



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CAMPUS II – AREIA-PB
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MEDICINA VETERINÁRIA**

NATÁLIA MATOS PANOSSO

**SUPLEMENTAÇÃO DIETÉTICA DE LIPÍDIOS PARA RUMINANTES E SUA
INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA CARNE E SAÚDE DO CONSUMIDOR: UMA
REVISÃO**

**AREIA
2020**

NATÁLIA MATOS PANOSSO

**SUPLEMENTAÇÃO DIETÉTICA DE LIPÍDIOS PARA RUMINANTES E SUA
INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA CARNE E SAÚDE DO CONSUMIDOR: UMA
REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em
Medicina Veterinária pela Universidade Federal da
Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio de Azevedo

Coorientador: Msc. Iara Tamires Rodrigues Cavalcante

**AREIA
2020**

NATÁLIA MATOS PANOSSO

**SUPLEMENTAÇÃO DIETÉTICA DE LIPÍDIOS PARA RUMINANTES E SUA
INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA CARNE E SAÚDE DO CONSUMIDOR: UMA
REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em
Medicina Veterinária pela Universidade Federal da
Paraíba.

Aprovado em: 11/12/2020

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Paulo Sérgio de Azevedo (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dr. Juliana Silva de Oliveira
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dr. Severino Gonzaga Neto
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

**AREIA
2020**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

Pl95s Panosso, Natália Matos.

Suplementação dietética de lipídios para ruminantes e sua influência na qualidade da carne e saúde do consumidor: uma revisão / Natália Matos Panosso. - Areia:UFPB/CCA, 2020.
48 f. : il.

Orientação: Paulo Sérgio de Azevedo.
Coorientação: Iara Tamires Rodrigues Cavalcante.
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Ácido graxo. 2. Biohidrogenação. 3. Gordura animal. 4. Lipídio protegido. 5. Ômega 3. 6. Parâmetros nutracêuticos. I. Azevedo, Paulo Sérgio de. II. Cavalcante, Iara Tamires Rodrigues. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 636.09(02)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por ter me guiado e iluminado até esse momento, por ter colocado em minha vida pessoas muito especiais para me ajudar a superar todos os desafios que me foram postos.

Aos meus pais, Albenes João Panosso Junior e Márcia G. de Matos Panosso, por me inserirem nesse mundo e por me ensinar e mostrar que o mais importante da vida é o que é feito com amor, dedicação e ética. Vocês criaram a melhor família que eu poderia ter, sem o amor incondicional, dedicação, carinho e apoio de vocês eu jamais teria chegado aonde estou. Vocês são tudo para mim.

Aos meus irmãos, Eduardo Matos Panosso E Maria Eduarda Matos Panosso agradeço por sempre acreditarem em mim, pelo amor, carinho e por deixarem minha vida mais leve com essas almas brilhantes e alegres de vocês.

Aos meus avós, Albenes e Genessi, Inelzira e Adão, que sempre encheram minha vida de amor, afeto e acreditarem em meu potencial sempre, com toda certeza sem vocês esse sonho não seria realizado.

À minha família Matos e Panosso, em especial a minha tia, Aline de Quadros Panosso Andrade, por ser um anjo em minha vida, pelo carinho, amor, conselhos, companheirismo e por sempre acreditar em mim até quando eu mesmo não acreditava.

Ao meu companheiro, Gabriel Cruz, por toda a ajuda e apoio durante essa caminhada de conclusão de curso, e também por cada momento vivido, carinho, cuidado, dedicação e amor incondicional, sem sua presença essa trajetória não seria tão satisfatória e especial. Obrigada por tudo. Ao nosso amor de quatro patas, Stella, por proporcionar mais alegria e amor em nossas vidas diariamente.

A família Cruz, em especial, Valéria e Iordam Cruz, por todo apoio e acolhimento.

Ao professor Dr. Paulo Sérgio de Azevedo pela orientação, amizade e pelos ensinamentos que foram de grande importância para a realização deste trabalho, e para o meu crescimento profissional.

Aos amigos e pessoas queridas que tive o prazer de conhecer e fizeram parte dessa trajetória. Eternamente grato serei por ter vivido com pessoas incomparáveis e inesquecíveis como vocês. Em especial Thayná Siqueira e Livía Matos, por todo carinho, momentos de alegria, dias de estudos e de festas e apoio nos momentos difíceis, sem a amizade vocês essa trajetória seria bem mais difícil.

Obrigada a todos aqui não citados mas que estiveram presente por toda essa minha jornada, cada um tem um lugar muito especial em minha vida. Obrigada, sem vocês essa conquista não faria sentindo.

A todos, o meu mais sincero muito obrigada!

RESUMO

Tendo em vista que diversas pesquisas são constantemente realizadas para alteração no perfil de ácidos graxos da gordura intramuscular da carne de ruminantes, uma comparação minuciosa dos artigos publicados quanto a este assunto, se torna necessário, visando a compreensão e divulgação dos resultados e novas descobertas quanto ao perfil lipídico e parâmetros nutracêuticos da carne de ruminantes. Foram utilizadas bases digitais e revistas eletrônicas disponíveis em sites de busca confiáveis, como os Periódicos Capes, Science Direct, SciELO e Google Acadêmico. Devido a geralmente apresentar maior proporção de AGS, é amplamente divulgado que a gordura da carne apresenta efeitos prejudiciais à saúde humana. Entretanto, muitos estudos relataram que o consumo de gorduras de origem animal seguiu direções contrárias ao aumento de doenças cardiovasculares ou obesidade em humanos. Diferentemente de animais monogástricos, a biohidrogenação ruminal altera os isômeros de ácidos graxos oriundo da dieta, influenciando diretamente no perfil lipídico da carne de ruminantes. A dieta é o principal fator que altera este perfil, onde geralmente dietas mais ricas em forragens/volumosos resultam em carnes com maiores concentrações de omega 3 (n-3), enquanto que em dietas ricas em concentrados a carne dos animais apresenta mais isômeros de omega 6 (n-6). Aliado a isso, a suplementação lipídica para os animais vem sendo amplamente estudada, onde as principais fontes suplementares de AG na dieta de ruminantes são óleos vegetais, sementes oleaginosas, óleo de peixe e algas marinhas. A linhaça é a fonte lipídica mais estudada quanto ao uso de oleaginosas no enriquecimento da carne de ruminantes, onde sua suplementação ou de outras fontes ricas em C18:3 n-3 pode elevar também as concentrações de C20:5 n-3, C22:5 n-3 e C22:6 n-3. Entretanto, a biohidrogenação ruminal acaba gerando resultados conflitantes na literatura. A adoção de suplementos lipídicos protegidos, com certa resistência ao metabolismo ruminal surge portanto como uma alternativa para evitar estes problemas na expectativa de ocasionar um maior fluxo de AGPI para o abomaso e consequentemente aumentar a deposição, alongamento e dessaturação destes no músculo e no tecido adiposo. As pesquisas com suplementação lipídica protegida demonstram que é possível melhorar o perfil lipídico da carne de ruminantes, visando a saúde dos consumidores e possibilitando o aumento nas ingestões diárias de determinados AG essenciais. Entretanto, ainda é nítida a falta de estudos examinando o impacto do consumo da carnes de animais suplementados sobre a saúde e bem estar dos consumidores. Isso essencialmente ajudaria a fazer julgamentos melhores sobre o impacto do valor nutricional da carne na saúde e no bem estar dos consumidores.

Palavras-chave: Ácido graxo. Biohidrogenação. Gordura animal. Lipídio protegido. Ômega 3. Parâmetros nutracêuticos

ABSTRACT

In view of the fact that several studies are constantly carried out to change the fatty acid profile of intramuscular fat in ruminant meat, a thorough comparison of the articles published on this subject is necessary, aiming at understanding and disseminating the results and new discoveries regarding lipid profile and nutraceutical parameters of ruminant meat. Digital databases and electronic journals available on trusted search sites were used, such as Capes Journals, Science Direct, SciELO and Google Scholar. Due to generally having a higher proportion of AGS, it is widely reported that meat fat has harmful effects on human health. However, many studies have reported that consumption of animal fats has followed directions contrary to the increase in cardiovascular disease or obesity in humans. Unlike monogastric animals, ruminal biohydrogenation alters the fatty acid isomers from the diet, directly influencing the lipid profile of ruminant meat. The diet is the main factor that alters this profile, where generally diets richer in forages / roughage result in meat with higher concentrations of n-3, while in diets rich in concentrates the meat of the animals has more isomers of n-6. Allied to this, lipid supplementation for animals has been widely studied, where the main supplementary sources of AG in the diet of ruminants are vegetable oils, oilseeds, fish oil and seaweed. Flaxseed is the most studied lipid source regarding the use of oilseeds to enrich the meat of ruminants, where its supplementation or other sources rich in C18: 3 n-3 can also increase the concentrations of C20: 5 n-3, C22: 5 n-3 and C22: 6 n-3. However, ruminal biohydrogenation ends up generating conflicting results in the literature. The adoption of protected lipid supplements, with some resistance to ruminal metabolism, therefore appears as an alternative to avoid these problems in the expectation of causing a greater flow of PUFA to the abomasum and, consequently, to increase their deposition, elongation and desaturation in muscle and adipose tissue. . Research with protected lipid supplementation has shown that it is possible to improve the lipid profile of ruminant meat, aiming at the health of consumers and enabling an increase in daily intakes of certain essential AGs. However, the lack of studies examining the impact of consuming meat from supplemented animals on the health and well-being of consumers is still clear. This would essentially help to make better judgments about the impact of meat's nutritional value on the health and well-being of consumers.

Keywords: Animal fat. Biohydrogenation. Fatty acid. Nutraceutical parameters. Omega 3. Protected lipid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Principais vias de biohidrogenação ruminal putativas	20
Figura 2	Micrografias eletrônicas de <i>B. fibrisolvens</i> GS113	21
Figura 3	As etapas na síntese de ácidos graxos poliinsaturados (PUFA) de cadeia longa n-3 e n-6 em tecidos de mamíferos	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Recomendações de consumo diário de gordura para humanos adultos	15
Tabela 2	Efeito da dieta sobre o perfil lipídico da carne de ruminantes (M. <i>Longissimus</i>)	25
Tabela 3	Exemplos de pesquisas com suplementação lipídica desprotegida da ação ruminal. Efeitos sobre o perfil lipídico (M. <i>Longissimus</i>)	30
Tabela 4	Exemplos de pesquisas com suplementação lipídica protegida da ação ruminal (PD). Efeitos sobre o perfil lipídico (M. <i>Longissimus</i>)	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	Ácido graxo
AGMI	Ácido graxo monoinsaturado
AGPI	Ácido graxo poliinsaturado
AGS	Ácido graxo saturado
AGT	Ácido graxo trans
ALA	Ácido graxo linolênico
CLA	Ácido graxo do linoleico conjugado
DHA	Ácido graxo docosa-hexaenóico
DPA	Ácido graxo docosa-pentaenóico
EPA	Ácido graxo eicosa-pentaenóico
EUA	Estados Unidos da América
LA	Ácido graxo linoleico
n-3	Ômega 3
n-6	Ômega 6
NE	Não especificado
OMS	Organização Mundial da Saúde
PV	Peso vivo
C14:0	Ácido graxo mirístico
C16:0	Ácido graxo palmítico
C16:1 trans-9	Ácido graxo palmitelaídico
C18:0	Ácido graxo esteárico
C18:1 cis-9	Ácido graxo oléico
C18:1 trans-11	Ácido graxo vacênico
C18:2 cis-9 cis-12	Ácido graxo linoleico
C18:2 cis-9 trans-11	Ácido graxo rumênico
C18:3 n-3	Ácido graxo α -linolênico
C20:5 n-3	Ácido graxo eicosa-pentaenóico
C20:1	Ácido graxo gadoléico
C20:4 n-6	Ácido graxo araquidônico
C22:5 n-3	Ácido graxo docosa-pentaenóico
C22:6 n-3	Ácido graxo docosa-hexaenóico

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
>	Maior que
®	Marca Registrada
™	Marca Comercial
<	Menor que

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	METODOLOGIA	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	A qualidade e composição lipídica da carne de ruminantes e sua influência na saúde humana.....	14
3.2	A biohidrogenação ruminal e sua influência sobre o perfil lipídico da carne de ruminantes	18
3.3	Influência da dieta sobre o perfil lipídico da carne de ruminantes	21
3.4	Suplementação lipídica na dieta de ruminantes	25
3.4.1	Suplementação dietética protegida da ação ruminal	30
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
5	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, diversas pesquisas têm sido idealizadas com o intuito de melhorar a qualidade da carne de ruminantes, que é normalmente avaliada por características sensoriais, como cor, textura, maciez e palatabilidade. No entanto, outros aspectos também são relevantes na avaliação da qualidade, entre eles, o teor de gordura e sua composição em ácidos graxos (AG), principalmente, poliinsaturados (AGPI) e ácido linoléico conjugado (CLA) (Fernandes et al., 2009). Além disso, a composição de ácidos graxos determina as propriedades físicas e estruturais do tecido adiposo, bem como a estabilidade oxidativa do músculo, o que influencia o sabor, a suculência, a maciez e a cor do músculo (Scollan et al., 2017).

Wood et al. (2003) relataram que o crescente interesse no desenvolvimento de estratégias de manipulação da composição de ácidos graxos da carne bovina está relacionado à necessidade de se produzir carnes com maiores benefícios para a saúde humana, reduzindo possíveis associações do consumo de carne à doenças, principalmente cardiovasculares.

Geralmente, a proporção de AGPI:AGS da gordura intramuscular é baixa (0,1-0,2). Entretanto, sabe-se que a dieta influencia a composição de ácidos graxos de carnes e produtos cárneos. Numerosas investigações examinaram o potencial para: (i) diminuir as proporções relativas de ácidos graxos saturados (AGS), (ii) aumentar a razão geral de AGPI:AGS e (iii) enriquecer AGPI ômega 3 (n-3) em relação a AGPI ômega 6 (n-6) da gordura intramuscular. Em ruminantes, aumentos em ácidos graxos específicos, incluindo o CLA ácido rumênico (C18:2 cis-9, trans-11) também são frequentemente avaliados (Scollan et al., 2017).

