos tem sido utilizada em diversas áreas da ciência, pois é capaz de indicar o ponto final de um evento biológico, tal como uma alteração genética (efeito endógeno) ou uma interação influenciada pelo ambiente (efeito exógeno).

1.2.4 Efeitos do grupo genético na composição de ácidos graxos da carne bovina

O perfil de AG da GIM de bovinos de corte pode ser influenciado por diversos fatores, dentre os quais destaca-se o grupo genético do animal (BRESSAN et al., 2011, 2016), o qual tem uma importante função no perfil de AG do tecido de ruminantes (PITCHFORD et al., 2002; DE SMET; RAES; DEMEYER, 2004), principalmente por influenciar a atividade das enzimas envolvidas no metabolismo lipídico, tais como as elongases, $\Delta 4$, $\Delta 5$, $\Delta 6$ e $\Delta 9$ dessaturase (OOSTERVEER et al., 2009). De acordo com Bressan et al. (2011), as variações entre raças podem explicar de 20% a 31% da variação observada na atividade da enzima $\Delta 9$ dessaturase e, portanto, há diferenças no metabolismo de lipídeos entre raças bovinas que podem afetar a composição dos AG da carne (BRESSAN et al., 2016). Nesse sentido, como a $\Delta 9$ dessaturase é responsável por converter AGS em AGMI, como por exemplo, a conversão do C18:0 para C18:1 cis-9 (TUME, 2004), estudos sugerem que animais *Bos indicus* possuem maior proporção de AGMI quando comparados com animais *Bos taurus*.

De acordo com De Smet; Raes; Demeyer (2004), a GIM extraída em animais com alta predisposição genética para a deposição de GIM é basicamente formada por triacilgliceróis, os quais são armazenados na gota lipídica e, portanto, podem ser modificados mais facilmente por meio do fornecimento de fontes de gorduras insaturadas na dieta. Por outro lado, em animais com baixa predisposição genética para a deposição de GIM, esta é composta basicamente por lipídeos de membrana, principalmente fosfolipídeos, os quais são mais difíceis de serem alterados por meio do fornecimento de fontes dietéticas de gorduras insaturadas.

Grupos genéticos com menores taxas de deposição de GIM produzem carne com maior quantidade de AGPI, dada a alta correlação negativa entre ambas as variáveis (DE SMET; RAES; DEMEYER, 2004). Os mesmos autores mostraram que

animais com dupla musculatura tem maiores proporções de AGPI e menores proporções de AGS na GIM do que animais que não possuem esse gene, o que é devido à menor concentração de GIM e maior relação de fosfolipídio na GIM total. Do mesmo modo, Bressan et al. (2016) observaram que animais F1 cruzados taurinos x zebuínos, terminados em dieta com alto grão, apresentaram maior deposição muscular de AGPI (28%) e menor deposição de AGS (4%), principalmente de C14:0, C16:0 e C18:0 quando comparados aos animais zebuínos. Os autores associaram esses resultados à menor deposição de GIM, menor elongação do C16 e maior atividade da enzima $\Delta 9$ dessaturase no carbono 18 nos animais cruzados quando comparados aos animais zebuínos. De acordo com Oosterveer et al. (2009), uma menor elongação do C16:0 seguida de uma maior dessaturação do C18:0 em C18:1 cis-9 promove uma maior deposição de AGMI na GIM, principalmente de C18:1.

1.2.5 Uso de óleos vegetais na dieta de ruminantes

Os óleos vegetais são produtos compostos principalmente por triacilgliceróis e que podem conter baixas quantidades de fosfolipídeos, constituintes insaponificáveis e AG livres. São substâncias hidrofóbicas e lipofílicas que se apresentam em estado líquido e viscoso, nas condições normais de temperatura e pressão, devido ao seu baixo ponto de fusão (ANVISA, 1999). Os óleos vegetais são utilizados na nutrição animal devido à sua excelente relação custo-benefício, uma vez que aumenta a densidade energética da dieta, o que pode promover melhora no desempenho e no acabamento de gordura na carcaça, além de possuir altas concentrações de AGPI, o que pode modificar o perfil de AG da carne.

Nesse sentido, diversos estudos têm sido realizados a fim de aumentar os AGPI na carne de bovinos com o fornecimento de fontes de lipídeos oriundas dos óleos de canola (WANAPAT et al., 2011), girassol (MIR; MIR; KUBER, 2002; MIR et al., 2008; HE et al., 2011), linhaça (NOCI et al., 2007; WADA et al., 2008; HE et al., 2011; GONZALEZ et al., 2014), milho (ANDRAE et al., 2000; DUCKETT; ANDRAE; OWENS, 2002) e soja (ENGLE et al., 2000; BEAULIEU; DRACKLEY; MERCHEN, 2002; LUDDEN et al., 2009; GONZALEZ et al., 2014). Portanto, o aumento da oferta dietética de AGPI em ruminantes, por meio da inclusão de óleo vegetal, pode promover maiores taxas de AGPI incorporados ao tecido muscular. Do mesmo modo, essa inclusão de

óleo vegetal como substituição de uma fonte de carboidratos, como o milho, pode modificar diversas características ruminais, principalmente por gerar um menor incremento calórico quando comparado a dietas sem inclusão de óleo. Desse modo, os resultados encontrados na literatura quanto ao fornecimento de diferentes fontes lipídicas a fim de aumentar a concentração de AGPI da dieta sobre o desempenho, características de carcaça e qualidade da carne de bovinos de corte são muito variados.

1.2.5.1 Efeitos dos óleos vegetais sobre o desempenho e características de carcaça

De um modo geral, a inclusão de óleo na dieta gera um menor incremento calórico quando comparado a dietas sem inclusão de óleo, o que afeta principalmente o desempenho dos animais, como observado por Zinn et al. (1996) e Andrae et al., (2000), que relataram redução da ingestão de matéria seca (IMS) e aumento da EA em animais suplementados com óleos vegetais. Do mesmo modo, Brandt; Anderson (1990) relataram maior ganho médio diário (GMD) e EA em animais alimentados com 3,5% de inclusão de óleo de soja (5,1% de extrato etéreo [EE] na matéria seca) quando comparados aos animais sem inclusão de óleo (1,56% de EE na matéria seca). No entanto, Engle et al. (2000) observaram um menor peso ao abate e GMD em animais alimentados com 4% de óleo de soja (7,5% de EE na matéria seca) quando comparados aos animais sem inclusão de óleo soja, o que pode ser atribuído à limitação de lipídeos na dieta, o qual não deve ultrapassar os 7% de EE na matéria seca ingerida (KOZLOSKI, 2009). O principal motivo seria uma influência negativa da gordura na degradabilidade da fibra devido à toxicidade dos AG, principalmente os AGPI para as bactérias celulolíticas, além de um efeito de recobrimento das partículas de alimento pela gordura, dificultando a adesão das bactérias celulolíticas a elas (PALMQUIST; MATTOS, 2006).

Consequentemente, Engle et al. (2000) notaram que a adição de 4% de óleo de soja, durante 130 dias, promoveu uma diminuição na IMS de novilhos Angus em terminação e, consequentemente, diminuiu o rendimento de carcaça quente (RCQ), área de olho de lombo (AOL) e grau de marmorização. Do mesmo modo, Mir et al.

(2008) notaram aumento da EA e redução da EGS ao avaliaram a inclusão de 15% de semente de girassol, durante 157 dias, como fonte de AGPI na dieta de bovinos taurinos. Por outro lado, Gillis et al. (2004) não encontraram diferença sobre o desempenho animal, mas observaram um aumento na EGS em animais suplementados com 4% de óleo de milho quando comparado aos animais não suplementados, enquanto que Ludden et al. (2009) não observaram diferenças na EGS, grau de marmorização e porcentagem de gordura interna em animais taurinos suplementados com 5% de óleo de soja. Segundo Engle et al. (2000), a suplementação com AGPI na dieta pode alterar as funções ruminais, o que pode estar relacionado com a redução na produção de metano e consequente diminuição na IMS e aumento da EA, o que pode impactar diretamente nas características de carcaça do animal, tais como AOL, EGS e GIM.

Por outro lado, Beaulieu; Drackley; Merchen (2002) não encontraram diferença no desempenho e características de carcaça de animais Angus x Wagyu suplementados ou não com 5% de óleo de soja durante 102 dias. Do mesmo modo, He et al. (2011) também não encontrou diferenças no desempenho e nas características de carcaça de novilhos taurinos com a inclusão ou não de 5% na dieta de uma mistura de 50% de óleo de linhaça e 50% óleo de girassol. A semelhança entre os tratamentos nesses estudos pode estar relacionada a um dos efeitos negativos da suplementação com AGPI na dieta em relação ao desempenho animal, que é a biohidrogenação de AGPI levando à síntese de C18:0 (PLASCENCIA et al., 2003). A absorção do C18:0 na fase de AG livre é limitada devido ao seu alto ponto de fusão, representando um desperdício na energia da dieta (PLASCENCIA et al., 2003). Desse modo, nem a suplementação com óleo de soja durante vários tempos (0, 60, 120 e 180 dias antes do abate) foi suficiente para promover diferenças no desempenho de animais taurinos (LUDDEN et al., 2009).

1.2.5.2 Efeitos dos óleos vegetais sobre a qualidade de carne

De acordo com Gonzalez et al. (2014), a suplementação com óleo de soja, girassol e linhaça não influenciou a qualidade da carne de animais da raça Rubia Galega confinados por 90 dias, exceto para um aumento (melhora) nos atributos sensoriais de suculência, textura e aceitabilidade global para os animais

suplementados com óleo de soja e linhaça quando comparados à suplementação com óleo de girassol, o que, segundo os autores, pode ter ocorrido devido a composição de AG na carne.

Castro et al. (2016) não encontraram diferença na força de cisalhamento (FC) nem na maciez subjetiva, avaliada por painel sensorial treinado, em animais Blonde d'Aquitaine suplementados com óleos vegetais, mas observaram menores valores de a^* em animais suplementados com óleo de soja quando comparado aos animais suplementados com óleo de palma. Segundo os autores, essa alteração não pôde ser explicada com os resultados obtidos, os quais podem estar relacionados à idade do animal, peso, nutrição e pH da carne. Porém, diferentes sistemas proteolíticos podem estar envolvidos nos diferentes estágios da degradação proteica, entre os quais encontra-se o sistema calpaína/calpastatina (WHEELER; KOOHMARAIE, 1992), reguladores *post mortem* que são responsáveis pela degradação proteica do músculo e podem influenciar a cor, capacidade de retenção de água, tipo de fibras e a maciez da carne (STRYDOM et al., 2009).

De acordo com Joo et al. (2013), além das características de qualidade sensorial, como a maciez, outras como a aparência e a segurança alimentar são os principais fatores para uma decisão de compra e recompra pelo consumidor. Nesse sentido, a oxidação lipídica é o principal fator responsável pela deterioração e redução da vida útil das carnes e uma das principais razões das perdas de qualidade durante a estocagem, após as perdas por contaminação microbiológica (HUR; PARK; JOO, 2007). A oxidação lipídica da carne é indicada pela estabilidade da cor, a qual se deve ao acúmulo de compostos carbonílicos provenientes da oxidação dos AGI e dos fosfolipídeos provenientes da oxidação da mioglobina (RODAS-GONZALEZ et al., 2011).

A composição dos AG da GIM afeta a sua estabilidade oxidativa, uma vez que os AGPI são mais susceptíveis à oxidação do que os AGS, devido à instabilidade de sua dupla ligação (WOOD et al., 2008). Desse modo, o aumento de C18:2 e C18:3 resulta em redução da estabilidade lipídica da GIM e consequente redução da vida útil da carne durante a estocagem (HUR; PARK; JOO, 2007). Warren et al. (2008) sugeriu uma ligação entre a oxidação lipídica e a cor da carne, mostrando que a intensidade da cor vermelha caiu gradualmente em função do tempo de estocagem em animais com maior concentração de AGI na dieta.

Um teste padrão para avaliar a estabilidade oxidativa em alimentos é a análise das substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), o qual quantifica a presença de um produto da oxidação, o malonaldeído (MDA) (WOOD et al., 2008). Colle et al. (2015) observaram valores inferiores a 1 mg MDA/kg do músculo *Longissimus* de bovinos expostos, em condições de varejo, por 4 dias. No entanto, Campo et al. (2006) observaram médias de 2,3 mg de MDA/kg em carnes expostas por 4 dias, nas mesmas condições. De acordo com os mesmos autores, uma concentração de 2 mg MDA/kg de tecido muscular é o limite para que a carne seja aceita sem ter a presença de sabor rancificado, típico da oxidação lipídica.

Beaulieu; Drackley; Merchen (2002) observaram um aumento no CLA trans-10, cis-12 em animais suplementados com 5% de óleo de soja, mas não observaram diferença na concentração de CLA cis-9, trans-11 no tecido muscular. No entanto, os autores observaram um aumento na concentração de 18:3, sem diferenças na concentração de C18:2, e consequentemente uma melhora na relação n-6:n-3 quando comparado aos animais não suplementados, semelhante ao observado por Engle et al. (2000). Contudo, o aumento da concentração de C18:3 na carne quando há alta concentração de C18:2 no rúmen não é comum, uma vez que a biohidrogenação do C18:3 é maior na presença de C18:2 (WU; OHAJURUKA; PALMQUIST, 1991). Portanto, a dieta fornecida ao animal é um fator de risco modificável, pois tem efeitos diretos sobre o metabolismo do animal, inclusive no metabolismo de gordura, que está ligado à deposição de GIM e, consequentemente, à composição de AG da GIM, responsáveis tanto por efeitos benéficos quanto por efeitos maléficos à saúde humana.

1.3 Referências bibliográficas

ALONSO, A.; MARSAL, S.; JULIÀ, A. Analytical Methods in Untargeted Metabolomics: State of the Art in 2015. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 3, p. 1–20, 2015.

ANDRAE, J. G.; HUNT, C. W.; DUCKETT, S. K.; KENNINGTON, L. R.; FENG, P.; OWENS, F. N.; SODERLUND, S. Effect of high-oil corn on growth performance, diet digestibility, and energy content of finishing diets fed to beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 9, p. 2257–2262, 2000.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DA VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RDC nº482 de**

23/09/1999. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/e-legis/>>. Acesso em: 11 jul. 2016.

BALDWIN, R. L.; ALLISON, M. J. Rumen metabolism. **Journal of Animal Science**, v. 57, p. 461–477, 1983.

BAUMAN, D. E.; LOCK, A. L. Concepts in lipid digestion and metabolism in dairy cows. **Tri-State Dairy Nutrition Conference**, v. 607, p. 1–14, 2006.

BEAM, T. M.; JENKINS, T. C.; MOATE, P. J.; KOHN, R. a; PALMQUIST, D. L. Effects of amount and source of fat on the rates of lipolysis and biohydrogenation of fatty acids in ruminal contents. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 11, p. 2564–73, 2000.

BEAULIEU, A. D.; DRACKLEY, J. K.; MERCHEN, N. R. Concentrations of conjugated linoleic acid (cis-9, trans-11-octadecadienoic acid) are not increased in tissue lipids of cattle fed a high-concentrate diet supplemented with soybean oil. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 3, p. 847–861, 2002.

BOUVARD, V.; LOOMIS, D.; GUYTON, K. Z.; GROSSE, Y.; GHISSASSI, F. E. I; BENBRAHIM-TALLAA, L.; GUHA, N.; MATTOCK, H.; STRAIF, K. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. **The Lancet. Oncology**, v. 16, n. 16, p. 1599–1600, 2015.

BRAKE, D. W.; TITGEMEYER, E. C.; JONES, M. L. Effect of nitrogen supplementation and zilpaterol-HCl on urea kinetics in steers consuming corn-based diets. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 95, n. 4, p. 409–416, 2011.

BRANDT, R. T.; ANDERSON, S. J. Supplemental fat source affects feedlot performance and carcass traits of finishing yearling steers and estimated diet net energy value. **Journal of Animal Science**, v. 68, n. 8, p. 2208–2216, 1990.

BRAUN, J. E.; SEVERSON, D. L. Regulation of the synthesis, processing and translocation of lipoprotein lipase. **Biochemical Journal**, v. 287, n. Pt 2, p. 337–347, 1992.

BRESSAN, M. C.; RODRIGUES, E. C.; DE, M. L.; RAMOS, E. M.; SILVA, J. S.; BESSA, B.; GAMA, L. T.; CRISTINA, M.; RODRIGUES, E. C.; DE, M. L.; RAMOS, E. M.; SILVA, J. S.; BESSA, R. B. Differences in intramuscular fatty acid profiles among Bos indicus and crossbred Bos taurus x Bos indicus bulls finished on pasture or with concentrate feed in Brazil. **Italian Journal of Animal Science**, v. 15, p. 10–21, 2016.

BRESSAN, M. C.; ROSSATO, L. V.; RODRIGUES, E. C.; ALVES, S. P.; BESSA, R. J. B.; RAMOS, E. M.; GAMA, L. T. Genotype x environment interactions for fatty acid profiles in Bos indicus and Bos taurus finished on pasture or grain. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 1, p. 221–232, 2011.

CALDER, P. C. n-3 Polyunsaturated fatty acids , inflammation , and

inflammatory. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 83, p. 1505–1519, 2006.

CALDER, P. C.; ALBERTS, R.; ANTOINE, J. M.; BLUM, S. Inflammatory disease processes and interactions with nutrition. **The British Journal of Nutrition**, v. 101, p. S1-45, 2009.

CAMPO, M. M.; NUTE, G. R.; HUGHES, S. I.; ENSER, M.; WOOD, J. D.; RICHARDSON, R. I. Flavour perception of oxidation in beef. **Meat Science**, v. 72, n. 2, p. 303–311, 2006.

CARVALHO, J. R. R.; CHIZZOTTI, M. L.; RAMOS, E. M.; MACHADO NETO, O. R.; LANNA, D. P. D.; LOPES, L. S.; TEIXEIRA, P. D.; LADEIRA, M. M. Qualitative characteristics of meat from young bulls fed different levels of crude glycerin. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 977–983, 2014.

CASTRO, T.; CABEZAS, A.; DE LA FUENTE, J.; ISABEL, B.; MANZO, T.; JIMENO, V. Animal performance and meat characteristics in steers reared in intensive conditions fed with different vegetable oils. **Animal**, v. 10, n. 3, p. 520–530, 2016.

