

EFEITOS NUTRICIONAIS E METABÓLICOS DE DIETAS RICAS EM ÁCIDOS GRAXOS POLIINSATURADOS PARA OS RUMINANTES E OS BENEFÍCIOS PARA O HOMEM

Elisa Cristina Modesto
Geraldo Tadeu do Santos
Duarte Vilela
Geane Dias Gonçalves
Makoto Matsushita

MODESTO¹, E.C., SANTOS², G.T., VILELA³, D., GONÇALVES¹, G.D., MAKOTO⁵, M. Efeitos nutricionais de dietas ricas em ácidos graxos poliinsaturados para os ruminantes e alguns benefícios para o homem. *Arq. ciên. vet. zool., UNIPAR*. 5(1) : p. 119-134, 2002.

RESUMO: O objetivo desta revisão foi pesquisar a ação dos ácido graxos, linoléico, C_{18:2} ômega 6 e o ácido linolênico, C_{18:3} ômega 3, nos ruminantes e caracterizar a importância destes ácidos graxos presentes em produtos derivados dos ruminantes para o homem. O ácido linoléico, ácido octadecadienóico com duas insaturações, C_{18:2}, possui várias formas de isômeros, no qual irão diferenciar conforme o posicionamento e a geometria das duplas insaturações, devido as modificações, este é chamado ácido linoléico conjugado (CLA). O isômero de CLA mais característico na gordura dos ruminantes, tanto no leite quanto na carne, é o C_{18:2} cis-9, trans-11, no qual esse conjugado específico, possui características anticarcinogênicas. Os ácidos graxos ao serem fornecidos para os ruminantes, sofrerão alterações devido ao ambiente ruminal, sobre estes irão atuar bactérias específicas com a capacidade de hidrolizar, isomerizar e biohidrogenar. Devido a cinética de biohidrogenação foi proposto que parte do CLA que aparecia na gordura dos ruminantes foi devido a síntese endógena, a qual acontece nos tecidos dos ruminantes devido a existência de uma enzima específica. Os fatores externos, principalmente as alterações na dieta, poderão acarretar em modificações na biohidrogenação ruminal, havendo, desta forma, diferenciações na composição da gordura. A partir dos ácidos linoléico e linolênico são possíveis serem sintetizados no homem os eicosanóides, o ácido araquidônico, C_{20:4}, e os ácidos eicosapentaenóico (EPA C_{20:5}) e o docosahexaenóico (DHA C_{22:6}), os quais são precursores dos prostanóides; tromboxanos, prostaglandina e leucotrienos. Especificamente o ácido eicosapentaenóico produz benefícios para a saúde cardiovascular e através desta revisão elucidam-se outros pontos positivos para a saúde humana advindo de produtos derivados dos ruminantes.

PALAVRAS-CHAVE: ácido linoléico conjugado, ácido graxo, biohidrogenação ruminal, eicosanóides

NUTRITIONAL AND METABOLIC EFFECTS OF RICH DIETS IN POLIINSATURADOS FAT ACID FOR THE RUMINANT AND SOME BENEFITS FOR THE MAN

MODESTO, E.C., SANTOS, G.T., VILELA, D., GONÇALVES, G.D., MAKOTO, M. Nutritional and metabolic effects of rich diets in poliinsaturados fat acid for the ruminant and some benefits for the man. *Arq. ciên. vet. zool., UNIPAR*. 5(1) : p. 119-134, 2002.

ABSTRACT: The objective of this revision was researched the action of the fat acids, family, the linoleic acid, C_{18:2} omega 6 and the acid linolenic, C_{18:3} omega 3, for the ruminant and to characterize the importance of these fat acid present in derived products of the ruminant for the man. The linoleic acid, octadecadienoic acid with two unsaturated, C_{18:2}, it possesses several forms of isomeric, in which it differ accordingly the