A manipulação do perfil de ácidos graxos da carne de ruminantes tem como principal impasse, a biohidrogenação oriunda da microbiota ruminal, que altera circunstancialmente os isômeros de ácidos graxos que são posteriormente absorvidos.

As principais estratégias nutricionais que visam essas alterações no perfil lipídico da carne, se baseiam principalmente na inclusão de sementes oleaginosas, óleos vegetais, óleos de peixe e algas marinhas na dieta dos ruminantes, como em bovinos (Nassu et al., 2011; Angulo et al., 2012; Pouzo et al., 2015) e ovinos (Annett et al., 2011; Noci et al., 2011; Hopkins 2014; Meale et al., 2014), além de adoção de suplementação via lipídios protegidos do metabolismo ruminal (Scollan et al., 2006; Sinclair, 2007; Gulati et al., 2005; Dunne et al., 2011).

Com base nessas informações, e tendo em vista que diversas pesquisas são constantemente realizadas para alteração no perfil de ácidos graxos da gordura intramuscular da

carne de ruminantes, uma comparação minuciosa dos artigos publicados quanto a este assunto, se torna necessário, visando a compreensão e divulgação dos resultados e novas descobertas quanto ao perfil lipídico e parâmetros nutracêuticos da carne de ruminantes.

2 METODOLOGIA

A pesquisa de revisão literária possui caráter descritivo-exploratório e foi fundamentada na coleta de dados em artigos, livros e pesquisas outrora realizados.

Para tal, foram utilizadas bases digitais e revistas eletrônicas disponíveis em sites de busca confiáveis, como os Periódicos Capes, Science Direct, SciELO e Google Acadêmico. As bibliografias utilizadas no trabalho foram gerenciadas através do software Mendeley e a escolha de textos acadêmicos atendeu aos seguintes critérios:

- Só foram utilizados artigos e textos de cunho acadêmico publicados em revistas, anais e periódicos, excluindo fontes não confiáveis, como sites ou blogs;
- À exceção de conceitos já consolidados na literatura, foram utilizados, preferencialmente, textos publicados no intervalo entre até no máximo 10 anos, para portanto, priorizar abordagens e metodologias mais recentes sobre a suplementação lipídica para ruminantes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A qualidade e composição lipídica da carne de ruminantes e sua influência na saúde humana

O valor nutritivo é um dos fatores cruciais para determinação da qualidade de carne. O mercado consumidor está frequentemente mais exigente quanto à relação da dieta com a saúde e bem estar, aumentando a procura por alimentos mais saudáveis e nutritivos (Hocquette et al., 2012; Verbeke et al., 2010).

As diretrizes para ingestão de lipídeos de alguns países variam conforme as deficiências ou métodos alimentares que suas populações apresentam (Tabela 1), sendo estabelecidas para enfatizar as necessidades de reduzir o consumo de gorduras e especificar a ingestão de gordura dietética recomendada para cada classe de ácido graxo (Howes et al., 2014).

Tabela 1. Recomendações de consumo diário de gordura para humanos adultos.

Orgão/País	% ingestão energética total				
	Gordura Total	AGS	AGPI totais	AGPI n-6	AGPI n-3
OMS	< 15 a 30	< 10	5 a 8	< 1 a 2 LA	< 1
EUA	20 a 35	< 10	NE	5 a 10 LA	0,25-2 EPA+DHA 0,6-1,2 ALA
Reino Unido	NE	10	6 a 10	> 1 LA	12
Austrália e Nova Zelandia	NE	10	NE	8 a 13 g (1-4% LA)	NE

OMS = Organização Mundial de Saúde; EUA = Estados Unidos; NE = não especificado; AGS = ácidos graxos saturados; AGPI = ácidos graxos poliinsaturados; LA = ácido linoleico; ALA = ácido linolênico; EPA = ácido eicosapentaenoico; DHA = ácido docosahexaenóico.

Fonte: Howes et al. (2014).

A composição lipídica varia de acordo com a espécie animal, tipo de músculo e/ou tecido e sistema de produção, influenciando nas características sensoriais, tecnológicas, nutricionais e qualidade geral da carne (Scollan et al., 2006; Wood et al., 2008). Os lipídios depositados na carne se situam em células adiposas intramusculares, intermusculares e subcutâneas, na forma de ésteres de glicerol, colesterol, fosfolipídios e ésteres de AG. Dentre estas, o perfil lipídico da gordura intramuscular é a mais estudada e sua concentração na carne de bovinos e ovinos é de geralmente 20-50 e 30-80 g/kg, respectivamente (Scollan et al., 2006; Wood et al., 2008; Sinclair, 2007; Rymer e Givens, 2005), contendo médias de 450-480 e 350-450 g/kg de AGS e ácidos graxos monoinsaturados (AGMI) respectivamente, além de

apresentar teores médios de AGPI de 50 g/kg (Bessa et al., 2015; Clonan et al., 2016).

Com a determinação dos isômeros de AG presentes na carne é possível prever também as relações de AGPI:AGS, onde na carne de ruminantes geralmente são baixas (entre 0,1-0,2), com exceção de animais que são suplementados com lipídios, principalmente quando na forma protegida da ação ruminal, podendo aumentar a relação em até 0,5-0,7 (Scollan et al., 2006; Sinclair, 2007).

Devido a geralmente apresentar maior proporção de AGS, é amplamente divulgado que a gordura da carne apresenta efeitos prejudiciais à saúde humana. Entretanto, muitos estudos relataram que o consumo de gorduras de origem animal seguiu direções contrárias ao aumento de doenças cardiovasculares ou obesidade em humanos (Carlson et al., 2011; Chapman et al., 2011; Barendse et al., 2014).

O ácido graxo esteárico (C18:0) (AGS de maior participação no perfil lipídico da carne juntamente com o palmítico) não apresenta impactos nos níveis de colesterol, devido à ser mal digerido e facilmente dessaturado à ácido oléico (C18:1 cis-9) pela enzima Δ^9 -dessaturase (Daley et al., 2010; Smith et al., 2009; Valsta et al., 2005) que está presente no retículo endoplasmático celular. Este ácido graxo não é maléfico à saúde do consumidor, onde é considerado um ácido graxo desejável.

Complementarmente, produtos alimentares originados de ruminantes apresentam concentrações consideráveis de AGMI e AGPI, com isômeros que participam de vários processos metabólicos benéficos à saúde humana (Palmquist e Jenkins, 1980; Doreau e Chilliard, 1980).

O C18:1 cis-9, principal isômero AG presente na carne de ruminantes, originado da biohidrogenação ruminal e/ou da da dessaturação endógena do ácido esteárico (Corl et al., 2001), contribui para a redução das concentrações plasmáticas de colesterol ruim (lipoproteína de baixa densidade - LDL) e triglicerídeos, além de que o consumo de carne com alto teor de AGMI em um estudo, resultou no aumento das concentrações plasmáticas do colesterol bom (lipoproteína de alta densidade – HDL) (Gilmore et al., 2011). De acordo com Feldman (2002), os ácidos graxos monoinsaturados também podem inibir a agregação plaquetária.

De forma mais específica ainda e de maior interesse ao consumidor, as proporções de n-6:n-3 são frequentemente determinadas. Ambas as famílias de ácidos graxos essenciais são fundamentais em reações de transferência do oxigênio atmosférico para o plasma sanguíneo, síntese de hemoglobina e divisões celulares (Martin *et al.*, 2006), além de serem precursores hormonais (Ulbricht e Southgate, 1991).

Na carne de ruminantes geralmente n-6:n-3 se situam inferiores a 3,0, mas variam

significativamente com a dieta fornecida. De acordo com a OMS (2003), a proporção n-6:n-3 deve situar-se em até 5:1 na dieta, para configurar uma alimentação saudável.

Isto porque ambas as famílias n-3 e n-6 competem pelas enzimas que realizam as reações de dessaturação e alongamento dos isômeros, além de que altas relações de n-6: n-3 podem provocar síntese excessiva de tromboxanos e leucotriêneos, o que poderia resultar em doenças como trombozes, arritmias, artrite e psoríase (Ruxton *et al.*, 2004). Portanto, uma maior concentração de n-3 e menor proporção de n-6: n-3 é considerada benéfica para a saúde humana (Palmquist, 2009).

Siri-Tarino *et al.* (2010) realizou uma meta-análise envolvendo estudos epidemiológicos sobre evidências dos ácidos graxos saturados e a ocorrência de doenças cardiovasculares. Observou-se que a redução da ingestão de AGS e aumento da ingestão de AGPI n-3, segundo os dados avaliados, resultavam em um efeito benéfico para a saúde humana.

Os AGPI n-3 de cadeia longa, como o ácido eicosapentaenóico (EPA; C20:5 n-3), docosapentaenóico (DPA; C22:5 n-3) e docosahexaenóico (DHA; C22:6), reduzem o risco de câncer, diabetes tipo 2 e doenças cardiovasculares, além de apresentarem papel crucial no funcionamento adequado do cérebro, desenvolvimento visual do feto e manutenção de tecidos nervosos ao longo da vida (Simopoulos, 1991; Barceló-Coblijn e Murphy, 2009; Russo, 2009; Lopez-Huertas, 2010). O peixe, é a principal fonte alimentar de EPA e DHA para humanos (Wolmarans *et al.*, 1999), enquanto a carne vermelha é uma fonte alternativa (Ponnampalam *et al.*, 2014).

A carne de ruminantes são fontes dietéticas importantes de CLA, contribuindo em média com 15-32% do consumo diário de CLA em países desenvolvidos (Schmid *et al.*, 2006; Ritzenthaler *et al.*, 2001; Martins *et al.*, 2007). Dentre estes ácidos graxos o isômero mais importante é o C18:2 cis-9, trans-11, que foi identificado por conter uma gama de propriedades benéficas a saúde, como prevenção do câncer (Belury, 2002), redução da aterosclerose, melhora da resposta imune, além de modificações no metabolismo protéico e energético (Pariza, 2004; Palmquist *et al.*, 2005; Chilliard *et al.*, 2007).

Aves e suínos apresentam em média 0,1 g/100g de CLA (Schmid *et al.*, 2006) na gordura intramuscular, enquanto a carne bovina possui proporções de CLA variando de 0,34-0,82 g/100g do total de AG. Com relação a carne de ovinos e caprinos, ainda são limitadas as medições realizadas em varejo, mas estudos recentes relatam proporções de CLA na carne de ovinos de 0,59-1,44 g/100g de AG (Bravo-Lamas *et al.*, 2016), e em caprinos de 0,26-0,37 g/100g de AG (Lopes *et al.*, 2014).

Os lipídios da carne também contêm ácidos graxos trans (AGT), dos quais o mais

proeminente é o ácido vacênico (C18:1 trans-11). Este isômero intermediário da biohidrogenação, é um substrato para a formação de C18: 2 cis-9, trans-11 no tecido adiposo do animal. Com isso, estratégias que aumentem o fluxo do C18:1 trans-11 para o intestino delgado e sua posterior absorção também colaboram de forma importante para o aumento da concentração de CLA na carne bovina (Ladeira et al., 2012), onde a síntese endógena por meio da esteroil-CoA ($\Delta 9$ -dessaturase) é responsável por 45-95% do isômero C18:2 cis-9 trans-11 no músculo e tecido adiposo de bovinos e ovinos (Shingfield e Wallace, 2014).

Portanto, a enzima $\Delta 9$ -dessaturase além de atuar na conversão do ácido graxo esteárico no oleico, também converte o vacênico ao seu isômero correspondente de CLA, C18:2 cis-9 trans-11 (Smith et al., 2009). Estudos recentes também forneceram evidências de que o ácido palmitelaídico (C16: 1 trans-9) também pode servir como substrato para a síntese endógena de C18:2 cis-9, trans-11 em tecidos de ruminantes (Kadegowda et al., 2013).

Vale salientar também que no tecido adiposo humano também há a presença da enzima $\Delta 9$ -dessaturase, e por isso, aumento no consumo de C18:1 trans-11 poderiam ter os mesmos efeitos benéficos associados à ingestão de CLA, onde o vacênico dietético apresenta de 19 a 30% de taxa de conversão (Bessa et al., 2000; Turpeinen et al., 2002).

Fortes evidências já demonstraram que o consumo acentuado de AGT industriais estão relacionados com a mortalidade por doenças cardíacas vasculares (Souza et al., 2015), desenvolvimento de resistência à insulina (Mozaffarian et al., 2006a; Brouwer et al., 2010) e aumento da taxa de inflamação (Mozaffarian et al., 2006b). Porém, ainda não existem dados suficientes que indiquem estes possíveis efeitos maléficos provenientes do consumo de AGT de carne de ruminantes. Os indícios atuais é de que, pelo menos o C18:1 trans-10 presente na carne de ruminantes, seria um isômero potencialmente maléfico à saúde humana (Wang et al., 2012).

Complementarmente, alguns estudos observaram que alguns isômeros de AGT oriundos de ruminantes apresentam um efeito protetor contra a ocorrência de doenças coronárias (Gebauer et al., 2011; Salter, 2013; Wang et al., 2012), embora ainda não seja conhecida as durações e quantidade diárias de consumo destes AGT para que causem efeitos significativamente benéficos na saúde humana (Wang et al., 2012).

Por outro lado, Lovegrove e Hobbs (2016) demonstraram que no Reino Unido, o consumo de 0,7% da energia alimentar diária via AGT de alimentos oriundos de ruminantes, é inferior ao máximo recomendado de 2%, sugerindo portanto que a ingestão de AGT via fontes de origem animal não apresentaria fatores de risco à saúde humana, se de fato estes tivessem um efeito maléfico.

Portanto, todas essas alterações que ocorrem no perfil de AG da carne de ruminantes, servem como parâmetros para avaliação da qualidade lipídica da carne a ser adquirida pelos consumidores.

3.2 A biohidrogenação ruminal e sua influência sobre o perfil lipídico da carne de ruminantes

A composição de ácidos graxos na gordura de marmoreio sofre influência da dieta fornecida aos animais, principalmente em relação as variações de AG contidas nos ingredientes alimentares.