CHILLIARD, Y.; FERLAY, A.; MANSBRIDGE, R.; DOREAU, M. Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. **Annales de Zootechnie**, v. 49, n. 3, p. 181–205, 2000.

CHUNG, K. Y.; LUNT, D. K.; KAWACHI, H.; YANO, H.; SMITH, S. B. Lipogenesis and stearoyl-CoA desaturase gene expression and enzyme activity in adipose tissue of short- and long-fed Angus and Wagyu steers fed corn- or hay-based diets. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 2, p. 380–387, 2007.

CLARKE, J. N.; BINNIE, D. B.; DOBBIE, J. L.; JONES, K. R.; MOWAT, C. M.; PURCHAS, R. W.; ULJEE, A. E. Repeatabilities of blood plasma metabolites and their associations with leanness in genotypes showing a wide divergence in carcass composition. **New Zealand Society of Animal Production**, v. 56, p. 180–183, 1996.

COLLE, M. J.; RICHARD, R. P.; KILLINGER, K. M.; BOHLSCHEID, J. C.; GRAY, A. R.; LOUCKS, W. I.; DAY, R. N.; COCHRAN, A. S.; NASADOS, J. A.; DOUMIT, M. E. Influence of extended aging on beef quality characteristics and sensory perception of steaks from the gluteus medius and longissimus lumborum. **Meat science**, v. 110, p. 32–9, 2015.

CÔNSOLO, N. R. B.; MESQUITA, B. S.; RODRIGUEZ, F. D.; RIZZI, V. G.; SILVA, L. F. P. Effects of ractopamine hydrochloride and dietary protein content on performance, carcass traits and meat quality of Nellore bulls. **Animal**, v. 10, n. 3, p. 539–546, 2016.

CÔNSOLO, N. R. B.; RODRIGUEZ, F. D.; GOULART, R. S.; FRASSETO, M. O.; FERRARI, V. B.; SILVA, L. F. P. Zilpaterol hydrochloride improves feed efficiency and changes body composition in nonimplanted Nellore heifers. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 10, p. 4948–4955, 2015.

COOK, R. M.; MILLER, L. D. Utilization of volatile fatty acids in ruminants. I. Removal of them from portal blood by the liver. **Journal of Dairy Science**, v. 48, n. 10, p. 1339–45, 1965.

DE SMET, S.; RAES, K.; DEMEYER, D. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. **Animal Research**, v. 53, n. 2, p. 81–98, 2004.

DEMEYER, D.; DOREAU, M. Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. **The Proceedings of the Nutrition Society**, v. 58, n. 3, p. 593–607, 1999.

DEPARTMENT OF HEALTH AND SOCIAL SECURITY (DHSS). Nutritional aspects of cardiovascular disease. **Report on Health and Social Subject (London)**, v. 46, p. 1-186, 1994.

DRACKLEY, J. K. Lipid Metabolism. In: DE'MELLO, J. P. F. (Ed.). **Farm Animal Metabolism and Nutrition**. Urbana: University of Illinois, 2000. p. 97–119.

DU, M.; ZHAO, J. X.; YAN, X.; HUANG, Y.; NICODEMUS, L. V.; YUE, W.; MCCORMICK, R. J.; ZHU, M. J. Fetal muscle development, mesenchymal multipotent cell differentiation, and associated signaling pathways. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 2, p. 583–590, 2011.

DUCKETT, S. K.; ANDRAE, J. G.; OWENS, F. N. Effect of high-oil corn or added corn oil on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 12, p. 3353–3360, 2002.

ENGLE, T. E.; SPEARS, J. W.; FELLNER, V.; ODLE, J. Effects of soybean oil and dietary copper on ruminal and tissue lipid metabolism in finishing steers. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 10, p. 2713–2721, 2000.

FAOSTAT. **Food and agriculture data**. 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

FRENCH, P.; O'RIORDAN, E. G.; MONAHAN, F. J.; CAFFREY, P. J.; MOLONEY, A. P. Fatty acid composition of intra-muscular triacylglycerols of steers fed autumn grass and concentrates. **Livestock Production Science**, v. 81, n. 2–3, p. 307–317, 2003.

FRENCH, P.; STANTON, C.; LAWLESS, F.; O'RIORDAN, E. G.; MONAHAN, F. J.; CAFFREY, P. J.; MOLONEY, A. P. Fatty acid composition, including conjugated linoleic acid, of intramuscular fat from steers offered grazed grass, grass silage, or concentrate-based diets. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 11, p. 2849–2855, 2000.

FUHRER, T.; ZAMBONI, N. High-throughput discovery metabolomics. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 31, p. 73–78, 2015.

FUJINO, T.; KONDO, J.; ISHIKAWA, M.; MORIKAWA, K.; YAMAMOTO, T. T. Acetyl-CoA Synthetase 2, a Mitochondrial Matrix Enzyme Involved in the Oxidation of Acetate. **Journal of Biological Chemistry**, v. 276, n. 14, p. 11420–11426, 2001.

GILLIS, M. H.; DUCKETT, S. K.; SACKMANN, J. R.; REALINI, C. E.; KEISLER, D. H.; PRINGLE, T. D. Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or linoleic acid on feedlot performance , carcass quality , and leptin concentrations in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 82, p. 851–859, 2004.

GONZALEZ, L.; MORENO, T.; BISPO, E.; DUGAN, M. E. R.; FRANCO, D. Effect of supplementing different oils: Linseed, sunflower and soybean, on animal performance, carcass characteristics, meat quality and fatty acid profile of veal from “Rubia Gallega” calves. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 829–836, 2014.

GRAUGNARD, D. E.; PIANTONI, P.; BIONAZ, M.; BERGER, L. L.; FAULKNER, D. B.; LOOR, J. J. Adipogenic and energy metabolism gene networks in Longissimus lumborum during rapid post-weaning growth in Angus and Angus x Simmental cattle fed high-starch or low-starch diets. **BMC Genomics**, v. 10, p. 142, 2009.

GRIFFIN, M. J.; SUL, H. S. Insulin regulation of fatty acid synthase gene transcription: roles of USF and SREBP-1c. **IUBMB Life**, v. 56, n. 10, p. 595–600, 2004.

GRUFFAT, D.; CHERFAOUI, M.; BONNET, M.; THOMAS, A.; BAUCHART, D.; DURAND, D. 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**, v. 91, n. 7, p. 3059–3069, 2013.

HE, M. L.; MIR, P. S.; SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K.; SHARMA, R.; BROWN, F. A.; TRAVIS, G.; ENTZ, T.; LEMIEUX, R. O.; DUGAN, M. E. R.; ROLLAND, D.; OKINE, E.; DODSON, M. V. Effect of supplementation of beef steer diets with oil containing n6 and n3 fatty acids and 48h feed withdrawal treatments on plasma hormone profiles and adipose tissue cellularity. **Livestock Science**, v. 142, p. 253–263, 2011.

HOCQUETTE, J. .; ORTIGUES-MARTY, I.; PETHICK, D.; HERPIN, P.; FERNANDEZ, X. Nutritional and hormonal regulation of energy metabolism in skeletal muscles of meat-producing animals. **Livestock Production Science**, v. 56, n. 2, p. 115–143, 1998.

HOCQUETTE, J. F.; CASSAR-MALEK, I.; SCALBERT, A.; GUILLOU, F. Contribution of genomics to the understanding of physiological functions. **Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 60, n. 3, p. 5–16, 2009.

HONG, Y. S. NMR-based metabolomics in wine science. **Magnetic Resonance in Chemistry**, v. 49, n. 1, 2011.

HUR, S. J.; PARK, G. B.; JOO, S. T. Formation of cholesterol oxidation products

(COPs) in animal products. **Food Control**, v. 18, n. 8, p. 939–947, 2007.

JENKINS, T. C.; WALLACE, R. J.; MOATE, P. J.; MOSLEY, E. E. Board-Invited Review: Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 2, p. 397–412, 2008.

JI, S.; WILLIS, G. M.; SCOTT, R. R.; SPURLOCK, M. E. Partial cloning and expression of the bovine leptin gene. **Animal Biotechnology**, v. 9, n. 1, p. 1–14, 1998.

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

KIM, E. J.; HUWS, S. A.; LEE, M. R. F.; SCOLLAN, N. D. Dietary transformation of lipid in the rumen microbial ecosystem. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 22, n. 9, p. 1341–1350, 2009.

KIM, Y. H. B.; KEMP, R.; SAMUELSSON, L. M. Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. **Meat Science**, v. 111, p. 168–176, 2016.

KOZLOSKI, G. V. **Bioquímica dos ruminantes**. 2 ed. ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2009.

LAAKSONEN, D. E.; NYSSÖNEN, K.; NISKANEN, L.; RISSANEN, T. H.; SALONEN, J. T. Prediction of cardiovascular mortality in middle-aged men by dietary and serum linoleic and polyunsaturated fatty acids. **Archives of Internal Medicine**, v. 165, p. 193–199, 2005.

LADEIRA, M.; SCHOONMAKER, J.; GIONBELLI, M.; DIAS, J.; GIONBELLI, T.; CARVALHO, J.; TEIXEIRA, P. Nutrigenomics and beef quality: a review about lipogenesis. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 6, p. 918, 2016.

LUDDEN, P. A.; KUCUK, O.; RULE, D. C.; HESS, B. W. Growth and carcass fatty acid composition of beef steers fed soybean oil for increasing duration before slaughter. **Meat Science**, v. 82, n. 2, p. 185–192, 2009.

MCAFEE, A. J.; MCSORLEY, E. M.; CUSKELLY, G. J.; MOSS, B. W.; WALLACE, J. M. W.; BONHAM, M. P.; FEARON, A. M. Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. **Meat Science**, v. 84, n. 1, p. 1–13, 2010.

MIR, P.; MIR, Z.; KUBER, P. Growth, carcass characteristics, muscle conjugated linoleic acid (CLA) content, and response to intravenous glucose challenge in high percentage Wagyu, Wagyu x Limousin. **Journal of Animal Science**, v. 80, p. 2996–3004, 2002.

MIR, P. S.; DUGAN, M. E. R.; HE, M. L.; ENTZ, T.; YIP, B. Effects of dietary sunflower seeds and tylosin phosphate on production variables, carcass

characteristics, fatty acid composition, and liver abscess incidence in crossbred steers. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 11, p. 3125–3136, 2008.

NICHOLSON, J. K.; LINDON, J. C.; HOLMES, E. Metabonomics”: understanding the metabolic responses of living systems to path physiological stimuli via multivariate statistical analysis of biological NMR spectroscopic data. **Xenobiotica**, v. 29, n. 11, p. 1181–1189, 1999.

NISHIMURA, T.; KATO, H. Taste of free amino acids and peptides. **Food Reviews International**, v. 4, n. 2, p. 175–194, 1988.

NISHIMURA, T.; RHUE, M. R.; OKITANI, A.; KATO, H. Components Contributing to the Improvement of Meat Taste during Storage. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 52, n. 9, p. 2323–2330, 1988.

NOCI, F.; FRENCH, P.; MONAHAN, F. J.; MOLONEY, A. P. The fatty acid composition of muscle fat and subcutaneous adipose tissue of grazing heifers supplemented with plant oil-enriched concentrates. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 4, p. 1062–1073, 2007.

ÖHLUND, I.; HÖRNELL, A.; LIND, T.; HERNELL, O. Dietary fat in infancy should be more focused on quality than on quantity. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 62, n. 9, p. 1058–1064, 2008.

OKUMURA, T.; SAITO, K.; NADE, T.; MISUMI, S.; MASUDA, Y.; SAKUMA, H.; NAKAYAMA, S.; FUJITA, K.; KAWAMURA, T. Effects of intramuscular fat on the sensory characteristics of *M. longissimus dorsi* in Japanese Black steers as judged by a trained analytical panel. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 20, n. 4, p. 577–581, 2007.

OLIVEIRA, D. M.; CHALFUN, A.; CHIZZOTTI, M. L.; BARRETO, H. G.; COELHO, T. C.; PAIVA, L. V.; COELHO, C. P.; TEIXEIRA, P. D.; SCHOONMAKER, J. P.; LADEIRA, M. M. Expression of genes involved in lipid metabolism in the muscle of beef cattle fed soybean or rumen-protected fat, with or without monensin supplementation. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 12, p. 5426–5436, 2014.

OOSTERVEER, M. H.; VAN DIJK, T. H.; TIETGE, U. J. F.; BOER, T.; HAVINGA, R.; STELLAARD, F.; GROEN, A. K.; KUIPERS, F.; REIJNGOUD, D. J. High fat feeding induces hepatic fatty acid elongation in mice. **PLoS ONE**, v. 4, n. 6, p. e6066, 2009.

OWENS, F. N.; DUBESKI, P.; HANSON, C. F. Factors that alter the growth and development of ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 71, n. 11, p. 3138–3150, 1993.

PALMQUIST, D. L.; MATTOS, W. R. S. Metabolismo de lipídeos. In: **Nutrição de Ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. p. 287–310.

PATTI, G. J.; YANES, O.; SIUZDAK, G. Metabolomics: The apogee of the omics

trilogy. **Nature Reviews. Molecular Cell Biology**, v. 13, p. 263–269, 2012.

PETHICK, D. W.; HARPER, G. S.; ODDY, V. H. Growth, development and nutritional manipulation of marbling in cattle: A review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 7, p. 705–715, 2004.

PITCHFORD, W. S.; DELAND, M. P. B.; SIEBERT, B. D.; MALAU-ADULI, A. E. O.; BOTTEMA, C. D. K. Genetic variation in fatty acid composition of subcutaneous fat in cattle. **Animal Production Science**, v. 80, p. 2825–2832, 2002.

PLASCENCIA, A.; MENDOZA, G. D.; VÁSQUEZ, C.; ZINN, R. A. Relationship between body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 11, p. 2653–2659, 2003.

RODAS-GONZALEZ, A.; NARVAEZ-BRAVO, C.; BRASHEARS, M. M.; ROGERS, H. B.; TEDFORD, J. L.; CLARK, G. O.; BROOKS, J. C.; JOHNSON, B. J.; RATHMANN, R. J.; MILLER, M. F. Evaluation of the storage life of vacuum packaged Australian beef. **Meat Science**, v. 88, n. 1, p. 128–138, 2011.

ROLLIN, X.; MÉDALE, F.; GUTIERES, S.; BLANC, D.; KAUSHIK, S. J. Short- and long-term nutritional modulation of acetyl-CoA carboxylase activity in selected tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **The British Journal of Nutrition**, v. 89, p. 803–810, 2003.

SCHOONMAKER, J. P.; CECAVA, M. J.; FAULKNER, D. B.; FLUHARTY, F. L.; ZERBY, H. N.; LOERCH, S. C. Effect of source of energy and rate of growth on performance, carcass characteristics, ruminal fermentation, and serum glucose and insulin of early-weaned steers. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 4, p. 843–855, 2003.

SCHRIPSEMA, J. Application of NMR in plant metabolomics: Techniques, problems and prospects. **Phytochemical Analysis**, v. 21, n. 1, p. 14–21, 2010.

SHINGFIELD, K. J.; BONNET, M.; SCOLLAN, N. D. Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods. **Animal**, v. 7, p. 132–162, 2013.

SIMOPOULOS, A. P. Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: nutritional implications for chronic diseases. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, v. 60, n. 9, p. 502–507, 2006.

SMITH, S. B.; CROUSE, J. D. Relative contributions of acetate, lactate and glucose to lipogenesis in bovine intramuscular and subcutaneous adipose tissue. **The Journal of Nutrition**, v. 114, n. 4, p. 792–800, 1984.

STRYDOM, P. E.; FRYLINCK, L.; MONTGOMERY, J. L.; SMITH, M. F. The comparison of three B-agonists for growth performance, carcass characteristics and meat quality of feedlot cattle. **Meat Science**, v. 81, n. 3, p. 557–564, 2009.

TANAKA, K. Occurrence of conjugated linoleic acid in ruminant products and its physiological functions. **Animal Science Journal**, v. 76, n. 4, p. 291–303, 2005.

TUME, R. K. The effects of environmental factors on fatty acid composition and the assessment of marbling in beef cattle: A review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 7, p. 663–668, 2004.

ULBRICHT, T. L. V.; SOUTHGATE, D. A. T. Coronary heart disease: seven dietary factors. **The Lancet**, v. 338, p. 985–992, 1991.

USDA. Livestock and Poultry: World Markets and Trade. **United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service**, p. 27, 2017. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf>.

VAN BIBBER-KRUEGER, C. L.; MILLER, K. A.; PARSONS, G. L.; THOMPSON, L. K.; DROUILLARD, J. S. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, blood metabolites, and fatty acid profiles of plasma and adipose tissue in finishing steers. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 5, p. 2419–2427, 2015.

WADA, F. Y.; PRADO, I. N. do; SILVA, R. R.; MOLETTA, J. L.; VISENTAINER, J. V.; ZEOULA, L. M. Grãos de linhaça e de canola sobre o desempenho, digestibilidade aparente e características de carcaça de novilhas nelore terminadas em confinamento. **Ciência Animal Brasileira**, v. 9, n. 4, p. 883–895, 2008.

WANAPAT, M.; MAPATO, C.; PILAJUN, R.; TOBURAN, W. Effects of vegetable oil supplementation on feed intake, rumen fermentation, growth performance, and carcass characteristic of growing swamp buffaloes. **Livestock Science**, v. 135, n. 1, p. 32–37, 2011.

WARREN, H. E.; SCOLLAN, N. D.; ENSER, M.; HUGHES, S. I.; RICHARDSON, R. I.; WOOD, J. D. Effects of breed and a concentrate or grass silage diet on beef quality in cattle of 3 ages. I: Animal performance, carcass quality and muscle fatty acid composition. **Meat Science**, v. 78, n. 3, p. 256–269, 2008.

WATERS, S. M.; KELLY, J. P.; O'BOYLE, P.; MOLONEY, A. P.; KENNY, D. A. Effect of level and duration of dietary n-3 polyunsaturated fatty acid supplementation on the transcriptional regulation of Δ^9 -desaturase in muscle of beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 1, p. 244–252, 2009.