1 Pós-graduanda do PPZ-UEM, E-mail: ecmoesto5@bol.com.br

2 Professor do Departamento de Zootecnia do DZO – UEM – Maringá – PR, E-mail: gtsantos@uem.br

3 Pesquisador, EMBRAPA - CNPGL, Juiz de Fora - MG.

4 Professor do Departamento de Química – CCE - UEM – Maringá – PR

positioning and the geometry of the double unsaturated. This is called conjugated linoleic acid (CLA). The isomeric of more characteristic CLA in the fat of the ruminant, so much in the milk as in the meat, it is the C_{18:2} cis-9, trans-11, in which that conjugated specific, it possesses characteristic anticarcinogen. The fat acid in the diet for the ruminant, they will suffer alterations due to the atmosphere ruminal, specific bacteria will act in the hydrolyse, isomerisation and biohydrogenation. Based on the biohydrogenation kinetics it was proposed that leaves of the CLA that appeared in the fat of the ruminant it was due endogen synthesis. The biohydrogenation in the ruminant happen due the existence of a specific enzyme. The external factors, mainly the alterations in the diet, they can alter the biohydrogenation ruminal and this modify the composition of the fat. The linoleic and linolenic acids synthesize in the man the eicosanoids acid, the araquidonic acid, C_{20:4}, and the eicosapentaenoic acid (EPA C_{20:5}) and the docosahexaenoic acid (DHA C_{22:6}), which are precursors of the prostanoids. Specifically EPA produces benefits for the cardiovascular health. Through this revision, other positive points for the man health could be derived of products of the ruminant.

KEY WORDS: conjugated linoleic acid, ruminal biohydrogenation, eicosanoids

EFECTOS NUTRICIONALES DE DIETAS RICAS EN ÁCIDOS GRAXOS POLIINSATURADOS PARA LOS RUMIANTES Y ALGUNOS BENEFICIOS PARA EL HOMBRE

MODESTO, E.C., SANTOS, G.T., VILELA, D., GONÇALVES, G.D., MAKOTO, M. Efectos nutricionales de dietas ricas en ácidos graxos poliinsaturados para los rumiantes y algunos beneficios para el hombre. *Arq. ciên. vet. zool., UNIPAR*. 5(1) : p. 119-134, 2002.

RÉSUMEN: El objetivo de esta revisión fué investigar la acción para los rumiantes de ácidos graxos, el ácido linoleico, C18:2 omega 6 y el ácido linolénico, C18:3 omega 3 y caracterizar algunas importancias para el hombre de estos ácidos graxos presentes en los productos derivados de rumiantes. El ácido linoleico, ácido octadecadienoico con dos insaturaciones C18:2 posee varias formas de isómeros en los cuales se diferenciarán según el posicionamiento y la geometría de las dobles insaturaciones. Debido a las modificaciones, este ácido es llamado ácido linoleico conjugado (CLA). El isómero de CLA más característico en la grasa de los rumiantes, sea en la leche o en la carne, es el C18:2 cis-9, trans-11 en que este conjugado específico posee características anticarcinogénicas. Los ácidos graxos al ser ofrecidos a los rumiantes sufrirán alteraciones debido a la atmósfera ruminal, en esta irán actuar las bacterias específicas con la capacidad de hidrolisar, isomerizar y biohidrogenar. Basado en la cinética de biohidrogenación fue propuesto que parte del CLA que aparecía en la grasa de los rumiantes fue debido a la síntesis endógena que ocurre en los tejidos de los rumiantes una vez que existe una enzima específica. Los factores externos, principalmente las alteraciones en la dieta, podrán desencadenar modificaciones en la biohidrogenación ruminal y de esta manera, diferenciaciones en la composición de la grasa. A partir de los ácidos linoleicos y linolénicos son posibles de sintetizar en el hombre el ácido eicosanoide, el ácido araquidónico C20:4, el ácido eicosapentaenoico (EPA C20:5) y el ácido docosahexaenoico (DHA C22:6), los cuales son precursores de los prostanoídes, tromboxanos, prostaglandinas y leucotrienos. Específicamente EPA produce beneficios para la salud cardiovascular. A través de esta revisión se elucidan otros puntos positivos para la salud humana otorgados por los productos derivados de los rumiantes.