Entretanto, embora a nutrição seja um fator preponderante no perfil lipídico da carne de ruminantes, esta sofre um processo ocorrente no ambiente ruminal que dificulta a manipulação de dietas que visem a melhoria dos parâmetros nutracêuticos, que é conhecida como biohidrogenação e é realizada pela comunidade microbiana. Como resultado, a carne de ruminantes geralmente apresentam perfil de AG pouco semelhante à composição destes na dieta (Vahmani *et al.*, 2015).

Os AG insaturados da dieta, principalmente os AGPI, têm efeitos tóxicos em certos microrganismos ruminais (Maia *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2008), principalmente as bactérias gram +, metanogênicas e protozoários. Portanto, como medida para amenizar os efeitos maléficos sobre a replicação celular, o microbioma presente no rúmen desenvolveu evolutivamente um mecanismo de autodefesa, chamado biohidrogenação. Esse processo envolve a secreção de proteínas com capacidade de hidrolisar as ligações éster dos AG esterificados, diminuindo portanto, o grau de insaturação dos isômeros livres, através de processos de redução, isomerização e/ou hidratação (Scollan *et al.*, 2017).

Para que a biohidrogenação ocorra, é necessário que o AG esteja na forma livre, ou seja, não esterificada. O primeiro passo para que ocorra a biohidrogenação do, por exemplo, ácido graxo linoléico (C18:2 cis-9, cis-12), é a ação de uma isomerase que converte o ácido graxo linoléico em C18:2 cis-9, trans-11, o principal isômero de CLA. Esse metabólito intermediário é rapidamente hidrogenado a 18:1 trans-11, que é liberado no ambiente ruminal. Microrganismos secundários posteriormente hidrogenam a ligação trans-11 com a formação do produto final primário da biohidrogenação, o C18:0. Caso o ambiente ruminal apresente uma alta concentração de ácidos graxos insaturados, esse processo final é inibido, resultando em aumento da concentração de C18:1 trans-11. Para a biohidrogenação do ácido graxo α -linolênico (C18:3 n-3), predominante em forragens, o mecanismo é semelhante, onde a

isomerase produz C18:3 cis-9, trans-11, cis-15. Entretanto, o ácido rumênico não é um intermediário produzido na biohidrogenação do α -linolênico, ocorrendo neste caso a formação de outros isômeros de CLA (Berchielli et al., 2011) (Figura 1).

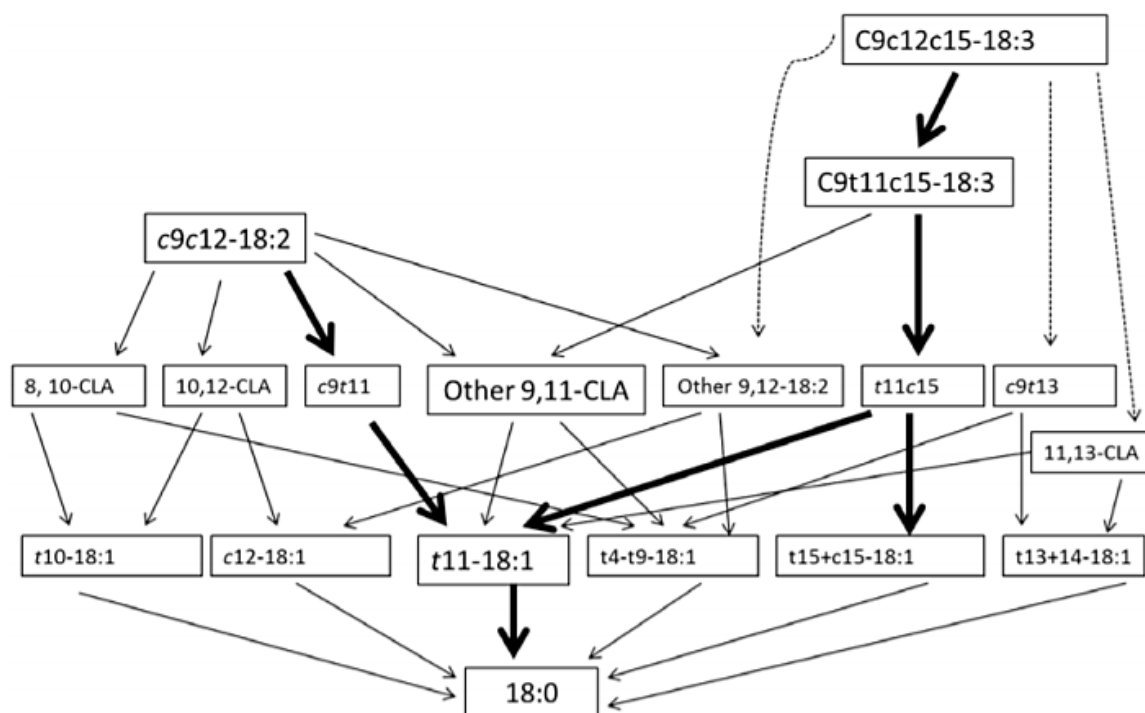


Figura 1. Principais vias de biohidrogenação ruminal putativas. Nas rotas em que as configurações cis e trans não são mencionadas, significa que muitas configurações diferentes podem existir. As setas grossas representam as principais vias que ocorrem no ambiente ruminal, e as finas representam outras vias putativas. Setas pontilhadas representam as vias RBH, incluindo isômeros intermediários C18:3 desconhecidos. Nem todos os ácidos graxos putativos são mencionados, e as numerosas interconversões entre os isômeros C18:1 não são mencionadas.

Fonte: adaptado de Chilliard et al. (2007) por Ladeira et al. (2012).

Algumas das vias da biohidrogenação do C18:3 n-3 ainda são hipóteses, mas é comprovada a existência de até 16 isômeros de CLA na gordura de ruminantes, com as ligações duplas localizadas nos carbonos 7 à 9 e 13 à 15, dependendo da dieta fornecida e sistema de produção empregados (Scollan et al., 2017), além de que há a existência também de CLA com pelo menos uma ligação conjugada, como o C18:3 cis-9 trans-11 cis-15 e o C18:3 cis-9 trans-13 cis-15 (Shingfield et al., 2013).

Dentre as bactérias ruminais envolvidas na biohidrogenação, a *Butyrivibrio* spp. tem

sido a espécie mais amplamente estudada, em especial a *Butyrivibrio fibrisolvens* que está envolvida na síntese do C18:2 cis-9, trans-11 e C18:1 trans-11 (Polan et al., 1964; Kepler et al., 1966). Entretanto, não está envolvida na formação do ácido esteárico, onde espécies responsáveis por estas reações foram isoladas por Kemp et al., (1975), dentre elas *Fusocillus* spp.

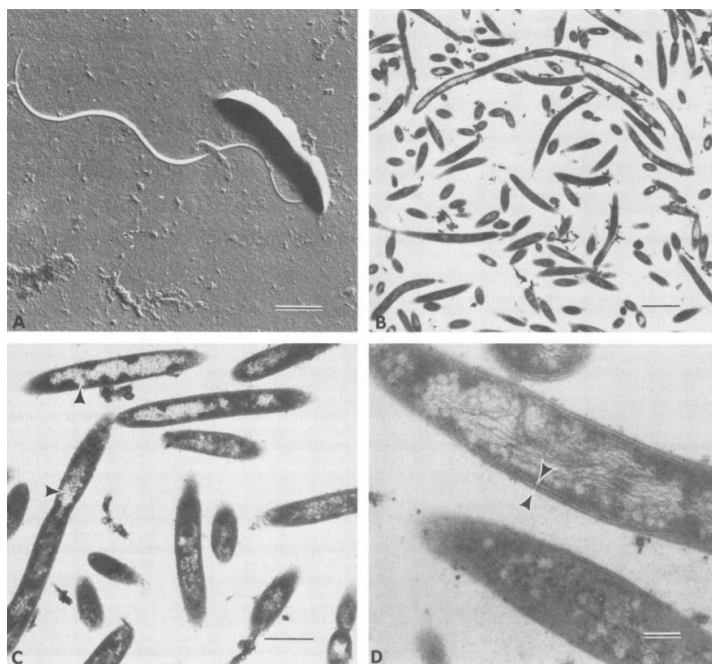


Figura 2. Micrografias eletrônicas de *B. fibrisolvens* GS113. (A) Célula montada inteira sombreada em platina ilustrando o flagelo único anexado subapicamente, duas a três vezes o comprimento do corpo celular. Bar, 0,5 da tarde (B) Seção fina de células ilustrando a natureza filamentosa das células -7 que permanecem fixas após a formação da parede cruzada. Bar, 1h00 (C) Agregados de inclusões esféricas elétron-lucentes de 25 a 35 nm de diâmetro (pontas de seta) em células cultivadas com glicose. Bar, 0,5 da tarde (D) Micrografia de alta ampliação ilustrando a estrutura do envelope celular. O envelope consiste em duas membranas, separadas por uma camada mais espessa e mais densa (pontas de seta). Bar, 0,1, hum.

Fonte: Sewell et al. (1988)

A compreensão do papel das bactérias envolvidas neste processo, eram dependentes de bactérias capazes de serem cultivadas *in vitro*. Novos métodos moleculares estão mudando este cenário, com novas informações de interações envolvendo a microbiota ruminal e os lipídios no rúmen (Oliveira et al., 2008; Palmquist e Jenkins, 1984; Cummings e Rudden, 1995; Strohmaier et al., 2002), através de pesquisas com uso de suplementos lipídicos na dieta dos animais e aplicação de metodologias de sequenciamento molecular.

As pesquisas demonstraram que as comunidades taxonômicas bacterianas envolvidas na biohidrogenação são bem mais diversas do que previamente era conhecido, no cultivo de culturas puras (Cummings e Rudden, 1995; Strohmaier et al., 2002), sendo conhecido que os gêneros *Prevotella*, *Lachnospiraceae incertae sedis*, *Bacteroidales*, *Clostridiales*, *Succinovibrio*, *Roseburia* e *Ruminococcaceae* ainda não classificadas e não cultiváveis, atuam no processo de biohidrogenação (Scollan et al., 2017).

Essas descobertas destacam os desafios de desenvolver abordagens direcionadas para alterar a atividade de biohidrogenação da microbiota ruminal. Vale ressaltar também que as atividades de lipólise e biohidrogenação dependem do tipo e quantidade das fontes lipídicas fornecidas aos animais (Van Nevel e Demeyer, 1996), bem como do pH ruminal (Bauman et al., 2005). Foi previamente relatado, que a taxa média de biohidrogenação ruminal é em torno de 70%, variando de 60 a 95 % do total de AG oriundos da dieta (Doreau e Ferlay, 1994).

Além disto, as bactérias e protozoários são fontes importantes de AG. Ao atingirem o abomaso e sofrerem a digestão enzimática animal. Os lipídios da membrana celular das bactérias, contêm altas proporções de AG de cadeia impar e ramificada, que são biosintetizadas pelas próprias bactérias (Berchielli et al., 2011), onde ao serem absorvidas e metabolizadas, também apresentam participação no perfil lipídico da carne dos ruminantes, embora que em baixas proporções. Além disso, os protozoários ruminais são relativamente ricos em AGMI, AGPI e isômeros de CLA, provavelmente pelo motivo do envolvimento de cloroplastos pelos protozoários, que possuem alta proporção de C18:3 n-3 nos componentes estruturais das membranas dos tilacóides vegetais (Huws et al., 2012; Huws et al., 2009).

Portanto, uma gama circunstancial de AG intermediários são formados e absorvidos, sendo utilizados como substratos para a lipogênese tecidual, e posteriormente compõem a gordura intra, inter e subcutânea da carne dos animais. Compreender os mecanismos responsáveis e a microbiota, bem como suas enzimas que realizam essas reações, é fundamental para futuras tentativas de desenvolver estratégias nutricionais para mudanças estratégicas e mais previsíveis na composição de AG da carne de ruminantes (Scollan et al., 2017).

3.3 Influência da dieta sobre o perfil lipídico da carne de ruminantes

Recentemente tem surgido o interesse em alterar a composição dos AG da carne, com o intuito de elevar a participação dos ácidos graxos consideráveis benéficos a saúde humana, como os isômeros de CLA, ácido oléico e os isômeros n-3 (Beaulieu et al., 2002; Gilmore, 2011).

A dieta é o principal fator ambiental que influencia a composição de AG da carne de ruminantes, superior aos efeitos referentes aos fatores genéticos (De Smet et al., 2004). Porém, como já citado, ocorre uma extensa lipólise e biohidrogenação ruminal que resulta em uma ampla diversidade de isômeros de AG na carne dos ruminantes, configurando pouca semelhança ao perfil de AG da dieta (Vahmani et al., 2015).

As fontes volumosas, são componentes importantes na dieta dos ruminantes, principalmente em sistemas de criação extensivo ou semi-intesivos, apresentando uma influencia considerável no perfil de AG da carne de bovinos, ovinos e caprinos, onde animais terminados com dietas de altos teores de concentrados apresentam diferenças aos terminados à pasto ou com alta participação de forragens na dieta (Ponnampalam et al., 2006; Aldai et al., 2011).

Geralmente, grãos de cereais são boas fontes de C18:2 n-6, enquanto que forragens são ricas em C18:3 n-3, que representam 50-75% do teor total de AG das forragens (Dierking et al., 2010), influenciando diretamente em uma maior participação destes isômeros na carne dos bovinos.

Embora as forragens apresentem baixos teores de lipídios (variando de 30 a 100 g/kg de MS), dependendo do sistema de produção elas podem representar a fonte primária das dietas para ruminantes (Dewhurst et al., 2003), e portanto fornecer a maior parte da gordura da dieta.

Dependendo das fontes forrageiras e de sua participação nas dietas, além do manejo alimentar adotado, os conteúdos de C20:5 n-3, C22:5 n-3 e C22:6 n-3 também podem ser acrescidos, devido ao alongamento e dessaturação do C18:3 n-3 nos tecidos corporais (Ponnampalam et al., 2006; Leheska et al., 2008; Garcia et al., 2008; Alfaia et al., 2009) (Figura 3). Com isso, as relações n-6/n-3 da carne se situam benéficamente baixas, geralmente inferiores a 3,0. Por outro lado, quando as dietas (principalmente de terminação) são formuladas com maiores teores de grãos a relação pode aumentar, excedendo 5,5 (Scollan et al., 2006; Dewhurst et al., 2006; Sinclair, 2007; Daley et al., 2010; Aldai et al., 2011; Morgan et al., 2012).