WEIKARD, R.; ALTMAIER, E.; SUHRE, K.; WEINBERGER, K. M.; HAMMON, H. M.; ALBRECHT, E.; SETOGUCHI, K.; TAKASUGA, A.; KUHN, C. Metabolomic profiles indicate distinct physiological pathways affected by two loci with major divergent effect on *Bos taurus* growth and lipid deposition. **Physiol Genomics**, v. 42, n. 2, p. 79–88, 2010.

WHEELER, T. L.; KOOHMARAIE, M. Effects of the beta-adrenergic agonist L644,969 on muscle protein turnover, endogenous proteinase activities, and meat tenderness in steers. **Journal of Animal Science**, v. 70, n. 10, p. 3035–3043, 1992.

WOOD, J. D.; ENSER, M.; FISHER, A. V.; NUTE, G. R.; SHEARD, P. R.; RICHARDSON, R. I.; HUGHES, S. I.; WHITTINGTON, F. M. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. **Meat Science**, v. 78, n. 4, p. 343–358, 2008.

WOOD, J. D.; RICHARDSON, R. I.; NUTE, G. R.; FISHER, A. V.; CAMPO, M. M.; KASAPIDOU, E.; SHEARD, P. R.; ENSER, M. Effects of fatty acids on meat quality: A review. **Meat Science**, v. 66, n. 1, p. 21–32, 2004.

WU, Z.; OHAJURUKA, O. A.; PALMQUIST, D. L. Ruminal synthesis, biohydrogenation, and digestibility of fatty acids by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 9, p. 3025–3034, 1991.

ZINN, R. A.; SHEN, Y.; ZINN, R. A.; SHEN, Y. Interaction of dietary calcium and supplemental fat on digestive function and growth performance in feedlot steers The online version of this article , along with updated information and services , is located on the World Wide Web at : Interaction of Diet. **Journal of Animal Science**, v. 74, p. 2303–2309, 1996.

2. EFEITO DO GRUPO GENÉTICO E DA SUPLEMENTAÇÃO COM ÁCIDOS GRAXOS POLI-INSATURADOS SOBRE O DESEMPENHO E QUALIDADE DA CARNE

2.1. Introdução

Grandes esforços têm sido feitos para melhorar a qualidade da carne e a composição de AG da GIM na bovinocultura de corte. Dentro desse contexto, destaca-se o manejo nutricional com base no uso de óleo de sementes na fase de terminação de animais em confinamento, o que poderia modificar a qualidade da carne e a deposição de GIM (WOOD et al., 2008). Estudos prévios relataram que a suplementação com AGPI na dieta de bovinos confinados pode aumentar a EA (ANDRAE et al., 2000; ENGLE et al., 2000), o peso de carcaça (LUDDEN et al., 2009) e a deposição de GIM (GILLIS et al., 2014), além de aumentar a concentração de AGPI na GIM (BEAULIEU; DRACKLEY; MERCHEN, 2002). No entanto, outros estudos não relataram efeito da suplementação com AGPI sobre o desempenho e características de carcaça (HE et al., 2011; GRUFFAT et al., 2013). Nesse sentido, vários estudos têm sido realizados com o intuito de aumentar a concentração de AGPI na dieta de bovinos de corte em terminação, de modo a entender a sua atuação.

O grupo genético tem um efeito direto no crescimento animal e na quantidade de GIM depositada, os quais estão relacionados ao perfil de AG (DE SMET; RAES; DEMEYER, 2004; BRESSAN et al., 2016) e ao metaboloma da carne (STRAADT; AASLYNG; BERTRAM, 2014). No entanto, não foram encontrados estudos mostrando o efeito da suplementação com AGPI sobre o metaboloma da carne de diferentes grupos genéticos. De um modo geral, os animais *Bos indicus* diferem dos *Bos taurus* em características relacionadas ao crescimento animal e a qualidade da carne (FERRAZ; FELICIO, 2010), uma vez que animais *Bos indicus* atingem o ponto de abate com menor teor de gordura na carcaça e menor GIM (VASCONCELOS et al., 2008; SCRAMLIN et al., 2010).

Nurnberg; Ender; Papstein (1999) relataram uma correlação negativa entre a quantidade de GIM e a concentração de AGPI na carne, os quais estão associados com a aceitação da carne pelo consumidor (OKUMURA et al., 2007). Além disso, a carne de animais *Bos indicus* é considerada mais dura do que a de animais *Bos taurus*

(WHEELER et al., 2001) e, por esse motivo, cruzamentos entre essas raças, que tem sido constantemente utilizado no Brasil, tem promovido heterose para parâmetros produtivos e de qualidade da carne em geral (GAMA et al., 2013).

Portanto, este trabalho foi desenvolvido para avaliar o efeito da suplementação com AGPI sobre o desempenho, características de carcaça, atributos de qualidade e metaboloma da carne de bovinos de diferentes predisposições genéticas para deposição de GIM.

2.2. Material e métodos

Todos os procedimentos usados para esse experimento envolvendo animais e seres humanos foram conduzidos de acordo com o Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA número 7294130616) e com o Comitê de Ética em Experimentos com Seres Humanos (CEPH número 58704616.7.0000.5422), respectivamente. Ambos os protocolos foram aprovados pelos respectivos comitês de ética da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo campus Fernando Costa.

2.2.1. Animais e tratamentos

O experimento foi conduzido no Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo campus Fernando Costa, Pirassununga, São Paulo.

Foram utilizados 60 machos não-castrados, dos quais 30 Nelore (NE) e 30 cruzados Nelore x Aberdeen Angus (NA), com uma média de 363 ± 28 kg de peso vivo inicial e 24 meses de idade. Os animais foram designados a um delineamento em blocos casualizados (peso vivo inicial e raça) com um arranjo fatorial 2 x 2 (dieta e grupo genético), usando 15 repetições por tratamentos. As dietas foram: controle (CO) - dieta base, sem adição de óleo de soja; óleo de soja (OS) - dieta base contendo 3,5% de óleo de soja em substituição ao milho grão moído.

Um dia antes ao início do experimento, os animais foram identificados com brincos na orelha, pesados, bloqueados pelo peso inicial e atribuídos aleatoriamente, dentro do bloco, aos tratamentos. As baias tinham dimensões de 6 x 3 m, com piso

de concreto, bebedouros automáticos e cochos de concreto com 3 m de comprimento. Posteriormente, os animais foram submetidos a um período de adaptação às instalações e às dietas de 10 dias, de acordo com o modelo de adaptação em escada, o qual iniciou-se na relação concentrado:volumoso de 30:70 e foi aumentando gradualmente a cada dois dias em 45:55, 60:40 e 75:25, até alcançar os 85:15 proposto para o experimento.

A alimentação foi oferecida *ad libitum*, duas vezes ao dia (8 horas e 16 horas), com uma dieta contendo 85% de concentrado e 15% de volumoso (TABELA 1), durante 133 dias de confinamento. A cada dois dias as sobras foram retiradas, pesadas e amostradas para determinação da matéria seca. O ajuste da oferta de alimento foi realizado a cada dois dias com base na avaliação das sobras dos dias anteriores, com uma oferta de matéria seca 10% superior ao consumo observado para assegurar que não houvesse falta ou excesso de alimento no cocho.

As dietas foram formuladas para atender ou exceder todas as exigências nutricionais de bovinos em terminação, de acordo com as demandas nutricionais estimadas pelo sistema CNCPS (FOX et al., 1992) a partir do *software* RLM (Esalq/USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil).

Tabela 1 – Ingredientes e composição química (com base na matéria seca) das dietas.

Item	Dieta	
	Controle	Óleo de soja
<i>Ingredientes (%)</i>		
Bagaço de cana	5,0	5,0
Silagem de milho	10,0	10,0
Milho grão moído a 4mm	58,0	54,5
Polpa cítrica moída	16,0	16,0
Óleo de soja	0,0	3,5
Farelo de soja	9,0	9,0
Ureia	1,2	1,2
Mistura mineral ¹	0,8	0,8
<i>Composição química² (%)</i>		
Matéria seca (% da matéria natural)	73,1	73,3
Proteína bruta	15,1	14,7
Extrato etéreo	3,11	6,45
Nutriente digestível total	78,9	82,3
Cálcio	0,48	0,48
Fósforo	0,37	0,36
<i>Composição de ácidos graxos (%)</i>		
14:0	0,09	0,08
16:0	13,89	12,28
18:0	2,68	3,28
18:1 c9	34,39	28,82
18:2 n-6	43,77	47,56
18:2 n-3	1,62	3,30

¹ A mistura mineral continha (por kg): cálcio (mín/máx), 200-250 g; fósforo, 20 g; magnésio, 15 g; enxofre, 32 g; sódio, 80 g; zinco, 2000 mg; cobre, 450 mg; manganês, 800 mg; iodo, 45 mg; cobalto, 27 mg; selênio, 18 mg; monensina sódica, 1500 mg; vitamina A, 60000 UI; vitamina D3, 45000 UI; vitamina E, 400 IU.

² As dietas foram formuladas para atender ou exceder todas as exigências nutricionais de bovinos em terminação, de acordo com as demandas nutricionais estimadas pelo sistema CNCPS (Fox et al., 1992) a partir do *software* RLM (Esalq/USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil). Fonte: Própria autoria.

2.2.2. Desempenho animal

Os animais foram pesados ao início (dia 1) e ao fim do período experimental (dia 133) após 14 horas de jejum alimentar. Além disso, a cada 28 dias foram realizadas pesagens intermediárias sem jejum alimentar ou hídrico. A partir dos dados de consumo alimentar e das pesagens foram calculadas a IMS, GMD e EA. O GMD durante o período de confinamento foi calculado por regressão, utilizando os dados de todas as pesagens.

2.2.3. Coleta de dados de carcaça

Os animais foram monitorados quanto ao peso e à EGS de modo a definir seus limites inferiores ao abate de 500 kg e 5,0 mm, respectivamente. Desse modo, após 133 dias de alimentação, os animais foram transportados para um frigorífico comercial (Dom Glutão, Ibitinga, SP, Brasil) localizado a 184 km do confinamento experimental. Na chegada ao frigorífico, os animais foram mantidos em descanso por aproximadamente 16 horas, com acesso livre a água, e foram abatidos de acordo com os procedimentos humanitários exigidos pela legislação brasileira.

As carcaças foram suspensas pelo tendão de Aquiles e não houve estimulação elétrica. A gordura renal, pélvica e inguinal (GRPI) e o fígado foram pesados. O peso de carcaça quente (PCQ) foi determinado como a soma dos pesos das meias-carcaças. O RCQ foi calculado por meio da divisão do PCQ pelo peso final de abate dos animais.

Posteriormente, as meias-carcaças esquerda foram identificadas e resfriadas (0 – 2°C). Após 24 horas de resfriamento, o pH da carcaça foi mensurado, entre a 12° e 13° costelas, por meio de um peagâmetro digital (Hanna Instrumentos – modelo HI99163, São Paulo Brasil). Após 48 horas de resfriamento, as meias-carcaças foram divididas entre a 11° e a 13° costelas, onde aproximadamente 7,5 cm do músculo *Longissimus thoracis* foram amostrados, na direção caudo-cranial, identificados individualmente, embalados a vácuo e maturados (0 – 4 °C) durante sete dias (nove dias pós-abate). Após o tempo de maturação, três amostras de 25 mm de espessura foram obtidas para posterior análise instrumental, sensorial e de metabólitos da carne.

2.2.4. Marmorização, AOL e EGS

O escore de marmorização foi obtido por uma avaliação visual comparando a AOL da amostra com 5 imagens (Figura 3) de diferentes graus, conforme recomendado pela *United States Department of Agriculture* (USDA, 2016).

Figura 3 – Cartão de comparação visual para marmorização da carne bovina.

1 = ligeiramente presente; 2 = pouco presente; 3 = modestamente presente; 4 = moderadamente presente; 5 = ligeiramente abundante

Fonte: USDA. 2016. United States Standards for Grades of Carcass Beef. **United States Department of Agriculture**, 2016. Disponível em: <<https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Carcass%20Beef%20Standard.pdf>>.

Para determinar a AOL e a EGS uma imagem do *Longissimus* entre a 12ª e 13ª costelas foi obtida por meio de uma câmera digital acoplada a um retângulo de aço de 15 x 20 cm com uma haste de 10 cm de altura. As imagens foram gravadas e interpretadas, por um técnico experiente, utilizando o *software* Lince® (M&S Consultoria Agropecuária, Pirassununga, São Paulo, Brasil)

2.2.5. Força de cisalhamento

As amostras foram retiradas das embalagens, pesadas e assadas em um forno equipado com um termostato ajustado a 170 °C (Fornos Elétricos Flecha de Ouro Ind. – Modelo F130/L, São Paulo, Brasil). A temperatura interna dos bifes foi monitorada por meio de termômetros individuais (Gulton Instrumentos de Medição e Automação Indústria e Comércio LTDA – Modelo Gulterm 700-10s, São Paulo, Brasil). Ao alcançar

40 °C, as amostras foram viradas e permaneceram no forno até alcançar a temperatura de 71 °C (AMSA, 2015).

Posteriormente, as amostras permaneceram em temperatura ambiente até resfriarem a 25 °C, quando foram novamente pesadas para determinar as perdas por cocção (PC). Após isso, as amostras foram envolvidas em papel filme e foram resfriadas a 4 °C por 12 horas. Após esse período, foram retirados seis cilindros (1,27 cm de diâmetro) de cada amostra, no sentido paralelo ao das fibras, para determinação da FC por meio do texturômetro TMS-PRO (Food Technology Corporation, Sterling, Virginia, EUA) acoplado a um dispositivo de cisalhamento Warner-Bratzler com velocidade fixada em 200 mm/min (AMSA, 2015). A FC de cada amostra foi considerada como o valor médio dos seis cilindros.

2.2.6. Comprimento de sarcômero

Seis cilindros (1,27 cm de diâmetro) de cada amostra crua foram coletados, no sentido paralelo ao das fibras, colocados dentro de um recipiente plástico contendo 0,2 M de solução de sacarose e fixados por 12 horas a 4 °C para determinar o comprimento de sarcômero. Para tal, a técnica de difração a laser proposta por Cross; West; Dutson (1981) foi utilizada por meio do laser Helium Neon modelo 05-LHR-021 (Melles Griot, Carlsbad, CA, EUA). De cada cilindro obtido foram realizadas seis mensurações de comprimento de sarcômero, de modo que o comprimento de sarcômero de cada amostra foi considerado como o valor médio dos 36 comprimentos de sarcômeros mensurados.

2.2.7. Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Engenharia de Alimentos da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, São Paulo, Brasil.

Os bifes foram assados usando o procedimento supracitado para as análises de FC. Posteriormente, as amostras foram cortadas em cubos de 1 cm³ e disponibilizadas aos panelistas, de forma monádica (1 amostra de cada tratamento/panelista), em copos plásticos codificados com números de três dígitos.

Um copo de água e uma bolacha tipo *cracker* foram entregues junto com as amostras, de modo que os panelistas os consumissem entre as amostras a fim de limpar o paladar. Os panelistas permaneceram em cabines individuais, com luz vermelha, sem comunicação com outros panelistas.

Foi aplicado um teste sensorial de aceitação do consumidor ($n = 100$) acoplado a um teste *just-about-right* (do inglês, sob medida), as quais são caracterizadas como uma análise qualitativa e quantitativa, respectivamente, para determinar a percepção sensorial do consumidor (Figura 4). No teste de aceitação do consumidor foi utilizada uma escala hedônica estruturada de nove pontos, variando de “desgostei extremamente” (nota 1) a “gostei extremamente” (nota – 9), enquanto que no teste *just-about-right* foi utilizada uma escala hedônica de cinco pontos (AMSA, 2015).

Figura 4 – Ficha de avaliação do teste sensorial de aceitação do consumidor acoplado ao teste *just-about-right*.

Nome: _____ Amostra: _____ Provador: _____

Antes de provar a amostra, por favor coma um pedaço da bolacha e tome um gole de água.

PROVE A AMOSTRA – Obs: marque as respostas com um X dentro do balão referente à sua opinião.

1. De um modo GERAL de satisfação, o quanto você gostou ou desgostou da amostra?

Detestei	Desgostei muito	Desgostei moderado	Desgostei ligeiramente	Nem gostei Nem desgostei	Gostei ligeiramente	Gostei moderado	Gostei muito	Adorei
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

2. O quanto você gostou ou desgostou do SABOR da amostra?

Detestei	Desgostei muito	Desgostei moderado	Desgostei ligeiramente	Nem gostei Nem desgostei	Gostei ligeiramente	Gostei moderado	Gostei muito	Adorei
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

3. Você diria que o SABOR da amostra é:

Muito fraco	Fraco	Nem fraco Nem forte	Forte	Muito forte
☐	☐	☐	☐	☐

4. O quanto você gostou ou desgostou da MACIEZ da amostra?

Detestei	Desgostei muito	Desgostei moderado	Desgostei ligeiramente	Nem gostei Nem desgostei	Gostei ligeiramente	Gostei moderado	Gostei muito	Adorei
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

5. Você diria que, com relação à MACIEZ, a amostra é:

Muito dura	Dura	Nem macia Nem dura	Macia	Muito macia
☐	☐	☐	☐	☐

6. O quanto você gostou ou desgostou da SUCULÊNCIA da amostra?

Detestei	Desgostei muito	Desgostei moderado	Desgostei ligeiramente	Nem gostei Nem desgostei	Gostei ligeiramente	Gostei moderado	Gostei muito	Adorei
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

7. Você diria que a SUCULÊNCIA da amostra é:

Muito seca	Seca	Nem seca Nem úmida	Úmida	Muito úmida
☐	☐	☐	☐	☐

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

2.2.8. Análise de metabólitos

2.2.8.1. Preparação da amostra

Para a extração de metabólitos polares, aproximadamente 1 grama da amostra de carne fresca foi macerado e homogeneizado por 1 minuto com 7 mL de uma solução fria de metanol:água (4:3 v/v), como descrito por Beckonert et al. (2007). As amostras foram deixadas em gelo por 15 minutos e, em seguida, foram centrifugadas durante 15 minutos a 1000 x g e 4 °C para remover proteína, gordura e tecido conjuntivo precipitado. Os sobrenadantes foram transferidos para tubos Eppendorf e, em seguida, foram liofilizados de modo que a água e o metanol fossem removidos. O extrato de carne seca contendo os metabólitos polares foi ressuspensão com tampão de fosfato de óxido de deutério (0,10 M e pH = 7,3), contendo 0,05% p/p do padrão interno de troca química 3trimetilsilil-2,2,3,3-d4-propionato (TMSP-d4, Cambridge Isotopes, Leicestershire, Reino Unido), e transferido para um tubo de precisão de RNM de 5 mm (Vineland, NJ, EUA), para posterior leitura.