PALABRAS-CLAVES: ácido linoleico conjugado, biohidrogenación ruminal, eicosanoides

Introdução

Os produtos animais contribuem significativamente para a composição dos nutrientes totais na alimentação do homem

(NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1988). Eles são a principal fonte de vitaminas B12, B6, riboflavina, niacina e minerais zinco, fósforo, e cálcio. Os alimentos também podem contribuir como fatores na prevenção e desenvolvimento de

algumas doença. Como resultado, enfoque adicional tem sido dado a alimentos manipulados que aumentam os componentes que têm efeitos benéficos na saúde humana.

O termo “alimentos funcionais” é crescentemente usado como uma descrição genérica para os efeitos benéficos dos alimentos ingeridos que vão além da estimativa nutritiva tradicional (MILNER, 1999). Um relatório da Academia Nacional de Ciências defini alimentos funcionais como “qualquer comida ou ingrediente de comida que podem fornecer um benefício na saúde, além dos nutrientes tradicionais neles contidos” (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1988). Os produtos alimentares derivados dos animais também são conhecidos por conter microcomponentes que tem efeitos positivos na saúde humana e prevenção de doença, além de estarem associados com valores nutritivos tradicionais (PARODI, 1997 e BAUMAN *et al.*, 2000). O ácido linoléico conjugado (CLA) representa um deste microcomponentes em produtos animais. Os produtos alimentares derivados dos animais ruminantes são a maior fonte de CLA em dietas humanas (McGUIRE & McGUIRE, 1999). A descoberta de um “alimento funcional” ocorreu quando encontrou-se na carne bovina um fator anticarcinogênico que consistiu em uma série de isômeros dienólicos conjugados do ácido linoléico (BAUMAN *et al.*, 2000). Subseqüente trabalho encontrou que dietas com CLA podem reduzir a incidência de tumores malignos em animais, modelos para a glândula mamária, estômago, cólon, e tumores de pele (BELURY, 1995). Estes efeitos são reconhecidos pela Academia Nacional de Ciência que declararam “... o CLA é o único ácido graxo que tem mostrado poder inibitório no carcinógeno em animais

experimentais” (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1988).

Recentemente, o alcance de efeitos positivos na saúde associado com CLA em modelos experimentais tem sido estendido por incluir a redução no acréscimo de gordura corporal e alteração na partição dos nutrientes, efeitos antidiabéticos, redução no desenvolvimento de arterosclerose, aumento da mineralização do osso e modulação do sistema imunitário (BELURY, 1995). O CLA é composto de interesse para os cientistas da área animal, nutricionistas humano e a comunidade médica. Além dos benefícios alcançados pelo ácido linoléico, o ácido linolênico também favorecerá, através do fornecimento dos ácidos eicosapentaenólicos, uma melhor qualidade de vida ao ser humano. O objetivo deste trabalho foi estudar a ação do CLA em ruminantes e os benefícios proporcionados à saúde humana através da ingestão destes ácidos graxos e derivados poliinsaturados do ácido linolênico.

Ácido Linoléico Conjugado

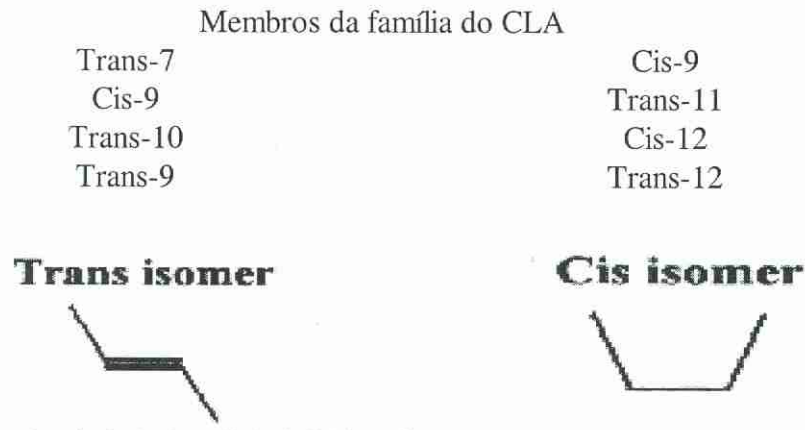
Os ácidos linoléicos conjugados representam uma mistura dos isômeros posicional e geométrico dos ácidos octadecadienólico com as cadeias duplas conjugadas. A presença de ácidos graxos com duplas cadeias conjugadas foi demonstrado primeiro em produtos alimentares derivados de ruminantes por Booth *et al.* (1935) citado por BAUMAN *et al.* (2000), o qual trabalhou com a gordura do leite de vacas que estavam em pastejo. Subseqüentemente, PARODI (1977) demonstrou estes principalmente representados pelo ácido octadecadienólico conjugado *cis*-9, *trans*-11 (Figura 1).