Além dos trabalhos acima citados, a influência dos percentuais de forragens adotadas nas dietas de ruminantes, principalmente bovinos e ovinos, voltadas as alterações no perfil lipídico da carne, foram previamente estudados (Fisher et al., 2000; Díaz et al., 2005; Garcia et al., 2008; Leheska et al., 2008; Alfaia et al., 2009) (Tabela 2). Com esse número considerável de pesquisas e seus resultados consistentes, observa-se que de fato há diferenças no perfil lipídico provenientes da relação volumoso:concentrado, sobretudo nos AGPI n-3. Fontes volumosas também podem diminuir as concentrações de AGS e resultarem em maior incremento de isômeros de AGMI na carne dos ruminantes, como o ácido oléico (Shingfield et

al., 2013).

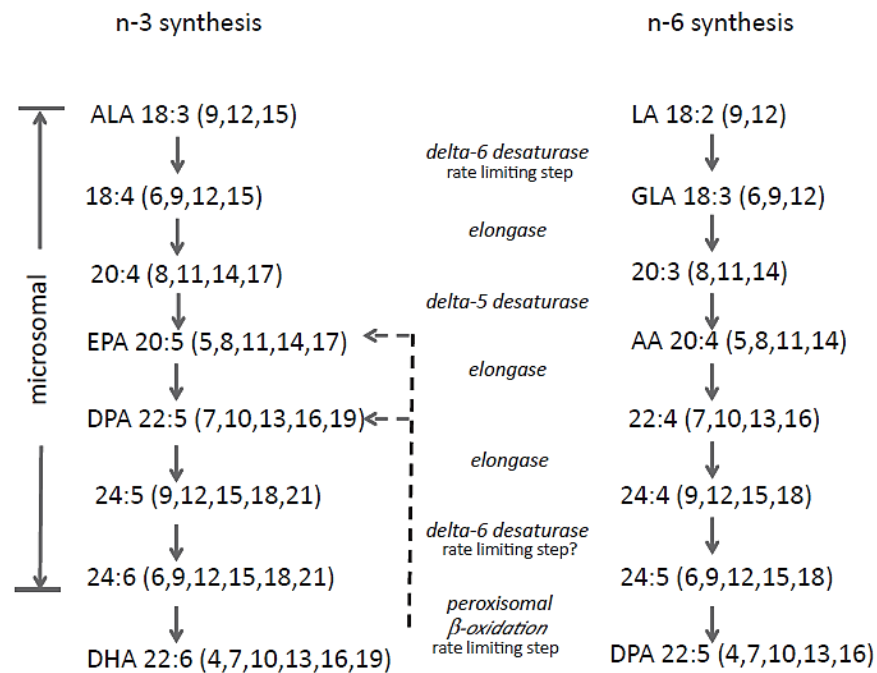


Figura 3. As etapas na síntese de ácidos graxos poliinsaturados (PUFA) de cadeia longa n-3 e n-6 em tecidos de mamíferos. Os seres humanos têm uma capacidade trivial de sintetizar o DHA a partir do ALA. As principais etapas de limitação de taxa aplicam-se aos PUFA n-3 e n-6. A última etapa de limitação de taxa envolve a translocação de PUFA do retículo endoplasmático para os peroxissomos. A degradação geralmente ocorre para trás ao PUFA anterior na via, exceto para 24:6 (n-3) e 22:6 (n-3), o último dos quais degrada para 22:5 (n-3) ou 20:5 (n-3). ALA, ácido α -linolênico; LA, ácido linoleico; GLA, ácido gama-linolênico; EPA, ácido eicosapentaenóico; AA, ácido araquidônico; DPA, ácido docosapentaenóico; DHA, ácido docosahexaenóico.

Fonte: Barendse (2014).

Animais criados a pasto, mas que passam por terminação confinada com dietas ricas em grãos geralmente diminuem a participação do C18:3 n-3 no perfil lipídico, e aumentam o C18:2 n-6 (Ponnappalam et al., 2006; Aldai et al., 2011).

Tabela 2. Efeito da dieta sobre o perfil lipídico da carne de ruminantes (*M. Longissimus*).

Referência	Raça	Dieta	AGS				18:1	Total	AGPI n-3					AGPI n-6		n-6/n-3
			14:0	16:0	18:0	ΣAGS	trans11	CLA	18:3	20:5	22:5	22:6	Σn-3	18:2	Σn-6	
Bovinos																
Aldai et al. (2011)	Asturiana de los Valles	P	0,60*	15,82*	15,85	36,19*	2,41	0,478	3,47*	1,016	1,304	0,094	5,929*	14,55	18,85	3,292*
		C	1,36*	20,97*	15,31	41,33*	1,841	0,501	1,34*	0,731	0,887	0,075	3,051*	11,30	14,40	4,872*
Alfaia et al. (2009)	Alentejana	P	1,24*	18,42*	17,54*	38,76	1,35	5,14*	5,53*	2,13*	2,56*	0,20*	10,41*	12,55	17,97*	1,77*
		C	1,84*	20,79*	14,96*	39,27	0,92	2,65*	0,48*	0,47*	0,91*	0,11*	1,97*	11,95	17,08*	8,99*
Ponnampalam et al. (2006) ^{\$}	Hereford, Shorthorn e Angus	P	56,9	508*	272*	NE	NE	14,3*	32,4*	24,5*	36,5*	4,2	97,6*	108,8*	191,6	1,96*
	C	103,7	899*	463*	16,1*			10,3*	13,1*	31,6*	3,7	63,3*	118,8*	253,8	3,57*	
Leheska et al. (2008)	Angus	P	3,23	25,90	19,2*	50,9*	4,14*	1,03*	0,676*	0,005	0,15*	NE	0,98*	1,71	NE	9,60*
		C	3,26	25,30	13,7*	44,5*	1,14*	0,60*	0,207*	0,00	0,03*		0,24*	2,09		2,45*
Garcia et al. (2008)	Angus	P	2,19	23,12	13,10*	38,40*	NE	0,72*	1,30*	0,52*	0,70*	0,43*	2,95*	3,41*	5,0*	1,72*
		C	2,44	22,08	10,82*	35,33*		0,31*	0,28*	0,12*	0,30*	0,16*	0,86*	6,19*	8,15*	10,38*
Ovinos																
Díaz et al. (2005)	Rasa Aragonesa e Corriedale	P	3,60	24,73*	16,62*	47,04*	NE	0,79*	3,37*	1,29*	1,14*	0,31	NE	6,01*	NE	1,36*
	C	3,77	22,58*	12,56*	41,44*	0,40*		0,56*	0,34*	0,68*	0,24	NE	9,48*	NE	8,42*	
Fisher et al. (2000)	Suffolk	P	3,2*	18,6	14,3*	NE	NE	NE	2,3*	1,3*	1,5*	0,6*	NE	6,8*	NE	NE
		C	2,3*	19,4	12,3*				0,7*	0,4*	0,8*	0,3*		9,7*		

P = pastagem; C = confinamento; NE = não especificado; *Indica diferença significativa (pelo menos $P < 0,05$). ^{\$}Representa os resultados em mg/100g.

3.4 Suplementação lipídica na dieta de ruminantes

As principais fontes suplementares de AG na dieta de ruminantes são óleos vegetais, sementes oleaginosas, óleo de peixe e algas marinhas (Woods e Fearon, 2009). Portanto, a maioria das pesquisas focaram no fornecimento destes suplementos, visando alterações no perfil de ácidos graxos da carne bovina (Oliveira et al., 2011; Nassu et al., 2011; Angulo et al., 2012; Pouzo et al., 2015) e ovina (Annett et al., 2011; Meale et al., 2014) (Tabela 3).

As sementes oleaginosas apresentam altas concentrações de AG insaturados, mas apresentam relativas diferenças quanto as proporções destes (Khanal e Olson, 2004), principalmente de C18:1 cis-9, C18:2 n-6 e C18:3 n-3. Por exemplo, o óleo de linhaça é rico em C18:3 n-3 com em média 56% deste isômero no perfil lipídico. O óleo de camelina também apresenta boas concentrações deste isômero, em torno de 32%, além de altas concentrações de ácido gadoléico (C20:1) (Noci et al., 2010). A colza e a soja possuem em média 11 e 7% de C18:3 n-3 respectivamente, sendo ricos em C18:2 n-6, ou seja, apresentando alta relação n-6/n-3 (Raes et al., 2004). O girassol apresenta concentrações quase que irrisórias de C18:3 n-3 (0,09%), enquanto que o C18:2 n-6 se situa acima de 60% da gordura do óleo (Angulo et al., 2012). O cártamo e o algodão também são fontes de elevada concentração de C18:2 n-6 (Oliveira et al., 2011).

Mir et al. (2004) realizam uma pesquisa com bovinos em terminação da raça Wagyu, Limousin e Wagyu x Limousin. Os animais receberam uma dieta com feno, cevada e farelo de soja, e receberam níveis de suplementação de 0 (controle) e 6% de óleo de girassol na MS da dieta. Observou-se um aumento de mais de quatro vezes nos isômeros de CLA da carne dos animais suplementados com óleo de girassol, quando comparados aos da dieta controle. Por outro lado, a suplementação resultou em aumento nas participações de C18:2 n-6 e reduções na de C18:3 n-3, obviamente devido as altas concentrações de ácido linoleico presentes no óleo de girassol.

Oliveira et al. (2011) avaliaram diferentes sementes oleaginosas moídas (linhaça, algodão ou soja) na proporção de 14,4, 18,0, e 6,6 % respectivamente, da MS da dieta de novilhos zebuínos alimentados com 40% de silagem de milho na MS da dieta. A carne dos animais alimentados com as dietas que continham sementes de linhaça resultaram em maiores concentrações de C18:3 n-3 bem como do total de n-3, enquanto que a dieta que continha as sementes de soja moída apresentou maior proporção de C18:2 n-6 e n-6 total na gordura intramuscular. As relações n-6/n-3 permaneceram semelhantes para todos os tratamentos. Quanto a gordura subcutânea, as sementes de algodão resultaram em baixas concentrações de

n-3 e consequentemente apresentaram uma alta relação n-6/n-3 (16,64) em comparação as demais, principalmente a dieta com linhaça que apresentou o menor valor (3,73).

A linhaça é a fonte lipídica mais estudada quanto ao uso de oleaginosas no enriquecimento da carne de ruminantes, onde sua suplementação ou de outras fontes ricas em C18:3 n-3 pode elevar também as concentrações de C20:5 n-3, C22:5 n-3 e C22:6 n-3 (Herdmann et al., 2010; Dewhurst et al., 2003; Dewhurst et al., 2006; Barceló-Coblijn e Murphy, 2009; Scollan et al., 2011), devido ao alongamento e dessaturação do C18: 3 n-3 na célula adiposa. Entretanto, outras pesquisas não observaram este efeito (Corazzin et al., 2013; Juarez et al., 2011).

Uma pesquisa com bovinos em crescimento realizada por Nassu et al. (2011), avaliando a suplementação com linhaça em dietas a base de feno de capim ou silagem de cevada, observou que em ambas as dietas a suplementação resultou em uma redução da participação do isômero C18:2 n-6 e aumento do isômero C18:3 n-3 e do total de n-3, resultando portanto em uma redução da relação n-6:n-3. Os efeitos sobre os AG n-3 de cadeia longa foram mínimos para a carne dos animais alimentados com dieta a base de capim, mas para a dieta de silagem de cevada a concentração de 20:5 n-3 aumentou com a adoção da linhaça (0,13 vs 0,23).

Em relação à suplementação para ovinos, Noci et al. (2011) investigou a inclusão de óleo de camelina e óleo de linhaça na dieta, constatando uma redução na concentração dos isômeros ácido palmítico (C16:0), C18:0, C18:1, araquidônico (C20:4 n-6) bem como na concentração total de AGS e n-6/n-3 quando adotou ambos os óleos em comparação a dieta controle, que continha sais de cálcio de óleo de palma destilado. Ocorreu também aumento de C18:3 n-3, C18:1 trans-11 na gordura intramuscular da carne.

Controversamente, no estudo de Pouzo et al. (2015) a adoção da linhaça nos níveis de 1,25 e 2,50 g/kg de PV em dieta rica em forragem *in natura*, não apresentou influência sobre a concentração de AGPI n-6 e n-3 da carne bovina. Além disso, ocorreu uma redução do total de CLA e C18:1 trans-11 quando os animais receberam as dietas com níveis de linhaça. Outro ponto observado foi que a suplementação com linhaça resultou em acréscimo na espessura de gordura subcutânea, comparada aos animais da dieta controle. As ausências de efeito para os AG n-3 provavelmente ocorreu devido a um aumento nas concentrações de triacilgliceróis da carne, reduzindo a participação dos AG presentes nos fosfolipídios de membrana, que são em sua maioria os AG de cadeia longa.

Como fontes alternativas, o óleo de peixe e algas marinhas são fontes dietéticas com maiores concentrações de ácidos graxos de cadeia longa (C20:5 n-3, C22:5 n-3 e C22:6 n-3) (Angulo et al., 2012), e consequentemente foram estudadas na tentativa de aumentar as

concentrações destes isômeros na carne dos ruminantes. Embora estes sofram ação da microbiota ruminal (Kim et al., 2008; Lee et al., 2008), a adoção de fontes lipídicas marinhas podem resultar em aumento do ácido graxo n-3 de cadeia longa na carne de bovinos e ovinos (Kim et al., 2008; Angulo et al., 2012; Annett et al., 2011; Hopkins et al., 2014; Meale et al., 2015). Seu potencial como suplemento dietético para ruminantes foi avaliado individualmente ou em associação com outras fontes lipídicas.

Angulo et al. (2012) adotaram o uso de algas marinhas em associação com óleo de linhaça ou de girassol, tendo observado um aumento do teor de C18:3 n-3 na carne dos animais alimentados com alga + linhaça, e aumento do C18:1 cis-9 e C18:1 trans-11 com alga + girassol, quando comparado a dieta controle. A adoção conjunta de algas marinhas com qualquer uma das fontes oleaginosas promoveu incremento da participação de C22:6 n-3 no perfil lipídico da carne de bovinos, em comparação ao controle, enquanto que para os isômeros C20:5 n-3 e C22:5 n-3 as concentrações foram semelhantes para os tratamentos.