2.2.8.2. Espectroscopia de RNM

As análises de RNM para avaliar o metaboloma da carne foram realizadas na EMBRAPA Instrumentação (São Carlos, Brasil). Os espectros da RNM foram adquiridos num espectrômetro Bruker Avance 14,1 T (6000,13 MHz para ^1H) usando uma sonda BBO de 5 mm a 300 K. O óxido de deutério foi utilizado como solvente e o TMSP-d4 foi utilizado como uma referência interna para ^1H . Os espectros padrões de RNM de primeira dimensão foram adquiridos utilizando um único experimento de pulso de 90° e cada espectro foi considerado como a soma dos 64 *free induction decay* (FIDs; do inglês, decaimento de indução livre). A supressão da água foi realizada usando a sequência de pulsos Bruker “noesygppr1d” (com gradiente e pré-saturação durante o tempo de relaxamento e tempo de mistura), atraso de 1 segundo, 64 K, 32 escâneres, tempo de aquisição de 2,73 segundos e janela espectral de 10,03 ppm.

2.2.9. Análise estatística

Os dados foram avaliados como um delineamento em blocos casualizados em um arranjo fatorial 2 x 2 (dieta e grupo genético) com 15 repetições por tratamento. A dieta, o grupo genético e sua interação foram considerados como efeitos fixos. O bloco (peso vivo inicial) foi considerado com um efeito aleatório e o animal foi considerado a unidade experimental. Os panelistas foram incluídos como um efeito aleatório no modelo de análise dos dados do teste sensorial de aceitação do consumidor.

Para as análises de metaboloma da carne, os dados da RNM variando de 0 a 10 ppm foram convertidos em arquivos ASCII usando o *software* Bruker TopSpin 3.5. Cada conjunto de dados foi organizado em uma matriz X_iX_j , onde i corresponde às amostras e j corresponde às colunas de 32K. Os dados da RNM foram alinhados pelo algoritmo icoshift (SAVORANI; TOMASI; ENGELSEN, 2010). Posteriormente, a região correspondente ao sinal residual de água e o TMSP-d4 foi excluída. O *software* Chenomx foi utilizado para calcular os níveis de metabólitos medidos por meio da RNM ^1H .

Todos os dados foram analisados utilizando o procedimento MIXED do *software* SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Car, NC, EUA). A média dos quadrados mínimos foi utilizada para calcular as médias ajustadas por tratamento. As médias foram comparadas pelo teste t de Student.

2.3. Resultados e discussão

Não houve interação entre dieta e grupo genético para nenhuma característica de desempenho ou carcaça avaliada.

2.3.1. Desempenho animal

No presente estudo, o EE da dieta foi de máximo 6,45% e, portanto, não afetou a IMS e o peso final dos animais (TABELA 2).

Tabela 2 – Efeito da dieta (DT) e do grupo genético (GG) sobre o desempenho e características de carcaça de bovinos em terminação.

Características ¹	DT ²		GG ³		EPM	Pr > F		
	CO	OS	NE	NA		DT	GG	DT*GG
Desempenho								
Peso inicial (kg)	363	360	359	365	6,9	0,7159	0,3948	0,9266
Peso final (kg)	538	558	535	561	9,3	0,1288	0,0596	0,6225
GMD (kg/dia)	1,33	1,49	1,35	1,49	0,098	0,0392	0,0907	0,5045
IMS (kg MS/dia)	9,1	9,3	8,8	9,6	0,31	0,5123	0,0479	0,4556
EA (g GMD/kg MS)	0,145	0,159	0,150	0,153	0,005	0,0020	0,5034	0,9875
Carcaça								
PCQ (kg)	318	328	316	330	6,6	0,2469	0,1311	0,6793
RCQ (%)	59,1	58,8	59,1	58,8	0,48	0,6350	0,7098	0,9338
GRPI (% PCQ)	2,7	3,3	3,0	3,1	0,15	0,0066	0,3905	0,1679
Peso fígado (kg)	5,6	7,0	6,6	7,0	0,16	0,0722	0,1075	0,3075
pH 24 h	5,7	5,7	5,7	5,7	0,08	0,2327	0,5370	0,3290
AOL (cm²)	75,6	77,7	76,0	77,3	1,72	0,3392	0,5773	0,4953
EGS (mm)	6,1	6,6	6,0	6,7	0,52	0,5040	0,3593	0,2775
Marmorização ⁴	1,6	1,9	1,7	1,8	0,34	0,3952	0,8876	0,8875

¹ GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EA = eficiência alimentar; PCQ = peso de carcaça quente; RCQ = rendimento de carcaça quente; GRPI = gordura renal, pélvica e inguinal; AOL = área de olho de lombo; EGS = espessura de gordura subcutânea.

² CO = dieta base sem inclusão de óleo de soja; OS = dieta base contendo 3,5% de inclusão de óleo de soja em substituição ao milho grão moído.

³ NE = Nelore; NA = cruzamento Nelore x Angus.

⁴ 1 = ligeiramente presente; 2 = pouco presente; 3 = modestamente presente; 4 = moderadamente presente; 5 = ligeiramente abundante; 6 = moderadamente abundante.

Fonte: Própria autoria.

Entretanto, os animais alimentados com a dieta OS apresentaram maiores GMD (11%; $P = 0,0392$) e EA (9%; $P = 0,0020$), respectivamente, o que pode ser explicado pelo menor incremento calórico da digestão gerado pela inclusão de óleo

na dieta, em substituição do milho, quando comparado com a dieta sem inclusão de óleo vegetal.

Assim como neste estudo, Brandt; Anderson (1990) observaram maior GMD e EA em animais alimentados com uma dieta contendo 3,5% de OS (5,1% de EE) do que animais alimentados com uma dieta basal (1,56% de EE). No entanto, Engle et al. (2000) alimentaram os animais com uma dieta de alto concentrado com inclusão de 4% de OS (7,5% de EE) e observaram menor peso ao abate e menor GMD em animais alimentados com OS quando comparada à dieta basal (3,5% de EE). Segundo os autores, tanto o menor peso ao abate quanto o menor GMD observado podem ser atribuídos à inclusão lipídica na dieta de ruminantes, a qual não deve exceder 7% de EE, pois há uma influência negativa na degradabilidade da fibra devido à toxicidade dos AG (PALMQUIST; JENKINS, 1980; PALMQUIST; MATTOS, 2006; KOSLOSKI, 2009), o que, provavelmente, não ocorreu no presente estudo, uma vez que o EE da dieta foi no máximo de 6,45%.

Os animais NA tiveram maior IMS do que os animais NE (8%; $P = 0,0479$). Como consequência, os animais NA tenderam a apresentar maior peso ao abate ($P = 0,0596$) e GMD ($P = 0,0907$) quando comparados aos animais NE. O maior potencial de crescimento observado para os animais NA pode ser atribuído à heterose, como descrito anteriormente (GAMA et al., 2013). Além disso, a pequena diferença no GMD entre os animais NE e NA pode ser devido a uma provável taxa de fermentação elevada, curto tempo de retenção de alimentos no trato digestivo, maior digestibilidade do nitrogênio e alta eficiência de uso de energia em animais NE quando comparados aos animais *Bos taurus* (SCHUTT; ARTHUR; BURROW, 2009).

2.3.2. Características de carcaça

Não houve diferença para PCQ e RCQ entre as dietas. No entanto, animais alimentados com a dieta OS apresentaram peso da GRPI ($P = 0,0066$) 6% maior do que aqueles alimentados com a dieta CO, o que representou apenas 2 kg de aumento na GRPI em função da suplementação com OS e, portanto, a sua remoção durante a evisceração não impactou diretamente sobre o PCQ e o RCQ.

A falta de resposta da inclusão de óleo sobre EGS pode estar relacionada à alta taxa de deposição de gordura subcutânea nos animais não suplementados, o que

pode ter ocorrido uma vez que a manipulação da dieta por meio de fontes de AGPI pode modificar a expressão de genes envolvidos no metabolismo lipídico, o que pode modificar a deposição de EGS e GIM (LADEIRA et al., 2016).

Do mesmo modo, a falta de resposta da inclusão de óleo sobre o escore de marmorização pode estar relacionada à alta taxa de deposição de gordura subcutânea e interna nos animais não suplementados, as quais são depositadas prioritariamente em relação a de marmorização (OWENS; DUBESKI; HANSON, 1993; PETHICK, HARPER; ODDY, 2004; McLAUCHLIN et al., 2017). Por outro lado, Gillis et al. (2004) encontraram maior escore de marmorização em animais suplementados com óleo de milho quando comparado com animais não suplementados. No entanto, esses autores utilizaram fêmeas Angus x Hereford abatidas com no mínimo de 12,7 mm de EGS, o que possibilitou um efeito mais intenso da suplementação sobre a modulação gênica para a deposição de GIM. Esse efeito não pôde ser observado no presente estudo, uma vez que o potencial genético dos animais machos não-castrados permitiu uma média de 6,35 mm de EGS.

Não houve diferença entre os grupos genéticos para nenhuma das características de carcaça avaliadas. Apesar da diferença na taxa de crescimento entre os animais NE e NA, a semelhança nos valores de EGS pode ser explicada pela dieta de alto concentrado somado ao tempo de alimentação (133 dias), o que pode ter permitido uma intensa deposição de gordura nesses animais, especialmente nos animais NE, como pode ser visto pela alta EGS (6,0 mm) e GRPI (3,0%).

No entanto, a falta de diferença no escore de marmorização entre os grupos genéticos pode ser atribuída à baixa deposição de GIM nos animais NA, a qual foi classificada entre ligeiramente presente e pouco presente (notas 1 e 2 de uma escala de 6), enquanto que era esperado ao menos uma classificação modestamente presente (nota 3) nesses animais, como reportado por Prado et al. (2008). Desse modo, esses resultados foram inconclusivos, porque como o grau de marmorização varia como uma função do conteúdo de energia na dieta (SMITH; CROUSE, 1984), esperava-se que 6,45% de EE na dieta superassem as exigências de bovinos em terminação, permitindo que ocorresse uma maior deposição de GIM, principalmente nos animais NA. Por outro lado, a deposição de GIM em animais NE está satisfatória devido ao fato de serem machos não-castrados. Bressan et al. (2016) notaram um aumento na deposição de GIM em animais NE, o que pode ser associado ao menor

requerimento de energia para manutenção desses animais, que é estimado a ser cerca de 12% mais baixos quando comparados com animais *Bos taurus* (NRC, 2016).

2.3.3. Qualidade de carne

Foram observadas interações entre os grupos genéticos para o comprimento de sarcômero ($P = 0,0392$; FIGURA 5) e maciez avaliada pelo teste sensorial *just-about-right* ($P = 0,0209$; FIGURA 6).

Nos animais que receberam a dieta CO, foi observado um maior comprimento de sarcômero nos animais NA em relação aos NE ($P = 0,0307$), porém sem diferença entre os grupos genéticos na dieta. Com relação ao teste sensorial *just-about-right*, a carne de animais NE alimentados com a dieta CO foram avaliadas como mais macias do que as dos animais NA alimentados com a mesma dieta, além de serem avaliadas como as mais duras em animais alimentados com a dieta OS em ambos os grupos genéticos ($P < 0,0001$).

Figura 5 – Comprimento de sarcômero em função do grupo genético e da dieta.

^{a,b} Médias com letras diferentes diferem estatisticamente ($P < 0.05$).

Controle = dieta base sem inclusão de óleo de soja; óleo de soja = dieta base contendo 3,5% de inclusão de óleo de soja em substituição ao milho grão moído.

Fonte: Própria autoria.

Figura 6 – Maciez da carne avaliada pelo teste sensorial *just-about-right* em função do grupo genético e da dieta.

a,b,c Médias com letras diferentes diferem estatisticamente ($P < 0.05$).

Nota 1 = muito dura; nota 5 = muito macia.

Controle = dieta base sem inclusão de óleo de soja; óleo de soja = dieta base contendo 3,5% de inclusão de óleo de soja em substituição ao milho grão moído.

Fonte: Própria autoria.

A carne dos animais com a menor média para o comprimento de sarcômero foram avaliadas como a mais macia (1,81 μ m e 3,8 pontos para animais NE alimentados com a dieta CO, respectivamente), em desacordo com a afirmação de Koohmaraie et al. (2002) que o comprimento de sarcômero é positivamente correlacionado com a maciez instrumental da carne.

Por outro lado, a FC foi correspondente à maciez quantitativa, no qual os animais NE e NA alimentados com a dieta CO tiveram as menores médias (40,1 e 41,2 N, respectivamente) e as maiores notas (3,8 e 3,4 pontos, respectivamente), concluindo que os valores de comprimento de sarcômero para os animais NE alimentados com a dieta CO foram inconclusivos. Além disso, os resultados obtidos nesse estudo para a maciez objetiva estão de acordo com a afirmação de Huffman et al. (1996), que a média de FC acima de 42 N pode ter uma diminuição na nota recebida na análise sensorial, o que pode explicar as menores notas sensoriais obtidas pela carne dos animais NE e NA alimentados com a dieta OS (43,4 e 45,8 N, respectivamente) quando comparados com os mesmos grupos genéticos alimentados com a dieta CO.

Não houve diferença entre as dietas para PC e FC (TABELA 3). No entanto, os consumidores deram menores notas para aceitação global ($P < 0,0001$), maciez ($P < 0,0001$) e suculência ($P = 0,0009$) para a carne de animais alimentados com a dieta OS em relação a CO. Do mesmo modo, animais alimentados com a dieta CO tenderam a ter maiores notas para o sabor avaliado pelo teste sensorial de aceitação do consumidor ($P = 0,0533$), mas nenhuma diferença foi observada entre as dietas para as características avaliadas pelo teste sensorial *just-about-right*.

Tabela 3 – Efeito da dieta (DT) e do grupo genético (GG) sobre a qualidade instrumental e sensorial da carne.

Características ¹	DT ²		GG ³		EPM	Pr > F		
	CO	OS	NE	NA		DT	GG	DT*GG
PC (%)	26,6	26,4	27,7	25,2	0,98	0,8854	0,0674	0,8525
FC (N)	40,7	44,6	41,8	43,5	3,27	0,3997	0,7127	0,8904
<i>Teste de aceitação do consumidor⁴</i>								
Aceitação geral	6,9	6,3	6,7	6,4	0,12	<0,0001	0,0440	0,6342
Sabor	6,7	6,5	6,7	6,5	0,12	0,0533	0,0444	0,8432
Maciez	6,8	5,8	6,4	6,2	0,16	<0,0001	0,2984	0,3788
Suculência	6,7	6,2	6,6	6,3	0,13	0,0009	0,1141	0,8431
<i>Teste just-about-right⁵</i>								
Sabor	2,9	2,9	2,9	2,8	0,05	1,0000	0,0755	0,3313
Suculência	3,3	3,2	3,3	3,2	0,07	0,1309	0,1645	0,6718

¹ PC = perdas por cocção; FC = força de cisalhamento.

² CO = dieta base sem inclusão de óleo de soja; OS = dieta base contendo 3,5% de inclusão de óleo de soja em substituição ao milho grão moído.

³ NE = Nelore; NA = cruzamento Nelore x Angus.

⁴ Para a análise sensorial qualitativa foi utilizada uma escala hedônica estruturada de nove pontos, variando de “desgostei extremamente” (nota 1) a “gostei extremamente” (nota 9).

⁵ Para a análise sensorial quantitativa foi utilizada uma escala hedônica estruturada de cinco pontos variando de “muito fraco ou muito seco” (nota 1) a “muito forte ou muito úmido” (nota 5) de acordo com o sabor e a suculência da carne, respectivamente.

Fonte: Própria autoria.

No presente estudo, os animais alimentados com a dieta OS tiveram valores médios de FC (44,6 N) maiores do que o limite (42 N) indicado por Huffman et al.

(1996) para não diminuir as notas sensoriais, enquanto que animais alimentados com a dieta CO tiveram valores médios de FC (40,7 N) abaixo desse limite, o que pode ser associado às melhores notas sensoriais obtidas para esse grupo.

Por outro lado, Oliveira et al. (2012) encontraram maiores notas para maciez e suculência em animais alimentados com 3,8% de inclusão de OS na dieta quando comparado com os animais alimentados sem a inclusão de OS. Nuernberg et al. (2005) relataram que a diminuição na densidade energética da dieta resulta em carcaças com menor deposição de GIM e, devido a isso, é possível que touros sejam incapazes de depositar lipídeos suficientes para garantir a aceitabilidade do consumidor, principalmente em relação ao sabor e à suculência, o que não foi observado no presente estudo.

Animais NE tenderam a ter maior PC do que animais NA ($P = 0,0674$). No entanto, a FC e a maciez sensorial quantitativa foram similares entre os grupos genéticos. Em contraste aos resultados obtidos nesse estudo, Gama et al. (2013) observaram que cruzamentos envolvendo animais NE e *Bos taurus* tendem a produzir carne com maior maciez do que a de animais NE.

Por outro lado, no presente estudo, a carne de animais NE teve uma melhor aceitação global ($P = 0,0440$) do que a carne de animais NA, provavelmente devido ao sabor mais pronunciado da carne desses animais, como pontuado para o sabor qualitativo ($P = 0,0444$) e quantitativo ($P = 0,0755$). De acordo com Wood et al. (2008), o sabor da carne pode estar relacionado com sua marmorização e, consequentemente, ao seu perfil de AG. Desse modo, o sabor da carne pode estar relacionado ao grupo genético animal, uma vez que se espera que grupos genéticos com menor deposição de GIM produzam carne com maior quantidade de AGPI, devido à correlação negativa entre essas variáveis (Nuernberg et al., 1999). No entanto, assim como no presente estudo, Okumura et al. (2007) reportaram que o escore de marmorização da carne foi semelhante entre os grupos genéticos, sugerindo que, naturalmente, o perfil de AG da carne de animais NE poderia levar a um sabor mais pronunciado e à maior aceitação geral da carne.