Figura 1 - Ácido octadecadienólico 9, 11 o mais encontrado nos ruminantes (PARODI, 1977)

Teoricamente, vários isômeros de CLA são possíveis, diferindo nas posições dos pares de dupla ligação (por exemplo 7-9, 8-10, 9-11, 10-12, e assim sucessivamente). Adicionais diferenças

podem existir na configuração da dupla ligação de forma que as configurações *cis*-*trans*, *trans*-*cis*, *cis*-*cis* ou *trans*-*trans* são todas possíveis.



Para a quantificação dos isômeros de CLA emprega-se métodos analíticos (por exemplo cromatografia de gás, íons prateado de alto desempenho na cromatografia líquida, espectroscópio infra-vermelho, e elétron ionização da massa espectrométrica) e aplicação sequenciais de um método analítico (por exemplo 2 a 6 colunas de cromatografia líquida de alta performance em série (SEHAT *et al.*, 1999). Isto resultou em uma habilidade melhorada para separar e quantificar concentrações de isômeros diferente de CLA.

O isômero principal de CLA na gordura do leite é cis-9, trans-11 e isto representa 80 a 90% do CLA total (PARODI, 1977; SEHAT *et al.*, 1999). Recentes estudos têm demonstrados que o isômero cis-9, trans-11 reduz a incidência de tumor mamário em ratos quando adicionado à dieta ou consumido como um componente natural de manteiga (IP *et al.*, 1999). O ácido rumênico foi proposto como nome comum para este isômero de CLA específico (KRAMER *et al.*, 1998). Sob certas condições dietéticas, a relação volumoso: concentrado (60:40), o perfil de CLA pode ser alterado de forma que a concentração do isômero trans-10, cis-12 aumenta na gordura do leite (GRIINARI *et al.*, 1999).

Estruturas dos isômeros de CLA cis-9, trans-11 e trans-10, cis-12 são apresentados na Figura 2. O isômero cis-9, trans-11 também é o isômero predominante na carne de ruminantes, mas em menor quantidade quando comparado ao leite (BAUMAN *et al.*, 2000). A mais baixa proporção do isômero cis-9, trans-11 no tecido adiposo dos ruminantes, quando comparado com a gordura do leite, pode estar, provavelmente, relacionado aos efeitos de engorda (alto-concentrado e baixa fibra) nas dietas para bovinos em terminação no E.U.A.

Recentemente, investigações usando análises mais elaboradas, revelaram que concentrações traço de muitos isômeros adicional de CLA também estão presentes na gordura de leite. Por exemplo, análises de produtos de queijos comerciais demonstraram que o isômero cis-9, trans-11 era o predominante (78-84%), mas foram identificados isômeros adicionais de CLA como: sete trans-trans (5-9%), três cis/trans (cis-trans ou trans-cis) (10-13%) e cinco cis-cis (<1%) (SEHAT *et al.*, 1999).