Em pesquisa com ovinos, Meale et al. (2014) relatou que a suplementação com algas marinhas nos níveis de 0, 1, 2 e 3 % da MS da dieta, resultou em diminuição linear da participação de C18:3 n-3 bem como do total de AGS, mas com incremento dos isômeros C20:5 n-3, C22:5 n-3 e C22:6 n-3, resultando portanto em aumento do total de n-3 mesmo que tenha observado menores concentrações do C18:3 n-3. Consequentemente, o n6/n-3 foi inferior com a suplementação, demonstrando portanto a capacidade de aumentar os isômeros de AG n-3 de cadeia longa com algas marinhas, levando os autores a concluírem que o consumo da carne de animais suplementados com algas marinhas, poderia contribuir significativamente para a saúde humana, tendo em vista que uma porção de 100g da carne dos cordeiros suplementados com 3% poderia fornecer 21,4% das exigências diárias de DHA e EPA de humanos, enquanto que a carne dos animais do tratamento controle só forneceria 2,6% da exigência.

Hopkins et al. (2014) adotaram a suplementação com alga marinha (produto comercial DHA-Gold™ algae) em 1,92% na MS da dieta de cordeiros Poll Dorset x Border Leicester x Merino. Os autores relataram um incremento nos isômeros C22:5 n-6, C20:5 n-3, C22:6 n-3 e nos teores de n-3 totais da carne dos animais, o que resultaram em uma redução no n-6/n-3. Os autores concluem que com a suplementação significaria que a carne dos animais poderia ser considerada uma “boa fonte” de ômega-3, mas ressalta que melhores formas de incorporar as algas as rações devem ser desenvolvidas.

Quanto aos suplementos dietéticos de óleo de peixes, Annett et al. (2011) avaliaram a inclusão em 3,5% na MS da dieta de ovinos confinados, com em média 60% de cevada. Observou-se um aumento nas concentrações de C22:5 n-3 e C22:6 n-3, promovidos pelo óleo

de peixe, mas sem efeitos sobre o n-6/n-3.

A suplementação com algas marinhas apresentam maiores taxas de incorporação de AGPI n-3 nos tecidos musculares e adiposos em comparação ao óleo de peixe (Cooper et al., 2004), devido a estes sofrerem menores ações da biohidrogenação ruminal, onde acredita-se que ocorra certa inibição de bactérias ou enzimas quando algas são adotadas na dieta (Vlaeminck e outros 2008).

As fontes suplementares de AGPI na dieta dos ruminantes portanto, podem ser adotadas para alterar a composição dos AGPI presentes na gordura intramuscular da carne de ruminantes, ao mesmo tempo em que pode causar uma diminuição modesta, mas estatisticamente significativa, na proporção de AGS e, especificamente, na proporção de C16:0 e ácido mirístico (C14:0) (Moloney, 2011; Oliveira et al., 2008), ácidos graxos hipercolesterolêmicos, demonstrando então que há relativos efeitos na qualidade nutracêutica da carne dos animais, influenciando diretamente na saúde dos consumidores.

Tabela 3. Exemplos de pesquisas com suplementação lipídica desprotegida da ação ruminal. Efeitos sobre o perfil lipídico (M. *Longissimus*).

Referência	Suplemento	Nível de inclusão	AGS				18:1 t11	CLA c9 t11	AGPI n-3				AGPI n-6		n-6/n-3	
			14:0	16:0	18:0	ΣAGS			18:3	20:5	22:5	22:6	Σn-3	18:2		Σn-6
Pouzo et al. (2015)	Linhaça	-	2,10	22,54	15,19*	39,92	2,29*	0,55	0,79	0,45	0,63	0,10	2,08	2,22	3,25	1,49
		1,25 g/kg PV	2,01	22,01	16,53*	40,68	1,86*	0,46	0,85	0,43	0,65	0,10	2,13	2,72	3,76	1,59
		2,50 g/kg PV	2,10	22,18	15,45*	39,83	1,83*	0,48	0,93	0,51	0,70	0,10	2,37	2,64	3,80	1,52
Nassu et al. (2011)	Feno de capim (FC)	-	2,75	26,62*	11,27	43,13*		0,42*	0,51*	0,24	0,44		1,19*	2,60	3,97	3,32*
	FC + linhaça	141 g/kg	2,78	23,39*	11,70	40,39*	NE	0,81*	1,22*	0,27	0,40	NE	1,89*	2,40	3,36	1,78*
	Silagem de cevada (SC)	-	2,75	25,96*	11,43	42,52*		0,33*	0,31*	0,13*	0,30		0,74*	2,10	3,24	4,39*
	SC + linhaça	87,1 g/kg	2,80	23,61*	11,94	40,70*		0,44*	1,06*	0,23*	0,36		1,64*	2,12	2,99	1,83*
Angulo et al. (2012)	Controle	-	2,32	27,6	14,3		0,6*	0,3*	0,8*	0,4	0,8*	0,06*	2,1	3,7	6,1	2,8*
	Linhaça+alga	27+4 g/kg MS	3,1	29,6	12,3	NE	1,1*	0,5*	1,0*	0,3	0,4*	0,3*	2,1	2,5	3,5	1,6*
	Girassol+alga	27+4 g/kg MS	3,0	31,4	12,7		1,9*	0,5*	0,6*	0,3	0,4*	0,3*	1,8	3,4	4,6	2,5*
Oliveira et al. (2011)	Controle	-	3,56	25,05	25,84	57,33		0,277	0,270*				0,75*	2,35*	3,37*	5,37
	Soja moída	14,4 % MS	3,28	24,15	24,31	54,66		0,292	0,369*				0,93*	3,64*	5,08*	5,42
	Algodão moído	18,0 % MS	3,66	25,53	22,82	54,94	NE	0,372	0,265*	NE	NE	NE	0,74*	2,65*	3,68	5,17
	Linhaça moída	6,6 % MS	3,48	25,03	22,77	53,97		0,307	0,561*				1,20*	2,83*	3,89	3,45
Ovinos																
Meale et al. (2014) ^s	Microalga marinha	-			3523*	9847*	384	140	36,5*	8,4*	29,0*	9*	61*	605		210*
		10 g/kg MS	NE	NE	2912*	8095*	496	205	27,5*	9,1*	40,1*	50*	77*	418	NE	55*
		20 g/kg MS			2242*	6204*	313	100	24,6*	17,9*	46,1*	58*	100*	398		42*
		30 g/kg MS			2158*	7010*	265	120	24,9*	32,1*	61,3*	114*	188*	451		42*
Annett et al. (2011)	Óleo de peixe	-		28,4	15,1	50,0	4,5	0,6	0,68	0,21	0,15*	0,03*	0,10	0,43	0,44	3,92
		14 g/dia	NE	28,3	14,6	51,0	7,1	0,6	0,35	0,42	0,49*	0,47*	0,18	0,32	0,36	3,00

NE = não especificado; *Indica diferença significativa entre os tratamentos (pelo menos P < 0,05); ^{\$}Representa os resultados em mg/100g.

3.4.1 Suplementação dietética protegida da ação ruminal

As pesquisas que realizaram a suplementação lipídica desprotegida apresentam alguns entraves, como o limite de lipídeos na dieta de ruminantes, que não deve exceder os 60-70 g/kg de MS da dieta sem afetar a atividade ruminal, além da biohidrogenação ruminal e consequente metabolização dos AGPI. A adoção de suplementos lipídicos protegidos, com certa resistência ao metabolismo ruminal surgem portanto como uma alternativa para evitar estes problemas (Gulati et al., 2005), na expectativa de ocasionar um maior fluxo de AGPI para o abomaso e consequentemente aumentar a deposição, alongamento e dessaturação destes no músculo e no tecido adiposo (Scollan et al., 2017). Algumas das pesquisas já realizadas estão dispostas na Tabela 4.

As tecnologias adotadas na proteção destes lipídios vão desde a emulsificação e encapsulamento com matriz proteica e tratamento com formaldeído; tratamento químico para formar sabões de cálcio ou amidas de AG; processamentos físicos em sementes oleaginosas (aquecimento, trituração, craqueamento, compressão, laminação e extrusão) ou adoção de sementes oleaginosas intactas (Gulati et al., 2005; Scollan et al., 2014; Jenkins e Bridges, 2007). Além disso, vários metabólitos secundários em plantas têm sido sugeridos para fornecer alguma proteção de AGPI. Dentre estes, podemos citar os taninos condensados (Min et al., 2003; Vasta et al., 2009), saponinas (Shi et al., 2004; Wallace, 2004), catecolaminas (Lafontan et al., 2002) e óleos essenciais (Wallace, 2004).

Entretanto, a capacidade de estimular um fluxo adequado dos AGPI pós rumen ainda é pouco conhecido, além de variar conforme metodologia de proteção e fonte lipídica adotada na dieta (Jenkins e Bridges, 2007). Outro ponto crucial é o custo de produção para realizar a adoção destas metodologias, necessitando que ocorra uma compensação no momento da venda dos animais para o abate (Scollan et al., 2014).

Tabela 4. Exemplos de pesquisas com suplementação lipídica protegida da ação ruminal (PD). Efeitos sobre o perfil lipídico (*M. Longissimus*).

Referência	Suplemento	Nível de inclusão	AGS				18:1 CLA c9		AGPI n-3				AGPI n-6		n-6/n-3	
			14:0	16:0	18:0	ΣAGS	t11	t11	18:3	20:5	22:5	22:6	Σn-3	18:2		Σn-6
Dunne et al. (2011)	Óleo de peixe protegido	-	3,41	25,26	10,79	41,91*	NE	NE	0,39*	0,22	NE	0,03*	0,79*	1,46	1,86	4,31*
		69 g/dia	3,61	25,40	11,75	43,50*			0,52*	0,31		0,06*	0,92*	1,65	2,24	3,33*
		138 g/dia	3,76	27,32	12,90	46,09*			0,57*	0,14		0,05*	0,96*	1,48	1,82	2,51*
		275 g/dia	3,78	24,88	10,71	42,99			0,69*	0,41		0,27*	1,40*	1,45	2,46	2,04*
Noci et al. (2011)	Sais de Ca de óleo palma (Megalac®)	60 g/kg MS	1,81	24,14*	15,65	43,26*	2,85*	0,82*	0,50*	0,07*	0,20*	0,04*	0,87*	3,45*	4,31*	5,28*
	Óleo de camelina	60 g/kg MS	1,98	21,51*	13,10	38,43*	4,61*	0,95*	1,27*	0,11*	0,20*	0,05*	1,75*	2,86*	3,70*	2,14*
	Óleo de linhaça	60 g/kg MS	1,76	21,16*	14,66	39,29*	5,28*	0,98*	1,74*	0,12*	0,21*	0,03*	2,18*	3,01*	3,72*	1,75*
	Semente de camelina PD	60 g/kg MS	1,68	20,72*	15,44	39,71*	4,13*	1,24*	1,66*	0,168	0,22*	0,04*	2,21*	3,01*	3,90*	1,83*
	Linhaça PD	60 g/kg MS	1,77	20,83*	15,65	40,10*	3,87*	1,41*	2,56*	0,30*	0,32*	0,08*	3,33*	3,03*	3,80*	1,15*
	Óleo de camelina PD	60 g/kg MS	1,76	21,70*	16,28	41,48*	3,32*	0,80*	1,90*	0,12*	0,20*	0,03*	2,36*	3,32*	4,00*	1,72*
Oliveira et al. (2012)	Controle	-	3,47	26,50	13,81	45,07*	NE	NE	0,32*	0,21	NE	NE	1,82*	5,66*	6,05	3,43*
	Óleo de soja	3,8 % MS	3,23	24,62	15,26	44,31*			0,33*	0,22			1,70*	5,43*	5,79*	3,49*
	Megalac-E® (Sais de Ca de óleo soja)	4,5 % MS	3,29	25,89	15,03	45,38*			0,38*	0,15			1,61*	7,82*	8,17*	5,05*
	Óleo linhaça	3,8 % MS	2,93	24,20	12,74	40,94*			1,21*	0,28			2,90*	6,48*	6,88	2,36*
	Óleo linhaça PD	4,5 % MS	3,47	25,71	14,72	45,09*			0,72*	0,23			1,88*	5,42*	5,80	3,10*
Aferri et al. (2012)	Controle	-	3,70	29,20	16,35	47,16	2,64*	0,363	0,298*	NE	NE	NE	0,305*	NE	3,15	10,54
	Caroço de algodão	50 g/kg MS	3,50	30,13*	16,41	47,05	3,07*	0,440	0,207*				0,206*		2,63	13,58
	Sais de Ca AG	210 g/kg MS	3,49	28,22*	17,32	46,46	5,85*	0,292	0,272*				0,338*		3,20	9,56

PD = protegido; NE = não especificado; *Indica diferença significativa entre os tratamentos (pelo menos $P < 0,05$).

Em um estudo avaliando justamente fontes protegidas (com hidróxido de sódio) ou não, de linhaça e camelina, Noci et al. (2011) demonstraram que quando as sementes de camelina e linhaça foram inseridas de forma protegida na dieta, ocorreu um maior enriquecimento do isômero C18:3 n-3, C22:5 n-3, C22:6 n-3 e n-3 total, em comparação com óleo de camelina e de linhaça desprotegidos. Na mesma pesquisa, os autores avaliaram também outro método de proteção, formado de um derivado amida do óleo de camelina (composto por C18:2 n-6 e C18:3 n-3). Observou-se um incremento na concentração de ambos os isômeros na carne de cordeiros, em comparação aos cordeiros suplementados com óleo de camelina desprotegido. Essa metodologia ainda carece de novos estudos complementares, principalmente com bovinos.

Scollan et al. (2004) encontrou uma redução de 3,59 para 1,88 na relação n-6:n-3 quando incluiu um suplemento de óleo vegetal protegido fisicamente, que continha uma relação de 1:1, mantendo ainda uma relação AGPI:AGS alta. Não ocorreram mudanças na concentração de DHA. Por outro lado, no trabalho de Richardson et al., (2004) com a proteção física no óleo de peixe, ocorreu um aumento significativo nos isômeros EPA e DHA no musculo *Longissimus*, embora pouca alteração na relação AGPI:AGS tenha acontecido, mas com melhora (redução) na proporção de n-6:n-3 apenas no nível de suplementação maior.