2.3.4. Metaboloma da carne

Trinta e um metabólitos foram identificados e quantificados pela RNM (FIGURA 7), dos quais muitos estão relacionados com o crescimento muscular e o sabor da carne, direta ou indiretamente, por serem substratos de reações químicas que formam compostos com sabor, ao cozimento (KIM; KEMP. SAMUELSSON, 2016).

Figura 7 – Espectro da ressonância nuclear magnética do extrato cárneo.

O 3trimetilsilil-2,2,3,3-d4-propionato (TMSP-d4) foi utilizado com um padrão interno (0 ppm). A) adenosina / inosine / carnosina; B) carnosina; C) lactato; D) região de carboidratos (adenosina, glicose, ribose); E) creatina; F) alanina; G) lactato.

Fonte: Própria autoria.

A concentração de 8 e 15 metabólitos (dos 31 metabólitos identificados) diferiram significativamente ($P < 0,10$) entre os animais suplementados ou não com AGPI (TABELA 4) e entre os diferentes grupos genéticos (TABELA 5), respectivamente.

Tabela 4 – Metabólitos que diferiram ($P < 0,10$) nas amostras de carne em função das dietas.

Metabólitos ¹	CO ²	OS ³	Aumento relativo	EPM	Pr > F
Isoleucina	0,13	0,17	1,31	0,023	0,0843
Glutamina	2,10	1,65	1,27	0,247	0,0931
Glutamato	0,41	0,32	1,28	0,071	0,0897
Glicerol	1,65	2,81	1,70	0,229	0,0004
Carnosina	12,01	3,24	3,71	0,962	0,0052
Carnitina	1,50	1,89	1,26	0,216	0,0633
Betaína	0,73	1,28	1,75	0,086	<0,0001
Fumarato	0,12	0,09	1,33	0,015	0,0561

¹ Concentração média ($\mu\text{mol/g}$ carne).

² CO = dieta base sem inclusão de óleo de soja.

³ OS = dieta base contendo 3,5% de inclusão de óleo de soja em substituição ao milho grão moído.

Fonte: Própria autoria.

Isoleucina ($P = 0,0843$), glicerol ($P = 0,0004$), carnitina ($P = 0,0633$) e betaína ($P < 0,0001$) tiveram maior concentração na carne de animais alimentados com OS, enquanto que glutamina ($P = 0,0931$), glutamato ($P = 0,0897$), carnosina ($P = 0,0052$) e fumarato ($P = 0,0561$) foram mais presentes na carne de animais alimentados com CO. Por outro lado, acetato ($P = 0,0015$), succinato ($P = 0,0297$), glutamato ($P = 0,0020$), colina ($P = 0,0558$), glicose ($P < 0,0001$), carnosina ($P < 0,0001$), acetil-carnosina ($P = 0,0570$), glicerato ($P = 0,0566$), anserina ($P = 0,0634$) e inosina monofosfato ($P = 0,0047$) tiveram maior concentração na carne de animais NE, enquanto que isoleucina ($P = 0,0586$), alanina ($P < 0,0001$), metionina ($P = 0,0117$), creatinina ($P = 0,0051$) e glicina ($P < 0,0001$) foram mais presentes na carne de animais NA.

A maior concentração de glicerol na carne de animais alimentados com a dieta OS pode ser explicada pela quebra dos triacilgliceróis em AG e glicerol e, conseqüentemente, pela beta-oxidação, representando um aumento na demanda de energia muscular para o crescimento, visto pelo maior ADG em animais alimentados com a dieta OS em comparação com a dieta CO.

Tabela 5 – Metabólitos que diferiram ($P < 0,10$) nas amostras de carne em função dos grupos genéticos.

Metabólitos ¹	NE ²	NA ³	Aumento relativo	EPM	Pr > F
Isoleucina	0,13	0,17	1,31	0,023	0,0586
Alanina	1,09	1,94	1,78	0,193	<0,0001
Acetato	0,18	0,10	1,80	0,017	0,0015
Succinato	0,06	0,04	1,50	0,008	0,0297
Metionina	0,80	1,14	1,43	0,092	0,0117
Glutamato	0,44	0,29	1,52	0,071	0,0020
Creatinina	0,50	0,72	1,44	0,052	0,0051
Glicina	0,76	1,23	1,62	0,071	<0,0001
Glicose	4,36	2,54	1,72	0,353	<0,0001
Carnosina	12,97	8,37	1,55	0,962	<0,0001
Colina	0,95	0,73	1,30	0,162	0,0558
Acetil carnitina	0,89	0,63	1,41	0,123	0,0570
Glicerato	2,57	2,03	1,27	0,201	0,0566
Anserina	0,66	0,46	1,43	0,134	0,0634
IMP ⁴	0,94	0,56	1,68	0,093	0,0047

¹ Concentração média ($\mu\text{mol/g}$ carne).

² NE = Nelore.

³ NA = cruzamento Nelore x Angus.

⁴ Inosina monofosfato.

Fonte: Própria autoria.

A concentração de creatinina foi maior para animais NA do que para os NE, refletindo provavelmente o maior peso final ao abate e o ADG desses animais. A creatinina é um composto nitrogenado produzido a partir de moléculas de creatina e fosfocreatina musculares, principalmente contidas no músculo, e é um marcador para a quantidade total de massa muscular (RENNIE; MILLWARD, 1983; VIRGILI et al., 1994). Além disso, no presente estudo, a concentração de glicose foi menor em animais NA, o que também pode representar um aumento na demanda de energia muscular para crescimento nesses animais.

Dentre os compostos identificados no metaboloma da carne, destacaram-se os aminoácidos, os quais contribuem para várias sensações gustativas (NISHIMURA; KATO, 1988). O sabor doce pode ser associado com a alanina, glutamina e glicina, enquanto que o sabor azedo está associado com a isoleucina, leucina, fenilalanina, tirosina e valina e, o glutamato, é tipicamente associado com o sabor umami (NISHIMURA et al., 1988; KODANI et al., 2017). De acordo com Koutsidis et al. (2008a,2008b), todos esses metabólitos solúveis em água contribuem para o sabor da carne, de forma direta ou indireta, em maior ou em menor extensão, como precursores na reação de *Maillard*. Portanto, o aumento ou a diminuição de alguns metabólitos podem estar relacionados com mudanças na avaliação sensorial do consumidor (NISHIMURA; KATO, 1988; NISHIMURA et al., 1988; KIM; KEMP; SAMUELSSON, 2016; KODANI et al., 2017).

Os consumidores avaliaram a carne dos animais alimentados com a dieta CO mais saborosa do que as dos alimentados com a dieta OS, assim como para a carne de animais NE quando comparado com a de animais NA. Ambos os resultados observados para os efeitos da dieta e do grupo genético sobre o metaboloma da carne sugerem que os metabólitos da carne podem desempenhar um papel muito importante na influência do consumidor pelo sabor da carne, como a carnosina e o glutamato, metabólitos presentes em maior quantidade na carne que foi avaliada como mais saborosas. De acordo com Nishimura et al. (1988), tanto a carnosina como o glutamato estão associados com o sabor umami, o qual estimula o cérebro a excitações de prazer, caracterizando um sabor superior às outras sensações gustativas (CHAUDHARI et al., 2009). Portanto, o maior sabor detectado pelo teste sensorial de aceitação do consumidor, no presente estudo, pode ser atribuído à combinação desses aminoácidos.

Outros pesquisadores também têm encontrado diferenças no metaboloma de extratos polares da carne em processos de maturação seca (KIM; KEMP; SAMUELSSON, 2016), processos de maturação de longo prazo (KODANI et al., 2017), nutrição animal (ZAWADZKI et al., 2017), tipo muscular (MUROYA et al., 2014) e raças de suínos (STRAADT; AASLYNG; BERTRAM, 2011), mostrando que o estudo dos metabólitos com base na RNM tem potencial para avaliar múltiplas características de qualidade.

2.4. Conclusão

A suplementação com AGPI melhora os índices de desempenho, mas piora as características sensoriais, independentemente do grupo genético alimentado. Por outro lado, a utilização de animais NA melhora os índices de desempenho, mas piora as características sensoriais da carne. Além disso, a partir dos resultados do metaboloma da carne pode-se sugerir que a quantidade de alguns metabólitos, como a carnosina e o glutamato, pode estar relacionada com mudanças na avaliação sensorial do consumidor, principalmente em relação ao sabor da carne.

2.5. Referências bibliográficas

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

ANDRAE, J. G.; HUNT, C. W.; DUCKETT, S. K.; KENNINGTON, L. R.; FENG, P.; OWENS, F. N.; SODERLUND, S. Effect of high-oil corn on growth performance, diet digestibility, and energy content of finishing diets fed to beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 9, p. 2257–2262, 2000.

BEAULIEU, A. D.; DRACKLEY, J. K.; MERCHEN, N. R. Concentrations of conjugated linoleic acid (cis-9, trans-11-octadecadienoic acid) are not increased in tissue lipids of cattle fed a high-concentrate diet supplemented with soybean oil. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 3, p. 847–861, 2002.

BECKONERT, O.; KEUN, H. C.; EBBELS, T. M. D.; BUNDY, J.; HOLMES, E.; LINDON, J. C.; NICHOLSON, J. K. Metabolic profiling, metabolomic and metabonomic procedures for NMR spectroscopy of urine, plasma, serum and tissue extracts. **Nature protocols**, v. 2, n. 11, p. 2692–2703, 2007.

BRANDT, R. T.; ANDERSON, S. J. Supplemental fat source affects feedlot performance and carcass traits of finishing yearling steers and estimated diet net energy value. **Journal of Animal Science**, v. 68, n. 8, p. 2208–2216, 1990.

BRESSAN, M. C.; RODRIGUES, E. C.; DE, M. L.; RAMOS, E. M.; SILVA, J. S.; BESSA, B.; GAMA, L. T.; CRISTINA, M.; RODRIGUES, E. C.; DE, M. L.; RAMOS, E. M.; SILVA, J. S.; BESSA, R. B. Differences in intramuscular fatty acid profiles among Bos indicus and crossbred Bos taurus × Bos indicus bulls finished on pasture or with concentrate feed in Brazil. **Italian Journal of Animal Science**, v. 15, p. 10–21, 2016.

CASTRO, T.; CABEZAS, A.; DE LA FUENTE, J.; ISABEL, B.; MANSO, T.; JIMENO, V. Animal performance and meat characteristics in steers reared in intensive conditions fed with different vegetable oils. **Animal**, v. 10, n. 3, p. 520–530, 2016.

CHAUDARI, N.; PEREIRA, E.; ROPER, S. D. Taste receptors for umami: the case for multiple receptors. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 90, n. 3, p. 738S–742S, 2009.

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

DE SMET, S.; RAES, K.; DEMEYER, D. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. **Animal Research**, v. 53, n. 2, p. 81–98, 2004.

ENGLE, T. E.; SPEARS, J. W.; FELLNER, V.; ODLE, J. Effects of soybean oil and dietary copper on ruminal and tissue lipid metabolism in finishing steers. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 10, p. 2713–2721, 2000.

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

FOX, D.; SNIFFEN, C.; O'CONNOR, J.; RUSSELL, J.; SOEST, P. Van. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. **Journal of Animal Science**, v. 70, n. 11, p. 3578–3596, 1992.

GAMA, L. T.; BRESSAN, M. C.; RODRIGUES, E. C.; ROSSATO, L. V.; MOREIRA, O. C.; ALVES, S. P.; BESSA, R. J. B. Heterosis for meat quality and fatty acid profiles in crosses among *Bos indicus* and *Bos taurus* finished on pasture or grain. **Meat Science**, v. 93, n. 1, p. 98–104, 2013.

GILLIS, M. H.; DUCKETT, S. K.; SACKMANN, J. R.; REALINI, C. E.; KEISLER, D. H.; PRINGLE, T. D. Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or linoleic acid on feedlot performance, carcass quality, and leptin concentrations in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 82, p. 851–859, 2004.

GRUFFAT, D.; CHERFAOUI, M.; BONNET, M.; THOMAS, A.; BAUCHART, D.; DURAND, D. 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**, v. 91, n. 7, p. 3059–3069, 2013.

HE, M. L.; MIR, P. S.; SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K.; SHARMA, R.; BROWN, F. A.; TRAVIS, G.; ENTZ, T.; LEMIEUX, R. O.; DUGAN, M. E. R.; ROLLAND, D.; OKINE, E.; DODSON, M. V. Effect of supplementation of beef steer diets with oil containing n6 and n3 fatty acids and 48h feed withdrawal treatments on plasma hormone profiles and adipose tissue cellularity. **Livestock Science**, v. 142, p. 253–263, 2011.

HUFFMAN, K. L.; MILLER, M. F.; HOOVER, L. C.; WU, C. K.; BRITTIN, H. C.; RAMSEY, C. B. Effect of beef tenderness on consumer satisfaction with steaks consumed in the home and restaurant. **Journal of Animal Science**, v. 74, n. 1, p. 91–97, 1996.

KIM, Y. H. B.; KEMP, R.; SAMUELSSON, L. M. Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. **Meat Science**, v. 111, p. 168–176, 2016.

KODANI, Y.; MIYAKAWA, T.; KOMATSU, T.; TANOKURA, M. NMR-based metabolomics for simultaneously evaluating multiple determinants of primary beef quality in Japanese Black cattle. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–13, 2017.

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

KOSLOSKI, G. V. **Bioquímica dos ruminantes**. 2. ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

KOUTSIDIS, G.; ELMORE, J. S.; ORUNA-CONCHA, M. J.; CAMPO, M. M.; WOOD, J. D.; MOTTRAM, D. S. Water-soluble precursors of beef flavour. Part I: Effect of diet and breed. **Meat Science**, v. 79, n. 2, p. 124–130, 2008a.

KOUTSIDIS, G.; ELMORE, J. S.; ORUNA-CONCHA, M. J.; CAMPO, M. M.; WOOD, J. D.; MOTTRAM, D. S. Water-soluble precursors of beef flavour. Part II: Effect of post-mortem conditioning. **Meat Science**, v. 79, n. 2, p. 270–277, 2008b.

LADEIRA, M.; SCHOONMAKER, J.; GIONBELLI, M.; DIAS, J.; GIONBELLI, T.; CARVALHO, J.; TEIXEIRA, P. Nutrigenomics and beef quality: a review about lipogenesis. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 6, p. 918, 2016.

LUDDEN, P. A.; KUCUK, O.; RULE, D. C.; HESS, B. W. Growth and carcass fatty acid composition of beef steers fed soybean oil for increasing duration before slaughter. **Meat Science**, v. 82, n. 2, p. 185–192, 2009.

MCLAUGHLIN, T.; CRAIG, C.; LIU, L.-F.; PERELMAN, D.; ALLISTER, C.; SPIELMAN, D.; CUSHMAN, S. W. Adipose cell size and regional fat deposition as predictors of metabolic response to overfeeding in insulin-resistant and insulin-sensitive humans. **Diabetes**, v. 66, n. 3, p. 1–31, 2017.

MUROYA, S.; OE, M.; NAKAJIMA, I.; OJIMA, K.; CHIKUNI, K. CE-TOF MS-based metabolomic profiling revealed characteristic metabolic pathways in postmortem porcine fast and slow type muscles. **Meat Science**, v. 98, n. 4, p. 726–735, 2014.

NISHIMURA, T.; KATO, H. Taste of free amino acids and peptides. **Food Reviews International**, v. 4, n. 2, p. 175–194, 1988.

NISHIMURA, T.; RHUE, M. R.; OKITANI, A.; KATO, H. Components contributing to the improvement of meat taste during storage. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 52, n. 9, p. 2323–2330, 1988.

NRC. **Nutrient requirement of beef cattle**. 8. ed. Washington, DC: The National Academies Press, 2016.

NUERNBERG, K.; DANNENBERGER, D.; NUERNBERG, G.; ENDER, K.; VOIGT, J.; SCOLLAN, N. D.; WOOD, J. D.; NUTE, G. R.; RICHARDSON, R. I. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds. **Livestock Production Science**, v. 94, n. 1–2, p. 137–147, 2005.

NÜRNBERG, K.; ENDER, B.; PAPSTEIN, H. Effects of growth and breed on the fatty acid composition of the muscle lipids in cattle. **European Food Research and Technology**, v. 208, p. 332–335, 1999.

OKUMURA, T.; SAITO, K.; NADE, T.; MISUMI, S.; MASUDA, Y.; SAKUMA, H.; NAKAYAMA, S.; FUJITA, K.; KAWAMURA, T. Effects of intramuscular fat on the sensory characteristics of M. longissimus dorsi in Japanese Black steers as judged by a trained analytical panel. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 20, n. 4, p. 577–581, 2007.

OLIVEIRA, E. A.; SAMPAIO, A. A. M.; HENRIQUE, W.; PIVARO, T. M.; ROSA, B. L.; FERNANDES, A. R. M.; ANDRADE, A. T. Quality traits and lipid composition of meat from Nelore young bulls fed with different oils either protected or unprotected from rumen degradation. **Meat Science**, v. 90, n. 1, p. 28–35, 2012.

OWENS, F. N.; DUBESKI, P.; HANSON, C. F. Factors that alter the growth and development of ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 71, n. 11, p. 3138–3150, 1993.

PALMQUIST, D. L.; JENKINS, T. C. Fat in lactation rations: review. **Journal of Dairy Science**, v. 63, n. 1, p. 1–14, 1980.

PALMQUIST, D. L.; MATTOS, W. R. S. Metabolismo de lipídeos. In: **Nutrição de Ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. p. 287–310.

PETHICK, D. W.; HARPER, G. S.; ODDY, V. H. Growth, development and nutritional manipulation of marbling in cattle: A review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 7, p. 705–715, 2004.

PRADO, I.; PRADO, R.; ROTTA, P.; VISANTAINER, J.; MOLETTA, J.; PEROTTO, D. 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.

RENNIE, M. J.; MILLWARD, D. J. 3-Methylhistidine excretion and the urinary 3-methylhistidine/creatinine ratio are poor indicators of skeletal muscle protein breakdown. **Clinical Science (London, England : 1979)**, v. 65, n. 3, p. 217–25, 1983.

SAVORANI, F.; TOMASI, G.; ENGELSEN, S. B. icoshift: A versatile tool for the rapid alignment of 1D NMR spectra. **Journal of Magnetic Resonance**, v. 202, n. 2, 190–202, 2010.