Vários trabalhos investigaram o efeito do processamento e armazenamento na concentração de CLA em produtos alimentares derivados dos ruminantes. Em geral, os resultados demonstram que o processamento e o armazenamento têm efeitos mínimos, indicando que o CLA é relativamente estável (RIEL, 1963). As concentrações de CLA são expressas em relação a gordura total, e tipicamente os produtos lácteos e a carne dos ruminantes têm concentrações próximas de 3 a 7 mg/g de gordura (LIN *et al.*, 1995), assim a concentração de CLA pode variar amplamente. As diferenças nas concentrações de CLA, em relação aos produtos lácteos foram relacionadas em grande parte a dieta (RIEL, 1963; KELLY *et al.*, 1998b). Porém, estudos com vacas em lactação demonstraram que até mesmo em rebanhos onde todas as vacas são manejadas semelhantemente e são alimentadas com a mesma dieta, ainda há uma variação na concentração do conteúdo de CLA no leite (JIANG *et al.*, 1996; KELLY *et al.*, 1998a; 1998b), sugerindo que há uma variação individual devido a genética.

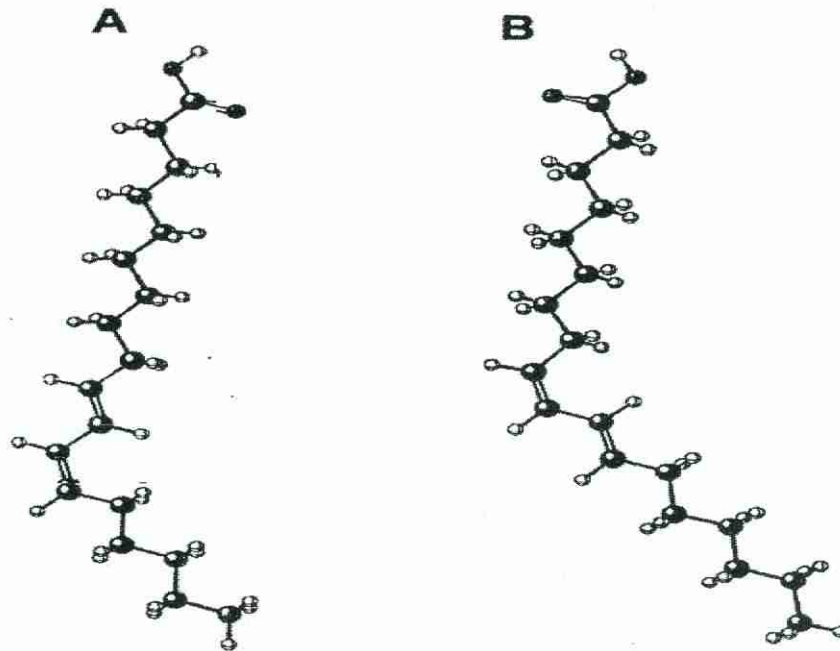


Figura 2 – Estrutura química de isômeros do ácido linoléico conjugado. A) Ácido graxo trans-10, cis-12 do ácido octadecadienóico, B) cis-9, trans-11 do ácido octadecadienóico (BAUMAN *et al.*, 2000).

Biossíntese de CLA

O CLA encontrado no leite e gordura da carne de ruminantes origina de duas fontes (GRIINARI *et al.*, 1999), uma fonte é o CLA formado durante a biohidrogenação ruminal de ácido linoléico. A outra fonte é o CLA sintetizado pelos tecidos do animal de $C_{18:1}$ trans-11, um intermediário na biohidrogenação de ácidos graxos insaturados. Assim, a particularidade de CLA em produtos alimentícios derivados dos ruminantes relaciona a incompleta biohidrogenação dos ácidos graxos insaturados dietéticos no rúmen. Porém, a biohidrogenação no rúmen dos lipídios dietéticos é responsável pelos altos níveis de ácidos graxos saturados na gordura dos ruminantes, uma característica considerada indesejável para a saúde humana.

Biohidrogenação Ruminal

A composição dos lipídios nas forragens, a qual varia de 2 a 4% na matéria seca (VAN SOEST, 1994) consiste em grande parte em glicolipídeos e fosfolipídeos, e os ácidos graxos principais são os ácidos graxos insaturado linolênico ($C_{18:3}$) e ácido linoléico ($C_{18:2}$). Em contraste, a composição dos lipídeos nos óleos de sementes usadas nos concentrados é predominantemente triglicerídeos que contém ácido linoléico e ácido oléico ($C_{18:1}$ cis-9). Quando

consumido por animais ruminantes, o lipídeo dietético sofre duas transformações importantes no rúmen. A transformação inicial é a hidrólise das cadeias de éster catalisado pelas lipases dos microorganismos. O segundo passo é a transformação, ou seja, a biohidrogenação dos ácidos graxos insaturados (BAUMAN *et al.*, 2000).