Estes ótimos resultados para a saúde humana nas pesquisas anteriormente citadas, refletem que o tratamento físico de lipídios não promove alterações significativas na proporção de AGPI da dieta, mas resulta em uma quantidade maior de AGPI que alcançam a digestão química pós ruminal (Jenkins e Bridges, 2007).

Em suplementações pré abate de longo prazo (17 meses) de ruminantes em pastejo, com óleo de cártamo e atum protegidos, ocorreu um aumento nas concentrações de EPA (2,51 para 8,89 g/100g) e DHA (0,45 para 2,79 g/100g) em fosfolipídeos da gordura intramuscular de bovinos, quando comparados aos animais que não foram suplementados (Moloney et al., 2011). Essa tecnologia de proteção do lipídeo, embora represente a tecnologia mais eficaz de proteção nas pesquisas científicas, ela não é utilizada em escala comercial, além de ser utilizado o formaldeído que pode não ser permitido por unidades regulatórias de alguns países (Scollan et al., 2014).

Portanto outras metodologias de proteção são frequentemente estudadas, apresentando também resultados interessantes. Dunne et al. (2011) realizou um encapsulamento do óleo de peixe em uma matriz com sensibilidade ao pH, resultando em uma proteção do pH ruminal, mas com liberação do lipídio no pH mais ácido do abomaso, resultando na liberação do óleo para digestão animal. Com essa metodologia e a dosagem de 275 g/dia, os autores encontraram um aumento de 100% na concentração de C18:3 n-3, de 300% nas concentrações do EPA, e de

900% no DHA em comparação aos animais não suplementados. A pesquisa de Richardson et al., (2004) anteriormente citada, provavelmente resultou em menor enriquecimento do DHA (3,5 vezes maior que o controle) porque o óleo de peixe utilizado em sua pesquisa continha menor concentração de DHA, e não necessariamente devido ao modo de proteção do lipídio.

Kronberg et al. (2013) protegeram um suplemento de linhaça com duas metodologias patenteadas, sem adoção de formaldeído, onde relataram que cordeiros alimentados com dietas à base de volumoso apresentaram um aumento no C18:3 n-3 e C20:5 n-3 nos fosfolipídios do músculo *triceps brachii*, em comparação aos que recebiam o suplemento desprotegido.

Oliveira et al. (2012), avaliaram um produto comercial à base de sais de cálcio, do óleo de soja, em substituição ao próprio óleo de soja na dieta de bovinos Nelore. Os autores observaram que houve um aumento do C18:2 n-6 na carne dos animais tratados com o produto comercial. Entretanto, a mesma metodologia de proteção aplicada ao óleo de linhaça na mesma pesquisa, controversamente, não resultou em diferenças para o C18:3 n-3 na carne dos animais, levando a acreditar que o processo de proteção não protegeu este óleo da biohidrogenação ruminal.

Os AGPI n-3 de cadeia longa, são incorporados principalmente aos fosfolipídios de membrana, diferente principalmente de AGS e AGT que compoem os triacilgliceróis (Bessa et al., 2007; Jerónimo et al., 2011). Com essa diferenciação, é possível manipular consideravelmente o perfil de AG intramuscular da carne de ruminantes, sem resultar em alterações consideráveis no percentual de gordura da composição centesimal da carne (Scollan et al., 2014).

Outro ponto importante para ocorrer uma adequada manipulação do perfil de AG é referente ao perfil que a fonte suplementar apresenta. Óleos de peixe, por exemplo, apresentam uma ampla variação nas concentrações de EPA e DHA, dependendo da espécie do peixe utilizada. Estes isômeros representam, no máximo 25% dos ácidos graxos do óleo de peixe, sendo o percentual restante composto predominantemente por AGS (Givens et al., 2000).

Portanto, uma forma de melhorar ainda mais a manipulação de ácidos graxos n-3 de cadeia longa seria o desenvolvimento de uma tecnologia que concentre esses ácidos graxos anteriormente à proteção (Scollan et al., 2014), aumentando portanto a quantidade de AGPI n-3 de cadeia longa absorvidas no intestino delgado, e conseqüentemente na carne dos ruminantes.

O enriquecimento de carne de ruminantes com maiores proporções de AGPI e AGMI, embora apresentem pouco impacto sobre outros aspectos do perfil de nutrientes do alimento (como proteínas, vitaminas e minerais), ainda necessitam de maiores atenções e estudos para

serem empregados em ampla escala produtiva.

Atenção deve ser direcionada principalmente aos possíveis efeitos da oxidação lipídica, tendo em vista que AGPI são mais susceptíveis à oxidação (Mahecha et al., 2010), onde por exemplo, o ácido linolêico é oxidado 10 vezes mais rápido que o oléico, e 20-30 vezes mais rápido que o linolênico (Li e Liu, 2012) podendo levar ao desenvolvimento de sabores/aromas rejeitados pelo consumidor (Diaz et al., 2011; Jiang et al., 2011). Porém, a oxidação lipídica por AGPI não é considerada como uma preocupação, desde que as concentrações de Vit E estejam acima do nível crítico de 2,95 mg/kg de carne (Ponnampalam et al., 2012), tendo em vista seu poder antioxidante que protege as células contra ataques de espécies reativas de oxigênio.

Uma forma de evitar essa possível oxidação durante a exibição da carne no varejo é a indução dietética conjunta das fontes lipídicas com suplementos de vitamina E, como o acetato de α -tocoferol. Óleos de peixe protegidos, bem como algumas outras fontes suplementares, já apresentam uma boa concentração de α -tocoferol, principal isoforma da Vit E, e portanto não necessitariam de uma possível suplementação da vitamina (Dunne et al., 2011).

É importante levar em consideração que suplementos não são facilmente acessíveis a todos os pecuaristas, principalmente devido aos custos de aquisição. As pesquisas com suplementação lipídica demonstram que é possível melhorar o perfil lipídico da carne de ruminantes, visando a saúde dos consumidores e possibilitando o aumento nas ingestões diárias de determinados AG essenciais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Progresso substancial tem sido observado nas abordagens para melhorar o perfil de AG da carne de ruminantes, visando o aumento principalmente de ácidos graxos n-3.

O enriquecimento da carne é mais desafiador para ruminantes do que animais monogástricos, devido à extensa lipólise e biohidrogenação dos lipídios da dieta pelo microbioma ruminal. No entanto, alguns estudos alcançaram resultaram em elevações consideráveis de isômeros benéficos a saúde humana. Entretanto, ainda é nítida falta de estudos examinando o impacto do consumo da carnes de animais suplementados sobre a saúde e bem estar dos consumidores. Isso essencialmente ajudaria a fazer julgamentos melhores sobre o impacto do valor nutricional da carne do ruminante na saúde e no bem estar dos consumidores.

5 REFERÊNCIAS

- AFERRI, G.; LEME, P. R.; PEREIRA, A. S. C.; SILVA, S. L.; PUTRINO, S. M.; FREITAS JÚNIOR, J. E. F.; RENNÓ, F. P. Fatty acid composition of the longissimus dorsi muscle in crossbred steers fed different sources of fatty acids. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 7, p. 1706-1712, 2012.
- ALDAI, N.; DUGAN, M. E. R.; KRAMER, J. K. G.; MARTINEZ, A.; CAMPOS, O. L.; OSORO, K. Length of concentrate finishing affects the fatty acid composition of grass-fed and genetically lean beef: an emphasis on trans-18:1 and conjugated linoleic acid profiles. **Animal**, v. 5, n. 10, p. 1643–1652, 2011.
- ALFAIA, C. P. M.; ALVES, S. P.; MARTINS, S. I. V.; COSTA, A. S. H.; FONTES, C. M. G. A.; LEMOS, J. P. C.; BESSA, R. J. B.; PRATES, J. A. M. Effect of the feeding system on intramuscular fatty acids and conjugated linoleic acid isomers of beef cattle, with emphasis on their nutritional value and discriminatory ability. **Food Chemistry**, v. 114, n. 3, p. 939–946, 2009.
- ANGULO, J.; HILLER, B.; OLIVERA, M.; MAHECHA, L.; DANNENBERGER, D.; NUERNBERG, B. L.; NUERNBERG, K. Dietary fatty acid intervention of lactating cows simultaneously affects lipid profiles of meat and milk. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, p. 2968–2974, 2012.
- ANNETT, R. W.; CARSON, A. F.; FEARON, A. M.; FILPATRICK, D. J. Effects of supplementation with fish oil and barium selenate on performance, carcass characteristics and muscle fatty acid composition of late season lamb finished on grass-based or concentrate-based diets. **Animal**, v. 5, p. 1923–1937, 2011.
- BARCELÓ-COBLIJN, G.; MURPHY, E. J. Alpha-linolenic acid and its conversion to longer chain n-3 fatty acids: benefits for human health and a role in maintaining tissue n-3 fatty acid levels. **Progress in Lipid Research**, v. 48, p. 355–374, 2009.
- BARENDSE, W. Should animal fats be back on the table? A critical review of the human health effects of animal fat. **Animal Production Science**, v. 54, p. 831-855, 2014.
- BAUMAN, D. E.; CLEMENT, I.; CORL, B. A. **Vaccenic acid**. US20050004218, 2005.
- 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, p. 847-861, 2002.
- BELURY, M. A. Dietary conjugated linoleic acid in health: Physiological effects and

- mechanisms of action. **Annual Review of Nutrition**, v. 22, p. 505- 531, 2002.
- BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. 2º edição. FUNEP – Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão: Jaboticabal. 616 p., 2011.
- BESSA, R. J. B., ALVES S. P.; SANTOS, S. J. Constraints and potentials for the nutritional modulation of the fatty acid composition of ruminant meat. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 117, p. 1325–1344, 2015.
- BESSA, R. J. B.; ALVES, S. P.; JERÓNIMO, E.; ALFAIA, C. M.; PRATES, J. A. M.; SILVA, J. S. Effect of lipid supplements on ruminal biohydrogenation intermediates and muscle fatty acids in lambs. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 109, n. 8, p. 868–878, 2007.
- BESSA, R. J. B.; SANTOS-SILVA, J.; RIBEIRO, J. M. R.; PORTUGAL, A. V. Reticulo-rumen biohydrogenation and the enrichment of ruminant edible products with linoleic acid conjugated isomers. **Livestock Production Science**, v. 63, p. 201-211, 2000.
- BRAVO-LAMAS, L.; BARRON, L. J. R.; KRAMER, J. K. G.; ETAIO, I.; ALDAI, N. Characterization of the fatty acid composition of lamb commercially available in northern Spain: emphasis on the trans-18:1 and CLA content and profile. **Meat Science**, v. 117, p. 108–116, 2016.
- BROUWER, I. A.; WANDERS, A. J.; KATAN, M. B. Effect of animal and industrial trans fatty acids on HDL and LDL cholesterol levels in humans – a quantitative review. **PLoS ONE**, v. 5, n. 3, e9434, 2010.
- CARLSON, J. J.; EISENMANN, J. C.; NORMAN, G. J.; ORTIZ, K. A.; YOUNG, P. C. Dietary fiber and nutrient density are inversely associated with the metabolic syndrome in US adolescents. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 111, p. 1688–1695, 2011.
- CHAPMAN, M. J.; GINSBERG, H. N.; AMARENCO, P.; ANDREOTTI, F.; BOREN, J.; CATAPANO, A. L.; DESCAMPS, O. S.; FISHER, E.; KOVANEN, P. T.; KUIVENHOVEN, J. A.; LESNIK, P.; MASANA, L.; NORDESTGAAR, B. G.; RAY, K. K.; REINER, Z.; TASKINEN, M. R.; TOKGOZOGLU, L.; TYBJAERG-HANSEN, A.; WATTS, G. F.; EUROPEAN SOCIETY ATHEROSCLEROSIS SOCIETY CONSENSUS PANEL. Triglyceride-rich lipoproteins and high-density lipoprotein cholesterol in patients at high risk of cardiovascular disease: evidence and guidance for management. **European Heart Journal**, v. 32, p. 1345–1361, 2011.
- CHILLIARD, Y.; GLASSER, F.; FERLAY, A. Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. **European Journal of Lipid Science and Technology**,

- v. 109, n.8, p. 828-55, 2007.
- CLONAN, A.; ROBERTS, K. E.; HOLDSWORTH, M. Socioeconomic and demographic drivers of red and processed meat consumption: implications for health and environmental sustainability. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 75, n. 3, p. 367–373, 2016.
- COOPER, S.; SINCLAIR, L.; WILKINSON, R.; HALLETT, K.; ENSER, M.; WOOD, J. Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid content of muscle and adipose tissue in lambs. **Journal of Animal Science**, v. 82, n. 5, p. 1461-1470, 2004.
- CORAZZIN, M.; BOVOLENTA, S.; SEPULCRI, A.; PIASENTIER, E. Effect of whole linseed addition on meat production and quality of Italian Simmental and Holstein bulls. **Meat Science**, v. 90, p. 99–105, 2013.
- CORL, B. A.; BAUMGARD, L. H.; DWYER, D. A.; GRINARI, J. M.; PHILLIPS, B. S.; BAUMAN, D. E. The role of delta-9 desaturase in the production of cis-9,trans-11 CLA. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 12, n. 12, p. 622–630, 2001.
- CUMMINGS, K. R.; RUDDEN, C. **Production of rumen by-pass fatty acid salt and protein dietary supplement**. US5585134, 1995.
- DALEY, C. A.; ABBOTT, A.; DOYLE, P. S.; NADER, G. A.; LARSON, S. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. **Nutrition Journal**, v. 9, 2010.
- DE SMET, S.; RAES, K.; DEMEYER, D. Meat fatty acid composition as affected by genetic factors. **Animal Research**, v. 53, p. 81–88, 2004.
- DEWHURST, R. J.; SCOLLAN, N. D.; LEE, M. R. F.; OUGHAM, H. J.; HUMPHREYS, M. O. Forage breeding and management to increase the beneficial fatty acid content of ruminant products. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 62, n. 2, p. 329–336, 2003.
- DEWHURST, R. J.; SHINGFIELD, K. J.; LEE, M. R. F.; SCOLLAN, N. D. Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. **Animal Feed Science and Technology**, v. 131, n. 3-4, p. 168–206, 2006.
- DÍAZ, M. T.; ÁLVAREZ, I.; DE LA FUENTE, J.; SANUDO, C.; CAMPO, M. M.; OLIVER, M. A.; FURNOLS, M. F.; MONTOSI, F.; JULIAN, R. S.; NUTE, G. R.; CANEQUE, V. Fatty acid composition of meat from typical lamb production systems of Spain, United Kingdom, Germany and Uruguay. **Meat Science**, v. 71, n. 2, p. 256–263, 2005.
- DÍAZ, M.T.; CAÑEQUE, V.; SÁNCHEZ, C.I.; LAUZURICA, S.; PÉREZ, C.; FERNÁNDEZ, C.; ÁLVAREZ, I.; FUENTE, J. D. Nutritional and sensory aspects of light lamb meat enriched in n-3 fatty acids during refrigerated storage. **Food Chemistry**, v. 124, n. 1, p.