SCHUTT, K. M.; ARTHUR, P. F.; BURROW, H. M. Brahman and Brahman crossbred cattle grown on pasture and in feedlots in subtropical and temperate Australia. Feed efficiency and feeding behaviour of feedlot-finished animals. **Animal Production Science**, v. 49, p. 452–460, 2009.

SCRAMLIN, S. M.; PLATTER, W. J.; GOMEZ, R. A.; CHOAT, W. T.; MCKEITH, F. K.; KILLEFER, J. Comparative Effects of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass traits, and longissimus tenderness of finishing steers. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 5, p. 1823–1829, 2010.

SMITH, S. B.; CROUSE, J. D. Relative contributions of acetate, lactate and glucose to lipogenesis in bovine intramuscular and subcutaneous adipose tissue. **The Journal of Nutrition**, v. 114, n. 4, p. 792–800, 1984.

STRAADT, I. K.; AASLYNG, M. D.; BERTRAM, H. C. Assessment of meat quality by NMR—an investigation of pork products originating from different breeds. **Magnetic Resonance in Chemistry**, v. 49, p. S71–S78, 2011.

STRAADT, I. K.; AASLYNG, M. D.; BERTRAM, H. C. An NMR-based metabolomics study of pork from different crossbreeds and relation to sensory perception. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 719–728, 2014.

USDA. 2016. United States Standards for Grades of Carcass Beef. **United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service**, 2016. Disponível em: <<https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Carcass%20Beef%20Standard.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

VASCONCELOS, J. T.; RATHMANN, R. J.; REUTER, R. R.; LEIBOVICH, J.; MCMENIMAN, J. P.; HALES, K. E.; COVEY, T. L.; MILLER, M. F.; NICHOLS, W. T.; GALYEAN, M. L. Effects of duration of zilpaterol hydrochloride feeding and days on the finishing diet on feedlot cattle performance and carcass traits. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 8, p. 2005–2015, 2008.

VIRGILI, F.; MAIANI, G.; ZAHOOR, Z. H.; CIARAPICA, D.; RAGUZZINI, A.; FERRO-LUZZI, A. Relationship between fat-free mass and urinary excretion of creatinine and 3-methylhistidine in adult humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 76, n. 5, p. 1946–1950, 1994.

WHEELER, T. L.; CUNDIFF, L. V.; SHACKELFORD, S. D.; KOOHMARAIE, M. Characterization of biological types of cattle (cycle V): Carcass traits and longissimus palatability. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 5, p. 1209–1222, 2001.

WOOD, J. D.; ENSER, M.; FISHER, A. V.; NUTE, G. R.; SHEARD, P. R.; RICHARDSON, R. I.; HUGHES, S. I.; WHITTINGTON, F. M. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. **Meat Science**, v. 78, n. 4, p. 343–358, 2008.

ZAWADZKI, A.; ARRIVETTI, L. O. R.; VIDAL, M. P.; CATAI, J. R.; NASSU, R. T.; TULLIO, R. R.; BERNDT, A.; OLIVEIRA, C. R.; FERREIRA, A. G.; NEVES-JUNIOR, L. F.; COLNAGO, L. A.; SKIBSTED, L. H.; CARDOSO, D. R. Mate extract as feed additive for improvement of beef quality. **Food Research International**, v. 99, p. 336–347, 2017.

3. VIDA ÚTIL, PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E SAUDABILIDADE DA CARNE DE BOVINOS DE DIFERENTES GRUPOS GENÉTICOS SUPLEMENTADOS COM ÁCIDOS GRAXOS POLI-INSATURADOS

3.1. Introdução

O consumo de carne bovina tem sido associado negativamente com a saúde humana devido a sua alta concentração de AGS e baixa concentração de AGPI na GIM, o que pode levar ao aumento na concentração de colesterol plasmático e, consequentemente, doenças cardiovasculares em humanos. Nesse sentido, atualmente há um interesse em reduzir a quantidade de AGS e aumentar os níveis de alguns AG específicos na carne bovina, incluindo os AGPI n-3 e alguns isômeros do CLA (GEBAUER et al., 2011). Além disso, de acordo com Castro et al. (2016), o aumento da quantidade de AGPI pode diminuir os índices aterogênicos da carne, desempenhando um papel benéfico na saúde humana (CASTRO et al., 2016).

A dieta e a genética do animal são conhecidas por afetar a deposição de GIM e o perfil de AG da carne (PITCHFORD et al., 2002; DE SMET; RAES; DEMEYER, 2004; BRESSAN et al., 2016). De um modo geral, a carne de bovinos alimentados com óleos vegetais tem um perfil de AG mais desejável. Os óleos vegetais promovem uma maior disponibilidade de AGPI no rúmen e, consequentemente, sua provável incorporação na GIM (ENGLE et al., 2000; BEAULIEU; DRACKLEY; MERCHEN, 2002), tornando-a, assim, mais saudável para o consumidor e com um maior valor agregado.

Do mesmo modo, os efeitos genéticos desempenham um papel fundamental no perfil de AG da carne, principalmente em relação às diferentes atividades das enzimas envolvidas no metabolismo lipídico (OOSTERVEER et al., 2009; GAMA et al., 2013; GRUFFAT et al., 2013). Grupos genéticos com menores taxas de deposição de GIM, como os *Bos indicus*, são esperados a produzir carne com maior quantidade de AGPI (DE SMET et al., 2004). Além disso, cruzamentos *Bos taurus* x *Bos indicus*, os quais são amplamente utilizados, têm heterose comprovada para o perfil de AG (GAMA et al., 2013). No entanto, como a composição química da carne está diretamente relacionada à sua qualidade, mudanças no perfil de AG podem também

afetar sua estabilidade oxidativa e, conseqüentemente, a vida útil, estabilidade da cor e propriedades sensoriais da carne.

Muitos estudos avaliando a suplementação com AGPI na dieta de animais com alta deposição de GIM têm mostrado mudanças no perfil de AG da carne (MIR et al., 2003; HE et al., 2011), enquanto que estudos avaliando a suplementação com AGPI na dieta de animais com baixa deposição de GIM apresentam resultados inconsistentes, nos quais autores reportaram mudanças (BRESSAN et al., 2016; CASTRO et al., 2016) ou não (OKUMURA et al., 2007; GRUFFAT et al., 2013) no perfil de AG da carne. Portanto, este trabalho foi desenvolvido para avaliar o efeito da suplementação com AGPI sobre a vida útil, perfil de AG e a saudabilidade da carne de bovinos de diferentes predisposições genéticas para deposição de GIM.

3.2. Material e métodos

Todos os procedimentos usados para esse experimento foram conduzidos de acordo com o Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA número 7294130616) e aprovados pelo respectivo comitê de ética da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo campus Fernando Costa.

3.2.1. Animais e tratamentos

O experimento foi conduzido no Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo campus Fernando Costa, Pirassununga, São Paulo.

Foram utilizados 60 machos não-castrados, dos quais 30 Nelore (NE) e 30 cruzados Nelore x Aberdeen Angus (NA), com uma média de 363 ± 28 kg de peso vivo inicial e 24 meses de idade. Os animais foram designados a um delineamento em blocos casualizados (peso vivo inicial e raça) com um arranjo fatorial 2 x 2 (dieta e grupo genético), usando 15 repetições por tratamentos. As dietas foram: controle (CO) - dieta base, sem adição de óleo de soja; óleo de soja (OS) - dieta base contendo 3,5% de óleo de soja em substituição ao milho grão moído.

Um dia antes ao início do experimento, os animais foram identificados com brincos na orelha, pesados, bloqueados pelo peso inicial e atribuídos aleatoriamente,

dentro do bloco, aos tratamentos. As baias tinham dimensões de 6 x 3 m, com piso de concreto, bebedouros automáticos e cochos de concreto com 3 m de comprimento. Posteriormente, os animais foram submetidos a um período de adaptação às instalações e às dietas de 10 dias, de acordo com o modelo de adaptação em escada, o qual iniciou-se na relação concentrado:volumoso de 30:70 e foi aumentando gradualmente a cada dois dias em 45:55, 60:40 e 75:25, até alcançar os 85:15 proposto para o experimento.

A alimentação foi oferecida *ad libitum*, duas vezes ao dia (8 horas e 16 horas), com uma dieta contendo 85% de concentrado e 15% de volumoso (TABELA 1), durante 133 dias de confinamento. A cada dois dias as sobras foram retiradas, pesadas e amostradas para determinação da matéria seca. O ajuste da oferta de alimento foi realizado a cada dois dias com base na avaliação das sobras dos dias anteriores, com uma oferta de matéria seca 10% superior ao consumo observado para assegurar que não houvesse falta ou excesso de alimento no cocho.

As dietas foram formuladas para atender ou exceder todas as exigências nutricionais de bovinos em terminação, de acordo com as demandas nutricionais estimadas pelo sistema CNCPS (FOX et al., 1992) a partir do software RLM (Esalq/USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil).

3.2.2. Abate e coleta de amostras da carne

Após 133 dias de alimentação, grupos de 20 animais foram carregados em caminhões e transportados para um frigorífico comercial (Dom Glutão, Ibitinga, SP, Brasil) localizado a 184 km do confinamento experimental. Na chegada ao frigorífico, os animais foram mantidos em descanso por aproximadamente 16 horas, com acesso livre a água, e foram abatidos de acordo com os procedimentos humanitários exigidos pela legislação brasileira. As carcaças foram suspensas pelo tendão de Aquiles e não houve estimulação elétrica.

Posteriormente, as meias-carcaças esquerdas foram identificadas e resfriadas (0 – 2 °C) por 48 horas. Após o resfriamento, as carcaças foram divididas entre a 11° e a 13° costelas, onde aproximadamente 5,5 cm do músculo *Longissimus thoracis* foram amostrados, na direção caudo-cranial, identificados individualmente, embalados a vácuo e maturados (0 – 4 °C) durante sete dias (nove dias pós-abate).

Após o tempo de maturação, uma amostra de 25 mm e duas amostras de 15 mm de espessura foram obtidos para posterior análise de qualidade da carne.

3.2.3. Vida útil e oxidação lipídica

As amostras de 1,5 cm de espessura foram deixadas expostas ao oxigênio por 30 minutos de 4 °C a 6 °C e em seguida foi realizada uma avaliação objetiva da cor da carne utilizando o sistema CIELab (CIE, 1986) através de um espectrofotômetro portátil, modelo CM2500d (Konica Minolta Brasil, São Paulo, Brasil) com iluminante padrão D₆₅, ângulo de observação de 10° e abertura do obturador de 30 mm. Posteriormente, as amostras foram colocadas sobre um absorvente de purga em bandejas de poliestireno e embrulhadas em papel filme permeável ao oxigênio, por 3 e 5 dias, sob condições simuladas de exposição no varejo (4 °C e iluminação de 1.000 lux), de acordo com a metodologia proposta por Vatansever et al. (2000). No final de cada tempo de exposição, a cor objetiva da carne foi realizada conforme descrito previamente (CIE, 1986). Em seguida, as amostras foram congeladas (-20 °C) em papel alumínio para as análises de oxidação lipídica.

A partir do uso das coordenadas L*, a* e b*, obtidas nas determinações colorimétricas, foram calculados o croma (C*), ângulo de inclinação (H*), de acordo com Macdougall (1994), e a percepção subjetiva de descoloração da carne (ΔE), de acordo com Prandl et al. (1994).

A oxidação lipídica foi quantificada nas amostras de 0, 3 e 5 dias de exposição sob condições simuladas de varejo, as quais foram trituradas, homogeneizadas e analisadas para TBARS, conforme metodologia proposta por Vyncke (1975) e modificada por Sorensen; Jorgensen (1996). As leituras das absorbâncias foram realizadas em 530 e 632 nm. Uma curva padrão com 5 pontos foi preparada utilizando-se uma solução de tetraetoxipropano de concentração conhecida. A concentração de MDA das amostras foi obtida por meio da equação fornecida pela curva padrão.

3.2.4. Extração dos lipídeos totais

Cerca de 50 gramas da amostra crua foram coletadas e homogeneizadas em um processador (Mixer Walita modelo RI1364 com microprocessador – Philips do

Brasil LTDA – Varginha, Minas Gerais, Brasil). Posteriormente, os lipídeos foram extraídos por meio da homogeneização de cerca de 3 gramas de amostra com uma solução de clorofórmio:metanol:água destilada (2:1:0,8), isolados por meio da adição de uma solução de cloreto de sódio a 1,5%, e determinados por gravimetria (BLIGH; DYER, 1959).

3.2.5. Perfil de ácidos graxos

Uma sub amostra de aproximadamente 2,8 gramas, do centro da amostra crua, foi utilizada para a realização do perfil de AG da carne. A extração foi realizada pelo método descrito por Folch et al. (1957), no qual os lipídeos foram extraídos por homogeneização da amostra com uma solução de clorofórmio:metanol (2:1). Em seguida, os lipídeos foram isolados após a adição de solução de cloreto de sódio a 1,5%. A gordura isolada foi metilada e os ésteres metílicos foram formados de acordo com metodologia descrita por Kramer et al. (1997).

Os AG foram quantificados por cromatografia gasosa (CG-2010 Plus - Shimadzu, auto injetor AOC 20i), usando coluna capilar SP-2560 (100 m × 0,25 mm de diâmetro com 0,02 mm de espessura, Supelco, Bellefonte, PA). A temperatura inicial da coluna foi de 45 °C, com aquecimento progressivo até chegar a 175 °C, mantendo-se por 27 minutos. Em seguida, um novo aumento de 4 °C/minuto foi iniciado até 215 °C, mantendo-se durante 35 minutos. Foi utilizado hidrogênio como gás de arraste com fluxo de 40 cm³/segundo. Os AG foram identificados de acordo com o tempo de retenção dos ésteres metílicos das amostras utilizando-se os padrões de AG C4-C24 (FAME Sigma®), mistura de referência 463 (Nu-Chek®), C18:1 trans-11 (V038-1G, Sigma®), C18:2 trans-10 cis-12 (UC-61M 100mg - Nu-Chek®), C18:2 cis-9, trans-11 (UC- 60M 100mg - Nu-Chek®), ácido tricosanóico (Sigma®) e ácido nonadecanóico (Sigma®). Os AG foram quantificados por normalização da área dos picos dos ésteres metílicos por meio do *software* GS solution 2.42. Os AG foram expressos em porcentagem do total de ésteres metílicos quantificados. As análises foram realizadas no Laboratório de Ciência da Carne da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, Pirassununga, São Paulo, Brasil.

3.2.6. Saudabilidade da carne e atividade estimada das enzimas envolvidas no metabolismo de lipídeos

Com base nos resultados de perfil de AG foram estimados a atividade da elongase e os índices de dessaturação do carbono 14 (ID14), 16 (ID16) e 18 (ID18). Além disso, os índices de aterogenicidade (IA), trombogenicidade (IT), e saúde (IS), bem como a relação hipo/hipercolesterolêmico (HH) foram calculados de acordo com a metodologia proposta por Ulbricht; Southgate (1991). Um índice de qualidade geral (IQ) da carne em relação ao seu impacto sobre a saúde humana foi desenvolvido com base no seu efeito benéfico ou maléfico ao organismo humano (MCAFEE et al., 2010).

3.2.7. Análise estatística

Os dados foram avaliados como um delineamento em blocos casualizados em um arranjo fatorial 2 x 2 (dieta e grupo genético) com 15 repetições por tratamento. A dieta, o grupo genético e sua interação foram considerados como efeitos fixos. O bloco (peso vivo inicial) foi considerado com um efeito aleatório e o animal foi considerado a unidade experimental. As características relacionadas à vida útil e à oxidação lipídica foram analisadas como medidas repetidas no tempo. As estruturas de covariância foram avaliadas e a melhor matriz foi utilizada.

Todos os dados foram analisados utilizando o procedimento MIXED do *software* SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Car, NC, EUA). A média dos quadrados mínimos foi utilizada para calcular as médias ajustadas por tratamento. As médias foram comparadas pelo teste *t* de Student e as diferenças foram consideradas estatisticamente significativas quando $P \leq 0,05$ e tendências quando $0,05 < P \leq 0,10$.

3.3. Resultados e discussão

Não houve interação entre dieta e grupo genético, bem como entre dieta e/ou grupo genético e tempo de exposição da carne sob condições simuladas de varejo para nenhuma característica avaliada. Portanto, ambos os fatores podem ser considerados independentes.

3.3.1. Vida útil da carne

Houve uma associação quadrática entre o tempo de exposição da carne e os valores L^* , a^* e b^* ($P < 0,0001$) do músculo *Longissimus* (TABELA 6). Além disso, os valores de b^* após cinco dias de exposição da carne (12,2) ficaram acima do limiar médio (6,1 a 11,3) relatados por Muchenje et al. (2009).

Os valores de b^* podem aumentar devido à oxidação da mioglobina presente na superfície da carne (LUCIANO et al., 2009) e devido ao aumento dos compostos nitrogenados, tais como as aminas, resultantes da proteólise de enzimas endógenas e do metabolismo microbiano, as quais favorecem a formação da metamioglobina (OLIVEIRA et al., 2012). No presente estudo, o H^* aumentou linearmente enquanto que o C^* diminuiu quadraticamente ao longo do tempo de exposição (ambos $P < 0,0001$), o que sugere uma descoloração da carne, assim como reportado por Lee et al. (2005).

Concomitantemente às mudanças observadas no padrão objetivo de cor da carne ao longo do tempo de exposição, mudanças globais no comportamento da cor foram observadas aos três ($\Delta E_{0-3} = 4,7$) e cinco ($\Delta E_{0-5} = 8,4$) dias de exposição da carne ($P < 0,0001$; FIGURA 8). As mudanças podem ser classificadas como uma percepção subjetiva muito clara, aos três dias, e claramente perceptíveis, aos cinco dias, da descoloração da carne ao olho humano, de acordo com a escala apresentado por Prandl et al. (1994) (TABELA 7). Portanto, o tempo de exposição aumenta o ΔE devido aos processos de proteólise das estruturas celulares, com perda da capacidade de retenção de água e oxidação de pigmentos de cor (LUCIANO et al., 2009).

Tabela 6 – Cor e oxidação lipídica da carne sob condições simuladas de exposição em varejo.