As bactérias são responsáveis pela biohidrogenação dos ácidos graxos insaturados no rúmen, os protozoários parecem ser de importância secundária (HARFOOT *et al.*, 1973a). Durante alguns anos, a única espécie bacteriana conhecida capaz de biohidrogenar era a *Butyrivibrio fibrisolvens*, porém com o avanço das pesquisas, um amplo número de bactérias ruminais tem sido isolado tendo a capacidade de biohidrogenar ácidos graxos insaturados (HARFOOT *et al.*, 1973a). A biohidrogenação de ácidos graxos insaturados envolve vários passos bioquímicos, sendo que diferentes espécie de bactérias ruminais catalisam a sucessão de biohidrogenação. KEMP & LANDER (1984) dividiram as bactérias em dois grupos baseado nas reações e produtos finais da biohidrogenação. O grupo A são as bactérias que hidrogenam o ácido linoléico ($C_{18:2}$) e ∞ ácido linoléico à $C_{18:1}$ trans-11 (ácido elaídico, forma isômera do ácido oléico), sendo este o produto final. O grupo B são as bactérias que utilizam o $C_{18:1}$ trans-11 como um dos principais substratos,

sendo o ácido esteárico ($C_{18:0}$) o produto final.

A seqüência de biohidrogenação do ácido linoléico está presente na Figura 3. A isomerização da cadeia dupla de cis-12 representa o passo inicial durante a biohidrogenação dos ácidos graxo que contêm o sistema de dupla cadeia cis-9, cis-12. A isomerase linoleato (EC 5.2.1.5) é a enzima responsável pela insaturação da estrutura de dupla cadeia do ácido linoléico cis-9, cis-12. Esta enzima está ligada à membrana da célula bacteriana e tem exigência de substrato que contenha o sistema duplo cis-9, cis-12 e um grupo de carboxila livre. Desta forma, o $C_{18:2}$ cis-9, cis-12 passa a ser o $C_{18:2}$ cis-9, trans-11, o qual ao sofrer uma redução é convertido a $C_{18:1}$ trans-11 (Figura 3). Estudos *in vitro* que usaram o ácido linoléico marcado, cultivados em conteúdos do rúmen demonstraram que a isomerização da cadeia dupla do cis-12 foi seguido por conversão rápida de CLA cis-9, trans-11 para ácido octadecanóico trans-11. A hidrogenação do trans-11 aconteceu mais vagorosamente, ocorrendo um aumento na concentração (SINGH & HAWKE, 1979). Então, a redução na concentração do $C_{18:1}$ trans-11, parece ser a seqüência da biohidrogenação dos ácidos graxos insaturados C18 mais limitante. Como conseqüência, este intermediário na biohidrogenação acumula no rúmen, sendo mais disponível para a absorção (Figura 3).

Semelhante ao ácido linoléico, a biohidrogenação do ácido linolênico começa com uma isomerização seguida por redução e termina com formação do ácido esteárico. A forma predominante do ácido graxo $C_{18:3}$ nos alimentos é o ácido α -linolênico (ácido octadecatrienóico cis-9, cis-12, cis-15). A biohidrogenação no rúmen do ácido α -linolênico produz ácido octadecatrienóico cis-9, trans-11, cis-15 conjugado como o produto de isomerização inicial predominante e isto é seguido por redução da dupla

cadeia cis. Como conseqüência, ácido octadecanóico trans-11 é um intermediário comum na biohidrogenação de ambos ácido α -linolênico e ácido linoléico. A biohidrogenação dos ácidos γ -linolênicos e, octadecatrienóico cis-6, cis-9, cis-12, também resultam em formação de $C_{18:1}$ trans-11 (GRIINARI *et al.*, 1999 e BAUMAN *et al.*, 2000).