- 147–155, 2011.
- DIERKING, R. M.; KALLENBACH, R. L.; ROBERTS, C. A. Fatty acid profiles of Orchardgrass, tall fescue, perennial Ryegrass, and Alfalfa. **Crop Science**, v. 50, p. 391–402, 2010.
- DOREAU, M.; CHILLIARD, Y. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. **British Journal of Nutrition**, v. 78, p. 15-35, 1980.
- DOREAU, M.; FERLAY, A. Digestion and utilization of fatty acids by ruminants. **ANIMAL Feed Science and Technology**, v. 45, p. 379-396, 1994.
- DUNNE, P. G.; ROGALSKI, J.; CHILDS, S.; MONAHAN, F. J.; KENNY, D. A.; MOLONEY, A. P. Long chain n-3 polyunsaturated fatty acid concentration and color and lipid stability of muscle from heifers offered a ruminally protected fish oil supplement. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 5015–5025, 2011.
- FELDMAN, E. B. The scientific evidence for a beneficial health relationship between walnuts and coronary heart disease. **The Journal of Nutrition**, v.132, n. 5, p. 1062–1101, 2002.
- FERNANDES, A. R. M.; SAMPAIO, A. A. M.; HENRIQUE, W.; TULLIO, R. R.; OLIVEIRA, E. A.; SILVA, T. M. Composição química e perfil de ácidos graxos da carne de bovinos de diferentes condições sexuais recebendo silagem de milho e concentrado ou cana-de-açúcar e concentrado contendo grãos de girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 4, p. 705- 712, 2009.
- FISHER, A. V.; ENSER, M.; RICHARDSON, R. I.; WOOD, J. D.; NUTE, G. R.; KURT, E.; SINCLAIR, L. A.; WILKINSON, R. G. Fatty acid composition and eating quality of lamb types derived from four diverse breed × production systems. **Meat Science**, v. 55, n. 2, p. 141– 147, 2000.
- GARCIA, P. T.; PENSEL, N. A.; SANCHO, A. M.; LATIMORI, N. J.; KLOSTER, A. M.; AMIGONE, M. A.; CASAL, J. J. Beef lipids in relation to animal breed and nutrition in Argentina. **Meat Science**, v. 79, n. 3, p. 500–508, 2008.
- GEBAUER, S. K.; CHARDIGNY, J. M.; 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, n. 4, p. 332–354, 2011.
- GILMORE, L. A.; WALZEM, R. L.; CROUSE, S. F.; SMITH, D. R.; ADAMS, T. H.; VAIDYANATHAN, V.; CAO, X.; SMITH, S. B. Consumption of high-oleic acid ground beef increases HDL-cholesterol concentration but both high- and low-oleic acid ground beef decrease HDL particle diameter in normocholesterolemic men. **The Journal of**

- Nutrition**, v. 141, n. 6, p. 1188-94, 2011.
- GIVENS, D. I.; COTTRILL, B. R.; DAVIES, M.; LEE, P. A.; MANSBRIDGE, R. J.; MOSS, A.R. Sources of n-3 polyunsaturated fatty acids additional to fish oil for livestock diets: A review. **Nutrition Abstracts and Reviews Series B**, v. 70, p. 3-19, 2000.
- GULATI, S. K.; GARG, M. R.; SCOTT, T. W. Rumen protected protein and fat produced from oilseeds and/or meals by formaldehyde treatment; their role in ruminant production and product quality: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**. v. 45, p. 1189- 1203, 2005.
- HERDMANN, A.; MARTIN, J.; NUERNBERG, G.; DANNENBERGER, D.; NUERNBERG, K. Effect of dietary n-3 and n-6 PUFA on lipid composition of different tissues of German Holstein bulls and the fate of bioactive fatty acids during processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 14, p. 8314-8321, 2010.
- HOCQUETTE, J. F.; BOTREAU, R.; PICARD, B.; JACQUET, A.; PETHICK, D. W.; SCOLLAN, N. D. Opportunities for predicting and manipulating beef quality. **Meat Science**, v. 92, v. 3, p. 197-209, 2012.
- HOPKINS, D.L.; CLAYTON, E. H.; LAMB, T. A.; VAN DE VEN, R. J.; REFSHAUGE, G.; KERR, M. J.; BAILES, K.; LEWANDOWSKI, P.; PONNAMPALAM, E. N. The impact of supplementing lambs with algae on growth, meat traits and oxidative status. **Meat science**, v. 98, p. 135-141, 2014.
- HOWES, N. L.; BEKHIT, A. E. A.; BURRITT, D. J.; CAMPBELL, A. W. Opportunities and Implications of Pasture-Based Lamb Fattening to Enhance the Long-Chain Fatty Acid Composition in Meat. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, 2015.
- HUWS, S. A.; KIM, E. J.; KINGSTON-SMITH, A. H.; LEE, M. R. F.; MUETZEL, S. M.; COOKSON, A. R.; NEWBOLD, C. J.; WALLACE, R. J.; SCOLLAN, N. D. Rumen protozoa are rich in polyunsaturated fatty acids due to the ingestion of chloroplasts. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 69, n. 3, p. 461-471, 2009.
- HUWS, S. A.; LEE, M. R. F.; KINGSTON-SMITH, A. H.; KIM, E. J.; SCOTT, M. B.; TWEED, J. K. S.; SCOLLAN, N. D. Ruminal protozoal contribution to the duodenal flow of fatty acids following feeding of steers on forages differing in chloroplast content. **British Journal of Nutrition**, v. 108, n. 12, p. 2207-2214, 2012.
- JENKINS, T. C.; BRIDGES, W.C. Protection of fatty acids against ruminal biohydrogenation in cattle. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 109, p. 778-789, 2007.

- JERÓNIMO, E.; ALVES, S. P.; ALFAIA, C. M.; PRATES, J. A. M.; SILVA, J. S.; BESSA, R. J. B. Biohydrogenation intermediates are differentially deposited between polar and neutral intramuscular lipids of lambs. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 113, n. 7, p. 924–934, 2011.
- JIANG, T.; BUSBOOM, J. R.; NELSON, M. L.; MENGARELLI, R. Omega-3 fatty acids affected human perception of ground beef negatively. **Meat Science**, v. 89, p. 390–399, 2011.
- JUAREZ, M.; DUGAN, M. E. R.; AALHUS, J. L.; ALDAI, N.; BASARAB, J. A.; BARON, V. S.; MCALLISTER, T. A. Effects of vitamin E and flaxseed on rumen-derived fatty acid intermediates in beef intramuscular fat. **Meat Science**, v. 88, n. 3, p. 434–440, 2011.
- KADEGOWDA, A. K. G.; BURNS, T. A.; MILLER, M. C.; DUCKETT, S. K. Cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid is endogenously synthesized from palmitelaidic (C16:1 trans-9) acid in bovine adipocytes. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 4, p. 1614–1623, 2013.
- KEMP, P.; WHITE, R. W.; LANDER, D. J. The hydrogenation of unsaturated fatty acids by five bacterial isolates from the sheep rumen, including a new species. **Journal of General Microbiology**, v. 90, n. 1, p. 100–114, 1975.
- KEPLER, C. R.; HIRONS, K. P.; MCNEILL, J. J.; TOVE, S. B. Intermediates and products of the biohydrogenation of linoleic acid by *Butyrivibrio fibrisolvens*. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 241, n. 6, p. 1350–1354, 1996.
- KHANAL, R.; OLSON, K. Factors affecting conjugated linoleic acid (CLA) content in milk, meat, and egg: a review. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 3, n. 2, p. 82–98, 2004.
- KIM, E. J.; HUWS, S. A.; LEE, M. R. F.; WOOD, J. D.; MUETZEL, S. M.; WALLACE, R. J.; SCOLLAN, N. D. Fish oil increases the duodenal flow of long chain polyunsaturated fatty acids and trans-11 18:1 and decreases 18:0 in steers via changes in the rumen bacterial community. **The Journal of Nutrition**, v. 138, n. 5, p. 889–896, 2008.
- KIM, E. J.; RICHARDSON, R. I.; GIBSON, K.; SCOLLAN, N. D. Effect of feeding plant oil rich in stearidonic acid on growth and meat quality of Charolais crossbred steers. **Advances in Animal Biosciences Food Security**, v. 2, p. 90, 2011.
- KRONBERG, S. L.; SCHOLLJEGERDES, E. J.; MURPHY, E. J.; WARD, R. E.; MADDOCK, T. D.; SCHAUER, C. S. Treatment of flaxseed to reduce biohydrogenation of alpha-linolenic acid by ruminal microbes in sheep and cattle, and increase n-3 fatty acid concentration in red meat. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 4618–4624, 2013.
- LADEIRA, M. M.; MACHADO NETO, O. R.; CHIZZOTTI, M. L.; OLIVEIRA, D. M.; CHALFUN JUNIOR, A. Lipids in the diet and the fatty acid profile in beef: A review and

- recent patents on the topic. Recent Patents on Food, **Nutrition and Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 123–133, 2012.
- LAFONTAN, M.; BERLAN, M.; STICH, V.; CRAMPES, F.; RIVIERE, D.; DE GLISEZINSKI, I.; SENGES, C.; GALITZKY, J. Recent data on the regulation of lipolysis by catecholamines and natriuretic peptides. **Ann Endocrinol**, v. 63, n.2, p. 86–90, 2002.
- LEE, M. R. F.; SHINGFIELD, K. J.; TWEED, J. K. S.; TOIVONEN, V.; HUWS, S. A.; SCOLLAN, N. D. Effect of fish oil on ruminal lipid metabolism in steers fed grass or red clover silages. **Animal**, v. 2, n. 12, p. 1859–1869, 2008.
- LEHESKA, J. M.; THOMPSON, L. D.; HOWE, J. C.; HENTGES, E.; BOYCE, J.; BROOKS, J. C.; SHRIVER, B.; HOOVER, L.; MILLER, M. F. Effects of conventional and grass feeding systems on the nutrient composition of beef. **Journal of Animal Science**, v. 12, p. 3575–3585, 2008.
- LI, Y.; LIU, S. Reducing lipid peroxidation for improving color stability of beef and lamb: on-farm considerations. **Journal of the Science of Food Agriculture**, v. 92, n. 4, p. 719–726, 2012.
- LOPES, L. S.; MARTINS, S. R.; CHIZZOTTI, M. L.; BUSATO, K. C.; OLIVEIRA, I. M.; MACHADO NETO, O. R.; PAULINO, P. V. R.; LANNA, D. P. D.; LADEIRA, M. M. Meat quality and fatty acid profile of Brazilian goats subjected to different nutritional treatments. **Meat Science**, v. 97, n. 4, p. 602–608.
- LOPEZ-HUERTAS, E. Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies. **Pharmacological Research**, v. 61, n. 3, p. 200–207, 2010.
- LOVEGROVE, J. A.; HOBBS, D. A. New perspectives on dairy and cardiovascular health. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 75, n. 3, p. 247–258, 2016.
- MAHECHA, L.; DANNENBERGER, D.; NUERNBERG, K.; NUERNBERG, G.; HAGEMANN, E.; MARTIN, J. Relationship between lipid peroxidation and antioxidant status in the muscle of German Holstein bulls fed n–3 and n–6 PUFA-enriched diets. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 14, p. 8407–8413, 2010.
- MAIA, M. R. G.; CHAUDHARY, L. C.; FIGUERES, L.; WALLACE, R. J. Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 91, p. 303–314, 2007.
- MARTIN, C. A.; ALMEIDA, V. V.; RUIZ, M. R.; VISENTAINER, J. E. L.; MATSHUSHITA, M.; SOUZA, N. E.; VISENTAINER, J. V. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e

- ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, v. 19, n. 6, p. 761-770, 2006.
- MARTINS, S. V.; LOPES, P. A.; ALFAIA, C. M.; RIBEIRO, V. S.; GERREIRO, T. V.; FONTES, C. M. G. A.; CASTRO, M. F.; SOVERAL, G.; PRATES, J. A. M. Contents of conjugated linoleic acid isomers in ruminant-derived foods and estimation of their contribution to daily intake in Portugal. **British Journal of Nutrition**, v. 98, n. 6, p. 1206–1213, 2007.
- MEALE, S.J.; CHAVES, A.V.; HE, M.L.; MCALLISTER, T. A. Dose-response of supplementing marine algae (*Schizochytrium* spp.) on production performance, fatty acid profiles, and wool parameters of growing lambs. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 2202–2213, 2014.
- MIN, B.; BARRY, T.; ATTWOOD, G.; MCNABB, W. C. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 106, n. 1-4, p. 3–19, 2003.
- MIR, P. S.; MIR, Z.; KUBER, P. S.; GASKINS, C. T.; MARTIN, E. L.; DODSON, M. V.; ELIAS CALLES, J. A.; JOHNSON, K. A.; BUSBOOM, J. R.; WOOD, A. J.; PITTENGER, G. J.; REEVES, J. J. Growth, carcass characteristics, muscle conjugated linoleic acid (CLA) content, and response to intravenous glucose challenge in high percentage Wagyu, Wagyu × Limousin, and Limousin steers fed sunflower oil-containing diets^{1,2}. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 11, p. 2996–3004, 2002.
- MOLONEY, A. P.; SHINGFIELD, K. J.; DUNNE, P. Fatty acid composition of longissimus dorsi muscle of early or late maturing heifers offered supplements containing either safflower oil or ruminally-protected tuna oil while at pasture. **Advances in Animal Biosciences**, v. 2, n. 2, p. 275, 2011.
- MORGAN, S.; HUWS, S. A.; SCOLLAN, N. D. Progress in forage-based strategies to improve the fatty acid composition of beef. **Grassland Science in Europe**, v. 17, p. 295–307, 2012.
- MOZAFFARIAN, D. Trans fatty acids – effects on systemic inflammation and endothelial function. **Atherosclerosis Supplements**, v. 7, n. 2, p. 29–32, 2006.
- MOZAFFARIAN, D.; KATAN, M. B.; ASCHERIO, A.; STAMPFER, M. J.; WILLET, W. C. Trans fatty acids and cardiovascular disease. **The New England Journal of Medicine**, v. 354, n. 15, p. 1601–1613, 2006.
- NASSU, R. T.; DUGAN, M. E. R.; HE, M. L.; MCALLISTER, T. A.; AALHUS, J. L.; ALDAI, N.; KRAMER, J. K. G. The effects of feeding flaxseed to beef cows given forage based diets on fatty acids of longissimus thoracis muscle and backfat. **Meat Science**, v. 89, p. 469–

477, 2011.