Características ¹	Tempo, dia			EPM	Pr > F	Efeito
	0	3	5			
L*	38,3	38,5	35,6	0,53	<0,0001	Q
a*	19,8	19,8	14,3	0,67	<0,0001	Q
b*	15,4	15,6	12,2	0,39	<0,0001	Q
C*	25,1	25,2	18,8	0,72	<0,0001	Q
H*	37,9	38,2	40,5	1,16	<0,0001	L
TBARS (mg MDA/kg)	0,14	0,16	0,26	0,02	<0,0001	L

¹ L* = luminosidade (preto a branco); a* = intensidade de vermelho (verde a vermelho); b* = intensidade de amarelo (azul a amarelo); C* = croma; H* = ângulo de inclinação; TBARS = substâncias reagentes ao ácido tiobarbitúrico; MDA = malonaldeído.

$C^* = ((a^*)^2 + (b^*)^2) \times 0,5$; $H^* = \arctan(b^* \div a^*) \times 180 \div \pi$;

Fonte: própria autoria.

Figura 8 – Percepção subjetiva da descoloração da carne ao olho humano (ΔE^*) ao longo do tempo de exposição da carne em condições simuladas de varejo.

$\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2) \times 0,5$.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 7 – Escala e interpretação da percepção subjetiva de descoloração da carne (ΔE).

ΔE	Interpretação
0,0 – 0,2	Imperceptível
0,2 – 0,5	Muito pouco perceptível
0,5 – 1,5	Pouco perceptível
1,5 – 3,0	Evidente
3,0 – 6,0	Muito evidente
6,0 – 12,0	Bastante evidente
12,0 – 14,0	Claramente evidente

Fonte: Adaptado de PRANDL, O.; FISCHER, A.; SCHMIDHOFER, T.; JURGEN-SINELL, H. **Tecnologia e higiene de la carne**. Zaragoza: Acribia, 1995.

No presente estudo, os valores de TBARS aumentaram linearmente ao longo do tempo de exposição ($P < 0,0001$). A oxidação lipídica da carne é indicada pela susceptibilidade à rancidez e à estabilidade da cor (POUZO et al., 2016), que, por sua vez, está relacionada ao acúmulo de produtos oriundos da oxidação dos AG, principalmente os AGPI, e da mioglobina (RODAS-GONZALEZ et al., 2011). Portanto, o aumento da oxidação lipídica derivado do provável aumento na oxidação dos AGPI e da mioglobina desempenham um papel importante na descoloração da carne ao longo do tempo de exposição (FAUSTMAN et al., 2010). No entanto, mesmo com uma descoloração da carne ocorrida neste estudo, os valores de TBARS podem ser considerados baixos quando comparados aos relatados na literatura. Rodas-Gonzalez et al. (2011) e Oliveira et al. (2012) encontraram 0,33 e 0,35 mg MDA/kg, respectivamente, em amostras do músculo *Longissimus* expostos por três dias, enquanto que Colle et al. (2005) encontrou 0,34 mg MDA/kg em amostras semelhantes expostas por quatro dias.

A oxidação lipídica pode afetar negativamente o sabor da carne. Segundo McKenna et al. (2005), a partir de 1 mg de MDA/kg de tecido a rancidez da carne pode ser detectada pelos consumidores. Por outro lado, Campo et al. (2006) relatou que somente a partir de 2,3 mg MDA/kg de tecido a rancidez da carne poderia ser detectada pelos consumidores. Apesar da grande diferença entre os limiares estabelecidos na literatura, os valores de TBARS encontrados no presente estudo

ficaram bem abaixo deles, podendo-se afirmar que não houve efeito da oxidação lipídica sobre o sabor da carne durante os tempos de exposição.

3.3.2. Cor da carne

Não houve efeito da suplementação com AGPI sobre os atributos de cor da carne (TABELA 8). Essa característica é o principal fator de decisão de compra da carne, uma vez que os consumidores utilizam a descoloração como um indicador de frescor e saudabilidade (JOO et al., 2013; MANCINI; HUNT, 2015). Do mesmo modo, muitos trabalhos também reportaram não haver efeito da suplementação com óleos vegetais sobre o padrão de cor da carne (OLIVEIRA et al., 2012; GONZALEZ et al., 2014).

Tabela 8 – Efeito da dieta (DT) e do grupo genético (GG) sobre a cor da carne.

Características ¹	DT ²		GG ³		EPM	Pr > F		
	CO	OS	NE	NA		DT	GG	DT*GG
L*	37,5	37,4	38,4	36,6	0,48	0,7844	0,0003	0,5441
a*	17,9	18,1	18,4	17,6	0,61	0,7040	0,1790	0,4389
b*	14,3	14,5	15,1	13,7	0,33	0,7753	0,0023	0,1978
ΔE	5,7	7,3	6,8	6,3	0,56	0,0215	0,4391	0,8515
C*	22,9	23,2	23,8	22,3	0,64	0,7271	0,0358	0,3400
H*	38,6	38,7	39,4	37,9	1,10	0,7176	0,0073	0,2430

¹ L* = luminosidade (preto a branco); a* = intensidade de vermelho (verde a vermelho); b* = intensidade de amarelo (azul a amarelo); ΔE = percepção subjetiva da diferença de cor ao olho humano; C* = croma; H* = ângulo de inclinação.

² CO = dieta base sem inclusão de óleo de soja; OS = dieta base contendo 3,5% de inclusão de óleo de soja em substituição ao milho grão moído.

³ NE = Nelore; NA = cruzamento Nelore x Angus.

$\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2) \times 0,5$; $C^* = ((a^*)^2 + (b^*)^2) \times 0,5$;

$H^* = \arctan(b^* \div a^*) \times 180 \div \pi$;

Fonte: própria autoria.

No presente estudo, no entanto, animais NE tiveram maiores valores de L* ($P = 0,0003$) e b* ($P = 0,0023$) do que animais NA. Além disso, ambos os grupos genéticos tiveram valores de L* dentro do limiar médio estabelecido por Muchenje et al. (2009), mas os valores de b* estavam acima desse limiar. Consequentemente,

animais NE mostraram uma maior descoloração da carne, devido ao maior C^* ($P = 0,0358$) e H^* ($P = 0,0073$), quando comparados com animais NA. Por outro lado, embora os valores de C^* e H^* pudessem indicar uma maior descoloração da carne em animais NE, isso não foi observado pelos valores de ΔE da carne, os quais foram similares entre os grupos genéticos. Desse modo, essas mudanças podem ser atribuídas à oxidação da mioglobina presente na superfície da carne, como reportado por Luciano et al. (2009).

3.3.3. Perfil de ácidos graxos da gordura intramuscular

Não houve efeito da suplementação com AGPI sobre os lipídeos totais da carne (TABELA 9). Além disso, os valores de lipídeos totais da carne foram considerados baixos em ambos os tratamentos (menor do que 2%). Similarmente a esse estudo, Oliveira et al. (2012) não observaram diferença na quantidade de lipídeos na carne de animais NE alimentados com 3,8% de óleo de soja, mesmo com uma quantidade de lipídeo maior do que 3% em ambos os tratamentos.

Apesar da semelhança na quantidade de lipídeos totais da carne, os animais alimentados com a dieta OS tiveram 31% mais formação de TBARS ($P = 0,0023$) do que em animais alimentados com a dieta CO, assim como reportado por Engle et al. (2000) e Beaulieu; Drackley; Merchen (2002). Esses resultados podem ser atribuídos à maior disponibilidade e provável incorporação de alguns AGPI da dieta na GIM, uma vez que os AGPI são mais susceptíveis à oxidação do que os AGS. No presente estudo, no entanto, os valores de TBARS podem ser considerados baixos comparados aos reportados na literatura (RODAS-GONZALEZ et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2012; COLLE et al., 2015). Do mesmo modo, eles ficaram bem abaixo dos limiares estabelecidos por McKenna et al. (2005) e Campo et al. (2006) para promover rancidez à carne.

Tabela 9 – Efeito da dieta (DT) e do grupo genético (GG) sobre o perfil de ácidos graxos da carne.

Características ¹	DT ²		GG ³		EPM	Pr > F		
	CO	OS	NE	NA		DT	GG	DT*GG
Lipídeos totais (%)	1,8	2,0	1,8	2,0	0,16	0,5457	0,2690	0,2116
TBARS, mg MDA/kg	0,16	0,21	0,21	0,16	0,020	0,0023	0,0249	0,5750
C14:0	2,2	2,5	2,5	2,2	0,09	0,0199	0,1222	0,8648
C16:0	22,1	21,9	21,1	21,9	0,30	0,5773	0,5722	0,2675
C18:0	14,0	14,5	14,2	14,3	0,39	0,3914	0,7337	0,6602
C14:1 c9	0,54	0,50	0,56	0,47	0,032	0,0416	0,4205	0,4315
C16:1 c9	2,4	2,3	2,4	2,3	0,08	0,2367	0,2298	0,5729
C18:1 c9	34,7	31,6	33,5	32,9	0,74	0,0042	0,5864	0,5912
C18:2 n6	6,3	6,9	6,3	6,8	0,52	0,2154	0,3476	0,7853
C18:3 n3	0,31	0,29	0,32	0,29	0,025	0,5336	0,4076	0,9882
CLA c9 t11	0,22	0,37	0,32	0,27	0,025	<0,0001	0,2283	0,3825
C20:2 n6	0,09	0,08	0,08	0,09	0,006	0,3981	0,2391	0,9353
C20:3 n6	0,39	0,29	0,32	0,35	0,045	0,0499	0,5461	0,8971
C20:4 n6	1,5	1,3	1,3	1,5	0,21	0,2824	0,4301	0,8896
C20:5 n3	0,22	0,14	0,20	0,17	0,023	0,0133	0,3529	0,7729
C22:4 n6	0,19	0,15	0,16	0,18	0,028	0,1006	0,4206	0,9178
C22:5 n3	0,54	0,39	0,49	0,44	0,047	0,0217	0,4266	0,7802
C22:6 n3	0,06	0,04	0,05	0,05	0,006	0,0172	0,5518	0,6599
ID14	18,2	17,4	18,3	17,2	0,55	0,3158	0,1781	0,4198
ID16	9,7	9,3	9,7	9,3	0,25	0,2607	0,2681	0,9534
ID18	71,1	68,7	70,2	69,7	0,79	0,0369	0,6349	0,5217
Elongase	66,5	65,8	66,0	66,4	0,45	0,2989	0,5287	0,4265

¹ TBARS = substâncias reagentes ao ácido tiobarbitúrico; MDA = malonaldeído; CLA = ácido linoleico conjugado; ID = índice de dessaturação.

² CO = dieta base sem inclusão de óleo de soja; OS = dieta base contendo 3,5% de inclusão de óleo de soja em substituição ao milho grão moído.

³ NE = Nelore; NA = cruzamento Nelore x Angus.

$ID(14) = 100 * (C14:1 \text{ cis}9) / (C14:0 + C14:1 \text{ cis}9)$; $ID(16) = 100 * (C16:1 \text{ cis}9) / (C16:0 + C16:1 \text{ cis}9)$; $ID(18) = 100 * (C18:1 \text{ cis}9) / (C18:0 + C18:1 \text{ cis}9)$;

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

Fonte: própria autoria.

Apesar da baixa quantidade de lipídeos na carne, alguns AG foram modificados pela dieta. Embora não tenha ocorrido diferença na proporção de C18:0, o maior índice de dessaturação do carbono 18 (5%; $P = 0,0369$) em animais alimentados com a dieta CO pode ter levado ao aumento da proporção de C18:1 cis 9 (9%; $P = 0,0042$) nesses animais. Por outro lado, como a dieta OS é rica em C18:2, os animais que a

consumiram tiveram maior proporção de CLA (68%; $P < 0,0001$), oriundo da biohidrogenação incompleta de C18:2, do que animais alimentados com a dieta CO. Do mesmo modo, Gonzalez et al. (2014) e Oliveira et al. (2014) reportaram resultados similares ao alimentar animais com 4,5% e 3,8% de inclusão de óleo de soja, respectivamente.

Apesar da dieta OS também possuir maior concentração de C18:3 do que a dieta CO, cerca de 85% a 100% dos AGPI n-3 são biohidrogenados no rúmen (DOREAU; FERLAY, 1994). No presente estudo, a quantidade de AGPI n-3 disponíveis foram similares; portanto, a biohidrogenação ruminal pode não ter ocorrido de forma a permitir a passagem de uma quantidade significativa de AGPI para sua incorporação na carne. No entanto, os AGPI de cadeia longa, tais como o C20:5 n-3 ($P = 0,0133$), C22:5 n-3 ($P = 0,0217$) e C22:6 n-6 ($P = 0,0172$), tiveram maior proporção na carne de animais não suplementados, o que pode ser atribuído, provavelmente, à ação das enzimas $\Delta 5$ e $\Delta 6$ dessaturase. Em resposta ao aumento do C20:5 n-3, C22:5 n-3 e C22:6 n-6 em animais alimentados com a dieta CO, a soma dos AG n-3 nesses animais foi 30% maior do que em animais alimentados com a dieta OS ($P = 0,0287$; TABELA 10).

Além do aumento nos AG n-3, não houve mudança nos AG n-6, como o C20:4 n-6, em animais não suplementados e, conseqüentemente, houve uma menor relação n-6:n-3 ($P = 0,0256$) na carne desses animais, assim como reportado por Wood et al. (2008). No presente estudo, a relação n-6:n-3 foi 10,4:1 e 8,6:1 para os animais suplementados e não suplementados, respectivamente, as quais não são recomendadas na ingestão diária dos humanos (abaixo de 4,0 para a relação n-6:n-3 e acima de 0,45 para a relação AGPI:AGS) segundo DHSS (1994) e Wood et al. (2004). No entanto, analisando o perfil de AG, como um todo, dos animais suplementados e com base no IQ ($P = 0,0133$) e HH ($P = 0,0420$), gerado a partir deles, sugere-se que os animais não suplementados tiveram um melhor perfil de AG do que os animais suplementados.

Tabela 10 – Efeito da dieta (DT) e do grupo genético (GG) sobre o perfil de ácidos graxos da carne.

Características ¹	DT ²		GG ³		EPM	Pr > F		
	CO	OS	NE	NA		DT	GG	DT*GG
AGS, %	39,0	39,4	39,4	39,0	0,57	0,4631	0,5404	0,6294
AGMI, %	43,0	42,9	43,1	42,8	0,85	0,9050	0,7958	0,9849
AGPI, %	10,0	10,2	9,8	10,3	0,80	0,8833	0,5692	0,8263
AGPI/AGS	0,26	0,26	0,25	0,27	0,025	0,9730	0,5105	0,8328
n-3, %	1,12	0,86	1,05	0,93	0,093	0,0287	0,3125	0,8565
n-6, %	8,5	8,7	8,3	8,8	0,78	0,7474	0,3977	0,8695
n-6/n-3	8,6	10,4	8,4	10,6	0,86	0,0256	0,0105	0,6335
IQ	82,5	74,6	80,2	76,8	2,18	0,0133	0,2795	0,9819
IA	0,59	0,61	0,61	0,58	0,015	0,3835	0,1218	0,4840
HH	1,8	1,7	1,7	1,8	0,04	0,0420	0,3682	0,4678
IS	1,7	1,7	1,7	1,8	0,04	0,3693	0,2164	0,4461
IT	1,3	1,4	1,3	1,3	0,03	0,1814	0,9189	0,5613

¹ AGS = ácido graxo saturado; AGMI = ácido graxo monoinsaturado; AGPI = ácido graxo poli-insaturado; IQ = índice de qualidade; IA = índice de aterogenicidade; HH = índice de hipo-hipercolesterolemia; IS = índice de saúde; IT = índice de trombogenicidade.

² CO = dieta base sem inclusão de óleo de soja; OS = dieta base contendo 3,5% de inclusão de óleo de soja em substituição ao milho grão moído.

³ NE = Nelore; NA = cruzamento Nelore x Angus.

$$IQ = Z_{C18:2cis9,trans11i} + Z_{C18:2cis9,12i} + Z_{C18:3cis9,12,15i} + Z_{C20:4cis5,8,11,14i} + Z_{C20:5i} + Z_{C22:6i} + Z_{HHi} + Z_{ISi} + Z_{AGMIi} + Z_{AGPIi} + \frac{Z_{AGPI}}{Z_{AGSI}} + Z_{n3i} + Z_{ID14i} + Z_{ID16i} + Z_{ID18i} - Z_{C12:0i} - Z_{C14:0i} -$$

$$Z_{C16:0i} - Z_{C18:1trans10i} - Z_{C18:1trans9i} - Z_{C18:2trans9,12i} - Z_{IAi} - Z_{AGSi} - Z_{ITi} - Z_{n6i} - \frac{Z_{n6}}{n3i}$$

$$IA = (C12:0 + 4C14:0 + C16:0) / (\sum(n6 + n3) + \sum AGMI)$$

$$HH = \frac{(C18:1cis9 + C18:2cis n6 + C20:4 n6 + C18:3 n3 + c20:5 n3 + C22:6 n3)}{(C14:0 + C16:0)}$$

$$IS = (\sum AGMI + \sum AGPI) / (4 * C14:0 + C16:0)$$

$$IT = \frac{0,5 * (C18:1 cis9) + 0,5 * (\sum AGMI - C18:1 cis9) + 0,5 * n6 + 3 * n3 + \left(\frac{(n3)}{(n6)} \right)}{(C14:0 + C16:0 + C18:0)}$$

$$IT = \frac{0,5 * (C18:1 cis9) + 0,5 * (\sum AGMI - C18:1 cis9) + 0,5 * n6 + 3 * n3 + \left(\frac{(n3)}{(n6)} \right)}{(C14:0 + C16:0 + C18:0)}$$

Fonte: Própria autoria.

Embora nenhuma diferença tenha sido observada para grupo genético sobre os lipídeos totais, assim como sobre o perfil de AG, os animais NE tiveram maior

formação de TBARS ($P = 0,0249$) do que animais NA. De Smet et al. (2000) e Bressan et al. (2016) reportaram que a GIM de animais *Bos taurus* é basicamente formada por triacilgliceróis enquanto que a GIM de animais NE é predominantemente composta por fosfolipídeos. No presente estudo, os dados de perfil de AG sugeriram uma composição similar de GIM entre animais NE e NA, como sugerido por Bressan et al. (2016). Os fosfolipídeos são formados basicamente por AGPI, enquanto que os triacilgliceróis são predominantemente compostos por AGS (DE SMET et al., 2000). Desse modo, a maior quantidade de TBARS formado na carne de animais NE poderia estar relacionada a um aumento nos AGPI da GIM quando comparado aos de animais NA. No presente estudo, no entanto, nenhuma diferença foi observada para qualquer AG, assim como para a soma dos AG.