A diminuição do pH do rúmen, devido a mudanças nas proporções volumoso : concentrado, resulta freqüentemente em trocas de população bacteriana e por conseguinte, mudanças no padrão dos produtos finais da fermentação (VAN SOEST, 1994). LEAT *et al.* (1977) mostram que as mudanças nas populações bacterianas do rúmen estão associadas a modificações nos caminhos da biohidrogenação, consistente com alterações no perfil do ácido trans-octadecanóico encontrado na digesta ruminal e tecido lipídico. GRIINARI *et al.* (1998) demonstraram que uma alteração no ambiente ruminal induzidos pela alimentação com dietas com alta fibra e concentrados baixos, estão associados com uma mudança no perfil do ácido trans-octadecanóico da gordura do leite. Durante esta situação, o ácido octadecanóico trans-10 substituiu o $C_{18:1}$ trans-11 com uma predominante trans $C_{18:1}$ isômero na gordura do leite. Segundo GRIINARI *et al.* (1999) para a produção de ácido octadecanóico trans-10 é necessário haver o envolvimento de uma específica, isomerase cis-9, trans-10 em bactérias ruminais, com a formação de trans-10, cis-12 estrutura de cadeia conjugada dupla como o primeiro intermediário. Observou-se que dietas com baixa fibra aumentam a proporção de trans-10, cis-12 isômero de CLA na gordura do leite (GRIINARI *et al.*, 1999). O CLA trans-10, cis-12 também tem sido observado como um dos três isômeros principais de CLA em digesta ruminais obtido do contínuo fluxo através das fermentações (FELLNER *et al.*, 1997).

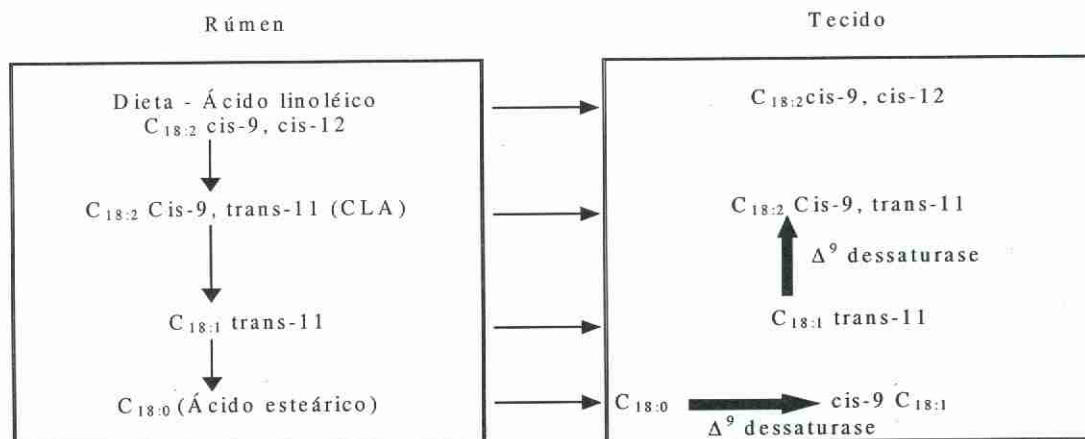


Figura 3: Papel no rúmen e no tecido da biohidrogenação Δ^9 – dessaturase na produção do ácido linoléico conjugado cis-9, trans-11 na gordura dos ruminantes (BAUMAN *et al.*, 2000).