- NOCI, F.; MONAHAN, F.J., MOLONEY, A. P. (2011) The fatty acid profile of muscle and adipose tissue of lambs fed camelina or linseed as oil or seeds. **Animal**, v. 5, p. 134–147, 2011.
- OLIVEIRA, D. M.; LADEIRA, M. M.; CHIZZOTTI, M. L.; MACHADO NETO, O. R.; RAMOS, E. M.; GONÇALVES, T. M.; BASSI, M. S.; LANNA, D. P. D.; RIBEIRO, J. S. Fatty acid profile and qualitative characteristics of meat from zebu steers fed with different oilseeds. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 8, p. 2546-2555, 2011.
- 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 Nellore young bulls fed with different oils either protected or unprotected from rumen degradation. **Meat Science**, v. 90, n. 1, p. 28–35, 2012.
- OLIVEIRA, R. L.; BAGALDO, A. R.; LADEIRA, M. M.; BARBOSA, M. A. A. F.; OLIVEIRA, R. L.; OLIVEIRA, G. J. C. Desempenho produtivo e custos com alimentação de búfalas lactantes submetidas a dietas com diferentes fontes de lipídeo. **Brazilian Journal Animal Science**, v. 37, n. 8, p. 1503-08, 2008.
- PALMQUIST, D. L. Omega-3 fatty acids in metabolism, health, and nutrition and for modified animal product foods. **Professional Scientist**, v. 25, p. 207-249, 2009.
- PALMQUIST, D. L.; JENKINS, T.C. Fat in lactation rations. **Journal of Dairy Science**, v. 63, p. 1-14, 1980.
- PALMQUIST, D.L., JENKINS, T.C. Process for feeding ruminant animals and composition for use therein. US4642317 (1984).
- PALMQUIST, D.L.; LOCK, A.L.; SHINGFIELD, K.J.; BAUMAN, D.E. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants and humans. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 50, p. 179-217, 2005.
- PARIZA, M. W. Perspective on the safety and effectiveness of conjugated linoleic acid. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 79, n. 6, p. 1132-1136, 2004.
- POLAN, C. E.; MCNEILL, J. J.; TOVE, S. B. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids by rumen bacteria. **Journal Bacteriology**, v. 88, p. 1056-1064, 1964.
- PONNAMPALAM, E. N.; TROUT, G. R.; SINCLAIR, A. J.; EGAN, A. R.; LEURY, B. J. Comparison of the color stability and lipid oxidative stability of fresh and vacuum packaged lamb muscle containing elevated omega-3 and omega-6 fatty acid levels from dietary manipulation. **Meat Science**, v. 58, p. 151–161, 2001.

- PONNAMPALAM, E.; BUTLER, K.; JACOB, R.; PETHICK, D.; BALL, A.; HOCKING EDWARDS, J.; GEESINK, G.; HOPKINS, D. Health beneficial long-chain omega-3 fatty acid levels in Australian lamb managed under extensive finishing systems. **Meat Science**, v. 96, p. 1104–1110, 2014.
- PONNAMPALAM, E.; MANN, N.; SINCLAIR, A. Effect of feeding systems on omega-3 fatty acids, conjugated linoleic acid and trans fatty acids in Australian beef cuts: potential impact on human health. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**, v. 15, n. 1, p. 21–29, 2006.
- POUZO, L.; FANEGO, N.; SANTINI, F. J.; DESCALZO, A.; PAVAN, E. Animal performance, carcass characteristics and beef fatty acid profile of grazing steers supplemented with corn grain and increasing amounts of flaxseed at two animal weights during finishing. **Livestock Science**, v. 178, p. 140–149, 2015.
- RAES, K.; DE SMET, S.; DEMEYER, D. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long-chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 113, n. 1-4, p. 199–221, 2004.
- RICHARDSON, R. I.; HALLETT, K. G.; ROBINSON, A. M.; NUTE, G. R.; ENSER, M.; WOOD, J. D.; SCOLLAN, N. D. Effect of free and ruminally-protected fish oils on fatty acid composition, sensory and oxidative characteristics of beef loin muscle. **Anais... 50th International Conference on Meat Science and Technology** (p. 2.43). Finlândia: Helsinki, 2004.
- RITZENTHALER, K. L.; MCGUIRE, M. K.; FALEN, R.; SHULTZ, T. D.; DASGUPTA, N.; MCGUIRE, M. A. Estimation of conjugated linoleic acid intake by written dietary assessment methodologies underestimates actual intake evaluated by food duplicate methodology. **The Journal of Nutrition**, v. 131, n. 5, p. 1548–1554, 2001.
- RUSSO, G. L. Dietary n–6 and n–3 polyunsaturated fatty acids: From biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. **Biochemical Pharmacology**, v. 77, n. 6, p. 937–946, 2009.
- RUXTON, C. H. S.; REED, S. C.; SIMPSON, J. A.; MILLINGTON, K. J. The health benefits of omega-3 polyunsaturated fatty acids: a review of the evidence. **The Journal of Human Nutrition and Dietetics**, v. 17, p. 449–459, 2004.
- RYMER, C.; GIVENS, D. I. n-3 fatty acid enrichment of edible tissue of poultry: a review. **Lipids**, v. 40, n. 2, p. 121–130, 2005.
- SALTER, A. M. Dietary fatty acids and cardiovascular disease. **Animal**, v. 7, p. 163–171, 2013.
- SCHMID, A.; COLLOMB, M.; SIEBER, R.; BEE, G. Conjugated linoleic acid in meat and meat products: a review. **Meat Science**, v. 73, n. 1, p. 29–41, 2006.

- SCOLLAN, N. D.; HOCQUETTE, J. F.; RICHARDSON, R. I.; KIM, E. J. **Raising the Nutritional Value of Beef and Beef Products to Add Value in Beef Production**. Nottingham: Nottingham University Press, 2011.
- SCOLLAN, N. D.; ENSER, M.; RICHARDSON, R. I.; GULATI, S.; HALLETT, K. G.; NUTE, G. R.; WOOD, J.D. The effect of ruminally protected dietary lipid on the lipid composition and quality of beef muscle. **Anais...** 50th International Conference on Meat Science and Technology (p. 2.50). Finlândia: Helsinki, 2004.
- SCOLLAN, N. D.; DANNENBERGER, D.; NUERNBERG, K.; RICHARDSON, I.; MACKINTOSH, S.; HOCQUETTE, J-F.; MOLONEY, A. P. **Meat Science**, v. 97, n. 3, p. 384–394, 2014.
- SCOLLAN, N. D.; PRICE, E. M.; MORGAN, S. A.; HUWS, S. A.; SHINGFIELD, K. J. Can we improve the nutritional quality of meat?. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 76, p. 603- 618, 2017.
- SCOLLAN, N.; HOCQUETTE, J-F.; NUERNBERG, K.; DANNENBERGER, D.; RICHARDSON, I.; MOLONEY, A. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. **Meat Science**, v. 74, p. 17–33, 2006.
- SEWELL, G. W.; ALDRICH, H. C.; WILLIAMS, D.; MANNARELLI, B.; WILKIE, A.; HESPELL, R. B.; SMITH, P. H.; INGRAM, L. O. Isolation and Characterization of Xylan-Degrading Strains of *Butyrivibrio fibrisolvens* from a Napier Grass-Fed Anaerobic Digester. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 54, n. 5, p. 1085-1090, 1988.
- SHI, J.; ARUNASALAM, K.; YEUNG, D.; KAKUDA, Y.; MITTAL, G.; JIANG, Y. Saponins from edible legumes: chemistry, processing, and health benefits. **Journal of Medicinal Food**, v. 7, n. 1, p. 67–78, 2004.
- SHINGFIELD, K. J.; WALLACE, R. J. Synthesis of Conjugated Linoleic Acid in Ruminants and Humans. In **Conjugated Linoleic Acids and Conjugated Vegetable Oils**, p. 1–65 London: Royal Society of Chemistry, 2014.
- 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. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 54, n. 3, p. 438–463, 1991.
- SINCLAIR, L. A. Nutritional manipulation of the fatty acid composition of sheep meat: a review. **Journal of Agricultural Science**, v. 145, p. 419–434, 2007.
- SIRI-TARINO, P. W.; SUN, Q.; HU, F. B.; KRAUSS, R. M. Meta-analysis of prospective

- cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 91, n. 3, p. 535–546, 2010.
- SMITH, S. B.; GILL, C. A.; LUNT, D. K.; BROOKS, M. A. Regulation of Fat and Fatty Acid Composition in Beef Cattle. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 22, n. 9, p. 1225–1233, 2009.
- SOUZA, R. J.; MENTE, A.; MAROLEANU, A.; COZMA, A. I.; HA, V.; KISHIBE, T.; ULERYK, E.; BUDYLOWSKI, P.; SCHUNEMANN, H.; BEYENE, J.; ANAND, S. S. Intake of saturated and trans unsaturated fatty acids and risk of all cause mortality, cardiovascular disease, and type 2 diabetes: systematic review and meta-analysis of observational studies. **The BMJ**, v. 351, h3978, 2015.
- STROHMAIER, G. K.; FREDERIKSEN, E. D.; LUCHINI, N. D. **Method for manufacturing fatty acid calcium salts from high glyceride content oils**. US6774252, 2002.
- TURPEINEN, A. M.; MUTANEN, M.; ARO, A.; SALMINEN, I.; BASU, S.; PALMQUIST, D. L.; GUIINARI, M. Bioconversion of vaccenic acid to conjugated linoleic acid in humans. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 76, p. 504–510, 2002.
- ULBRICHT, T. L. V.; SOUTHGATE, D. A. T. Coronary heart disease: Seven dietary factors. **The Lancet**, v. 338, p. 985–992, 1991.
- VAHMANI, P.; MAPIYE, C.; PRIETO, N.; ROLLAND, D. C.; MCALLISTER, T. A.; AALHUS, J. L. The scope for manipulating the polyunsaturated fatty acid content of beef: a review. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 6, n. 1, 2015.
- VALSTA, L. M.; TAPANAINEN, H.; MANNISTO, S. Meat fats in nutrition. **Meat Science**, v. 70, n. 3, p. 525–530, 2005.
- VAN NEVEL, C. J.; DEMEYER D. Influence of pH on lipolysis and biohydrogenation of soybean oil by rumen contents in vitro. **Reproduction Nutrition Development**, v. 36, n. 1, p. 53–63, 1996.
- VASTA, V.; MAKKAR, H. P. S.; MELE, M.; PRIOLO, A. Ruminant biohydrogenation as affected by tannins in vitro. **British Journal of Nutrition**, v. 102, n.1, p. 82–92, 2009
- VERBEKE, W.; WEZEMAEL, L. V.; BARCELLOS, M. D.; KUGLER, J. O.; HOCQUETTE, J. F.; UELAND, O.; GRUNERT, K. G. European beef consumers' interest in a beef eating-quality guarantee: Insights from a qualitative study in four EU countries. **Appetite**, v. 54, n. 2, p. 289–296, 2010.
- VLAEMINCK, B.; MENGISTU, G.; FIEVEZ, V.; DE JONGE, L.; DIJKSTRA, J. Effect of *in vitro* docosahexaenoic acid supplementation to marine algae-adapted and unadapted rumen

- inoculum on the biohydrogenation of unsaturated fatty acids in freeze-dried grass. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n. 3, p. 1122–1132, 2008.
- WALLACE, R. J. Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 63, n. 4, p. 621–629, 2004.
- WANG, Y.; JACOME-SOSA, M. M.; Proctor, S. D. The role of ruminant trans fat as a potential nutraceutical in the prevention of cardiovascular disease. **Food Research International**, v. 46, n. 2, p. 460–468, 2012.
- WOLMARANS, P.; LAUBSCHER, J.; VAN DER MERWE, S.; KRIEK, J.; LOMBARD, C.; MARAIS, M.; VORSTER, H.; TICHELAAR, H. Y.; DHANSAY, M. A.; SPINNLER BENADÉ, A. J. Effects of a prudent diet containing either lean beef and mutton or fish and skinless chicken on the plasma lipoproteins and fatty acid composition of triacylglycerol and cholesteryl ester of hypercholesterolemic subjects. **The Journal of Nutrition Biochemistry**, v. 10, n. 10, p. 598–608, 1999.
- 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. J.; 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, 2003.
- WOODS, V. B.; FEARON, A. M. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: A review. **Livestock Science**, v. 126, n. 1–3, p. 1–20, 2009.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (OMS). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Who Technical Report Series, v. 916, Geneva-Suíça, 2003.
- ZHANG, C. M.; GUO, Y. Q.; YUAN, Z. P.; WU, Y. M.; WANG, J. K.; LIU, J. X.; ZHU, W. Y. Effect of octadeca carbon fatty acids on microbial fermentation, methanogenesis and microbial flora in vitro. **Animal Feed Science and Technology**, v. 146, n. 3–4, p. 259–269, 2008.