Geralmente, espera-se que animais NE tenham uma menor quantidade de GIM e, conseqüentemente, um melhor perfil de AG do que animais NA (DE SMET et al., 2004; BRESSAN et al., 2016), produzindo uma carne magra e mais saudável. No presente estudo, no entanto, a quantidade de GIM foi similar entre os grupos genéticos (1,8 x 2,0 para NE e NA, respectivamente) e, conseqüentemente, o perfil de AG foi bastante similar. Os AG com a maior concentração na GIM foram o C16:0, C18:0 e C18:1 cis-9, representando 81,8% de sua composição lipídica em animais dos grupos NE e NA. Essa proporção foi superior aos 76% e 67,7% relatados por Andreo et al. (2016) e Lemos et al. (2016) em animais NE. Além disso, estudos usando animais *Bos taurus* (PITCHFORD et al., 2002) e *Bos indicus* (CESAR et al., 2014) também encontraram concentrações similares de AGS e AGMI na GIM, o que, no presente estudo, pode ser associada à falta de diferença nas enzimas envolvidas no metabolismo de AG, representadas pelos ID14, ID16, ID18 e elongase. Do mesmo modo, Rossato et al. (2009) não reportaram diferenças para ID16, ID18 e elongase entre animais *Bos taurus*, *Bos indicus* e cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus*.

Apesar da falta de diferença na soma dos AG n-3 e n-6, a carne de animais NA teve maior relação n-6:n-3 (26%; $P = 0,0105$) do que a carne de animais NE. No entanto, isso não afetou a saudabilidade da carne. Embora eles realizem funções opostas, ambos são necessários para a manutenção do balanço do organismo, portanto uma relação n-6:n-3 menor do que 4,0 e uma relação AGPI:AGS acima de 0,45 é recomendada para a ingestão diária dos humanos (DHSS, 1994; WOOD et al., 2004). No entanto, as análises de carne bovina tem verificado valores de n-6:n-3 entre

1,5 e 10,4 (LEMOS et al., 2017). Além dessas relações, alguns estudos têm propostos índices para avaliar a saudabilidade da carne (ULBRICHT; SOUTHGATE, 1991; McAFEE et al., 2010). No entanto, no presente estudo não foi encontrada diferença do grupo genético sobre nenhum índice de saúde. Do mesmo modo, Rossato et al. (2009) não observaram diferenças para aterogenicidade entre animais *Bos taurus*, *Bos indicus* e cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus*. Knight et al. (2003) também reportaram índices aterogênicos similares na carne de animais de diferentes grupos genéticos.

3.4. Conclusão

A suplementação com AGPI reduz a deposição de AG da família n-3, o que leva a uma piora na relação n-6:n-3 e, consequentemente, a uma piora nos índices de saudabilidade da carne, independentemente do grupo genético alimentado. Por outro lado, o grupo genético tem efeitos mínimos sobre o perfil de AG da carne e, consequentemente, não altera a saudabilidade da carne, independentemente da dieta ofertada.

3.5. Referências bibliográficas

ANDREO, N.; BRIDI, A. M.; SOARES, A. L.; PROHMANN, P. E. F.; PERES, L. M.; TARSITANO, M. A.; DE LIMA GIANGARELI, B.; TAKABAYASHI, A. A. Fatty acid profile of beef from immunocastrated (BOPRIVA) Nellore bulls. **Meat Science**, v. 117, p. 12–17, 2016.

BEAULIEU, A. D.; DRACKLEY, J. K.; MERCHEN, N. R. Concentrations of conjugated linoleic acid (cis-9, trans-11-octadecadienoic acid) are not increased in tissue lipids of cattle fed a high-concentrate diet supplemented with soybean oil. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 3, p. 847–861, 2002.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911–917, 1959.

BRESSAN, M. C.; RODRIGUES, E. C.; DE, M. L.; RAMOS, E. M.; SILVA, J. S.; BESSA, B.; GAMA, L. T.; CRISTINA, M.; RODRIGUES, E. C.; DE, M. L.; RAMOS, E. M.; SILVA, J. S.; BESSA, R. B. Differences in intramuscular fatty acid profiles among *Bos indicus* and crossbred *Bos taurus* x *Bos indicus* bulls finished on pasture or with concentrate feed in Brazil. **Italian Journal of Animal Science**, v. 15, p. 10–21, 2016.

CAMPO, M. M.; NUTE, G. R.; HUGHES, S. I.; ENSER, M.; WOOD, J. D.; RICHARDSON, R. I. Flavour perception of oxidation in beef. **Meat Science**, v. 72, n. 2, p. 303–311, 2006.

CASTRO, T.; CABEZAS, A.; DE LA FUENTE, J.; ISABEL, B.; MANZO, T.; JIMENO, V. Animal performance and meat characteristics in steers reared in intensive conditions fed with different vegetable oils. **Animal**, v. 10, n. 3, p. 520–530, 2016.

CESAR, A. S.; REGITANO, L. C.; MOURÃO, G. B.; TULLIO, R. R.; LANNA, D. P.; NASSU, R. T.; MUDADO, M. A.; OLIVEIRA, P. S.; DO NASCIMENTO, M. L.; CHAVES, A. S.; ALENCAR, M. M.; SONSTEGARD, T. S.; GARRICK, D. J.; REECY, J. M.; COUTINHO, L. L. Genome-wide association study for intramuscular fat deposition and composition in Nellore cattle. **BMC Genetics**, v. 15, n. 1, p. 39–54, 2014.

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

COLLE, M. J.; RICHARD, R. P.; KILLINGER, K. M.; BOHLSCHEID, J. C.; GRAY, A. R.; LOUCKS, W. I.; DAY, R. N.; COCHRAN, A. S.; NASADOS, J. A.; DOUMIT, M. E. Influence of extended aging on beef quality characteristics and sensory perception of steaks from the gluteus medius and longissimus lumborum. **Meat science**, v. 110, p. 32–9, 2015.

DE SMET, S.; RAES, K.; DEMEYER, D. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. **Animal Research**, v. 53, n. 2, p. 81–98, 2004.

DE SMET, S.; WEBB, E. C.; CLAEYS, E.; UYTTERHAEGEN, L.; DEMEYER, D. I. Effect of dietary energy and protein levels on fatty acid composition of intramuscular fat in double-musled Belgian Blue bulls. **Meat Science**, v. 56, p. 73–79, 2000.

DEPARTMENT OF HEALTH AND SOCIAL SECURITY (DHSS). Nutritional aspects of cardiovascular disease. **Report on Health and Social Subject (London)**, v. 46, p. 1-186, 1994.

DOREAU, M.; FERLAY, A. Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 45, n. 3–4, p. 379–396, 1994.

ENGLE, T. E.; SPEARS, J. W.; FELLNER, V.; ODLE, J. Effects of soybean oil and dietary copper on ruminal and tissue lipid metabolism in finishing steers. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 10, p. 2713–2721, 2000.

FAUSTMAN, C.; SUN, Q.; MANCINI, R.; SUMAN, S. P. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 86–94, 2010.

FOLCH, J.; LEES, M.; SLOANE-STANLEY, G. A simple method for the isolation and purification of lipids from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, v. 55, n. 5, p. 999–1033, 1957.

FOX, D.; SNIFFEN, C.; O'CONNOR, J.; RUSSELL, J.; SOEST, P. Van. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. **Journal of Animal Science**, v. 70, n. 11, p. 3578–3596, 1992.

GAMA, L. T.; BRESSAN, M. C.; RODRIGUES, E. C.; ROSSATO, L. V.; MOREIRA, O. C.; ALVES, S. P.; BESSA, R. J. B. Heterosis for meat quality and fatty acid profiles in crosses among *Bos indicus* and *Bos taurus* finished on pasture or grain. **Meat Science**, v. 93, n. 1, p. 98–104, 2013.

GEBAUER, S. K.; CHARDIGNY, J.; JAKOBSEN, M. U.; LAMARCHE, B.; LOCK, A. L.; PROCTOR, S. D.; BAER, D. J. Effects of ruminant trans fatty acids on cardiovascular disease and cancer: a comprehensive review of epidemiological, clinical, and mechanistic studies. **Advances in Nutrition**, v. 2, p. 332–354, 2011.

GONZALEZ, L.; MORENO, T.; BISPO, E.; DUGAN, M. E. R.; FRANCO, D. Effect of supplementing different oils: Linseed, sunflower and soybean, on animal performance, carcass characteristics, meat quality and fatty acid profile of veal from “Rubia Gallega” calves. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 829–836, 2014.

GRUFFAT, D.; CHERFAOUI, M.; BONNET, M.; THOMAS, A.; BAUCHART, D.; DURAND, D. 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**, v. 91, n. 7, p. 3059–3069, 2013.

HE, M. L.; MIR, P. S.; SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K.; SHARMA, R.; BROWN, F. A.; TRAVIS, G.; ENTZ, T.; LEMIEUX, R. O.; DUGAN, M. E. R.; ROLLAND, D.; OKINE, E.; DODSON, M. V. Effect of supplementation of beef steer diets with oil containing n6 and n3 fatty acids and 48h feed withdrawal treatments on plasma hormone profiles and adipose tissue cellularity. **Livestock Science**, v. 142, p. 253–263, 2011.

HUFFMAN, K. L.; MILLER, M. F.; HOOVER, L. C.; WU, C. K.; BRITTIN, H. C.; RAMSEY, C. B. Effect of beef tenderness on consumer satisfaction with steaks consumed in the home and restaurant. **Journal of Animal Science**, v. 74, n. 1, p. 91–97, 1996.

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

KNIGHT, T. W.; KNOWLES, S.; DEATH, A. F.; WEST, J.; AGNEW, M.; MORRIS, C. A.; PURCHAS, R. W. Factors affecting the variation in fatty acid concentrations in lean beef from grass-fed cattle in New Zealand and the implications for human health. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 2, p. 83–

95, 2003.

KRAMER, J. K.; FELLNER, V.; DUGAN, M. E.; SAUER, F. D.; MOSSOBA, M. M.; YURAWECZ, M. P. Evaluating acid and base catalysts in the methylation of milk and rumen fatty acids with special emphasis on conjugated dienes and total trans fatty acids. **Lipids**, v. 32, n. 11, p. 1219–1228, 1997.

LEE, S.; DECKER, E. A.; FAUSTMAN, C.; MANCINI, R. A. 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.

LEMOS, M. V. A.; CHIAIA, H. L. J.; BERTON, M. P.; FEITOSA, F. L. B.; ABOUJAUD, C.; CAMARGO, G. M. F.; PEREIRA, A. S. C.; ALBUQUERQUE, L. G.; FERRINHO, A. M.; MUELLER, L. F.; MAZALLI, M. R.; FURLAN, J. J. M.; CARVALHEIRO, R.; GORDO, D. M.; TONUSSI, R.; ESPIGOLAN, R.; SILVA, R. M. de O.; DE OLIVEIRA, H. N.; DUCKETT, S.; AGUILAR, I.; BALDI, F. Genome-wide association between single nucleotide polymorphisms with beef fatty acid profile in Nellore cattle using the single step procedure. **BMC Genomics**, v. 17, n. 1, p. 213–229, 2016.

LEMOS, M. V. A.; PEREIRA, A. S. C.; REGATIERI, I. C.; LOUISE, F.; FEITOSA, B.; BALDI, F. Genetic Factors that Determine the Meat Fatty Acids Composition. *Fatty Acids Angel Catala*, IntechOpen, 2017. doi: 10.5772/67693.

LUCIANO, G.; MONAHAN, F. J.; VASTA, V.; PENNISI, P.; BELLA, M.; PRIOLO, A. Lipid and colour stability of meat from lambs fed fresh herbage or concentrate. **Meat Science**, v. 82, n. 2, p. 193–199, 2009.

MACDOUGAL, B. D. Colour meat. In: PEARSON, A. M.; DUTSON, T. R. (Ed.). **Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products - advances in meat research series**. London: Blackie Academic & Professional, 1994. p. 79–93.

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

MCAFEE, A. J.; MCSORLEY, E. M.; CUSKELLY, G. J.; MOSS, B. W.; WALLACE, J. M. W.; BONHAM, M. P.; FEARON, A. M. Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. **Meat Science**, v. 84, n. 1, p. 1–13, 2010.

MCKENNA, D. R.; MIES, P. D.; BAIRD, B. E.; PFEIFFER, K. D.; ELLEBRACHT, J. W.; SAVELL, J. W. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. **Meat Science**, v. 70, n. 4, p. 665–682, 2005

MIR, P. S.; MCALLISTER, T. A.; ZAMAN, S.; MORGAN JONES, S. D.; HE, M. L.; AALHUS, J. L.; JEREMIAH, L. E.; GOONEWARDENE, L. A.; WESELAKE, R. J.; MIR, Z. Effect of dietary sunflower oil and vitamin E on beef cattle performance, carcass characteristics and meat quality. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 83, n. 1, p. 53–66, 2003.

MUCHENJE, V.; DZAMA, K.; CHIMONYO, M.; STRYDOM, P. E.; HUGO, A.; RAATS, J. G. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. **Food Chemistry**, v. 112, n. 2, p. 279–289, 2009.

OKUMURA, T.; SAITO, K.; NADE, T.; MISUMI, S.; MASUDA, Y.; SAKUMA, H.; NAKAYAMA, S.; FUJITA, K.; KAWAMURA, T. Effects of intramuscular fat on the sensory characteristics of *M. longissimus dorsi* in Japanese Black steers as judged by a trained analytical panel. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 20, n. 4, p. 577–581, 2007.

OLIVEIRA, D. M.; CHALFUN, A.; CHIZZOTTI, M. L.; BARRETO, H. G.; COELHO, T. C.; PAIVA, L. V.; COELHO, C. P.; TEIXEIRA, P. D.; SCHOONMAKER, J. P.; LADEIRA, M. M. Expression of genes involved in lipid metabolism in the muscle of beef cattle fed soybean or rumen-protected fat, with or without monensin supplementation. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 12, p. 5426–5436, 2014.

OLIVEIRA, E. A.; SAMPAIO, A. A. M.; HENRIQUE, W.; PIVARO, T. M.; ROSA, B. L.; FERNANDES, A. R. M.; ANDRADE, A. T. Quality traits and lipid composition of meat from Nelore young bulls fed with different oils either protected or unprotected from rumen degradation. **Meat Science**, v. 90, n. 1, p. 28–35, 2012.

OOSTERVEER, M. H.; VAN DIJK, T. H.; TIETGE, U. J. F.; BOER, T.; HAVINGA, R.; STELLAARD, F.; GROEN, A. K.; KUIPERS, F.; REIJNGOUD, D. J. High fat feeding induces hepatic fatty acid elongation in mice. **PLoS ONE**, v. 4, n. 6, p. 1–10, 2009.

PITCHFORD, W. S.; DELAND, M. P. B.; SIEBERT, B. D.; MALAU-ADULI, A. E. O.; BOTTEMA, C. D. K. Genetic variation in fatty acid composition of subcutaneous fat in cattle. **Animal Production Science**, v. 80, p. 2825–2832, 2002.

POUZO, L. B.; DESCALZO, A. M.; ZARITZKY, N. E.; ROSSETTI, L.; PAVAN, E. Antioxidant status, lipid and color stability of aged beef from grazing steers supplemented with corn grain and increasing levels of flaxseed. **Meat Science**, v. 111, p. 1–8, 2016.

PRANDL, O.; FISCHER, A.; SCHMIDHOFER, T.; JURGEN-SINELL, H. **Tecnologia e higiene de la carne**. Zaragoza: Acribia, 1995.

RODAS-GONZALEZ, A.; NARVAEZ-BRAVO, C.; BRASHEARS, M. M.; ROGERS, H. B.; TEDFORD, J. L.; CLARK, G. O.; BROOKS, J. C.; JOHNSON, B. J.; RATHMANN, R. J.; MILLER, M. F. Evaluation of the storage life of vacuum packaged Australian beef. **Meat Science**, v. 88, n. 1, p. 128–138, 2011.

ROSSATO, L. V.; BRESSAN, M. C.; RODRIGUES, E. C.; CAROLINO, M. I. A. de C. M.; BESSA, R. J. B.; ALVES, S. P. P. Composição lipídica de carne bovina de grupos genéticos taurinos e zebuínos terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1841–1846, 2009.

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

ULBRICHT, T. L. V.; SOUTHGATE, D. A. T. Coronary heart disease: seven dietary factors. **The Lancet**, v. 338, p. 985–992, 1991.

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

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

WOOD, J. D.; ENSER, M.; FISHER, A. V.; NUTE, G. R.; SHEARD, P. R.; RICHARDSON, R. I.; HUGHES, S. I.; WHITTINGTON, F. M. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. **Meat Science**, v. 78, n. 4, p. 343–358, 2008.

WOOD, J. D.; RICHARDSON, R. I.; NUTE, G. R.; FISHER, A. V.; CAMPO, M. M.; KASAPIDOU, E.; SHEARD, P. R.; ENSER, M. Effects of fatty acids on meat quality: A review. **Meat Science**, v. 66, n. 1, p. 21–32, 2004.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os achados chave dessa pesquisa foram:

- A suplementação com AGPI aumenta os índices de desempenho e não modifica as características de carcaça e maciez da carne, mas piora a avaliação sensorial da carne, independentemente do grupo genético. Por outro lado, animais NE têm desempenho, características de carcaça e qualidade da carne similares aos dos animais NA, mas tem uma melhor avaliação sensorial da carne, independentemente da dieta.
- A partir dos dados de metaboloma da carne pode-se sugerir que a quantidade de alguns metabólitos pode estar relacionada com mudanças na avaliação sensorial do consumidor, principalmente em relação ao sabor da carne.
- A suplementação com AGPI não é capaz de aumentar os AGPI da carne de animais com baixa deposição de GIM.
- A suplementação com AGPI reduz a deposição de AG da família n-3, o que leva a uma piora na relação n-6:n-3 e, conseqüentemente, a uma piora nos índices de saudabilidade da carne, independentemente do grupo genético alimentado.
- O grupo genético tem efeitos mínimos sobre o perfil de AG da carne e, conseqüentemente, não altera a saudabilidade da carne, independentemente da dieta ofertada.