CLA na gordura do leite e estes são apresentados na tabela 1, agrupados em diferentes categorias. A primeira categoria inclui fatores dietéticos que fornecem substrato de lipídeos para a produção de CLA ou C_{18:1} trans-11 no rúmen. O segundo agrupamento consiste em fatores dietéticos que alteram o ambiente de rúmen, afetando as bactérias envolvidas na biohidrogenação do rúmen. O terceiro grupo inclui os fatores dietéticos que podem envolver uma combinação de substrato de lipídeos e modificação da população bacteriana no rúmen. A adição dietética de óleos de plantas (girassol, óleo de soja, milho, canola, linhaça e amendoim) resulta em aumentos significativos na concentração da gordura do leite de CLA (Tabela 1). DHIMAN *et al.* (1999a) observaram que a concentração de CLA no leite de animais alimentados com o grão de milho normal e o grão de milho com alto teor de óleo foi em média de 3,9 mg/g de ácido graxo no leite, para ambos os tratamentos. Em geral, óleos de planta com alto teor do ácido linoléico (óleo de girassol) forneceram uma maior resposta sobre o teor de CLA do leite (KELLY *et al.*, 1998a, SOLOMON *et al.*, 2000). Níveis altos de ácido linoléico inibem irreversivelmente a hidrogenação de ácido octadecanóico trans-11 e isto resultaria em um substrato adicional para a síntese endógena de CLA cis-9, trans-11 (HARFOOT *et al.*, 1973b). MIR *et al.* (1999) observaram que a concentração do

CLA cis-9, trans-11, no leite de cabras Alpinas alimentadas com diferentes níveis de óleo de canola, nas quantidades de 2, 4 e 6% proporcionaram aumentos de CLA (P<0,01) de 10,35, 19,42 e 32,05 mg/g de gordura, sendo interessante que, a digestibilidade da gordura do leite das cabras é melhor que o leite de vaca, pois os glóbulos de gordura são menores.

Normalmente, nas dietas dos ruminantes não inclui óleos de planta, porque eles produzem efeitos inibitórios no crescimento microbiano ruminal (JENKINS, 1993). Um método para minimizar este efeito é fornecer sais de Ca dos ácidos graxos de forma que a maioria dos ácidos graxos passe o rúmen e só uma porção seja biohidrogenada (Tabela 1). Um outro método é fornecer sementes ricas em gordura, porém, estudos demonstraram que o fornecimento de sementes não processadas possuem pouco efeito na concentração da gordura do leite de CLA, sugerindo que os ácidos graxos poliinsaturados nas sementes são relativamente indisponíveis às bactérias ruminais. Em contraste, quando o suplemento foi processado utilizando sementes ricas em óleo, aumentou-se a concentração de CLA na gordura no leite. O aumento de ácidos graxos de cadeia longa nas dietas, inibiu a síntese de novo de ácidos graxos de cadeia média e curta na glândula mamária (GRUMMER, 1991).

Tabela 1 – Resumo de fatores dietéticos que afetam a concentração do ácido linoléico conjugado (CLA) na gordura do leite

Fatores dietéticos	Conteúdo de CLA na gordura do leite
Substrato lipídio	
Gordura Saturada x Insaturada	Aumento pela adição de gordura insaturada
Óleos de Plantas	
Tipo de óleo da planta	Aumenta com uma maior quantidade de óleos insaturados
Nível de óleo na planta	Aumento depende da dose
Sais de Ca do óleo na planta	Aumentam
Aumento de semente de planta oleagenosa	
Sementes sem processamento	Não possuem efeito
Sementes processadas	Aumentam
Grãos de milho ricos em óleo e silagem	Efeito mínimo
Produtos animais gordurosos	Efeito mínimo
Modificação do Ambiente Ruminal	
Forragem : concentrado	Efeito Variado
Nível de carboidratos não estruturais	Efeito menor
Alimentação restrita	Efeito variado
Óleo de peixe/farelo de peixe	Aumenta
Algas marinhas	Aumenta
Ionóforos	Efeito variado
Dietas purificadas	Pouco efeito com fibra suficiente
Combinação	
Pasto	Maior do que forragens conservadas
Estágio de crescimento da forragem	Diminui com maturidade da forragem
CLA suplementação	
	Aumento dependente da dose

Fonte: GRIINARI *et al.* (1999)

Aumentos na concentração da gordura do leite de CLA também tem sido observado com adição dietética de óleos de peixe ou farinhas de peixe (Tabela 1). Além disso, os óleos de peixe produzem um aumento maior na gordura do leite de CLA comparando os a uma quantia igual de óleos de planta (CHOUINARD *et al.*, 1998a). Pode ser que o efeito inibitório do óleo de peixe na biohidrogenação ruminal do ácido trans-octadecadienóico seja semelhante ao efeito inibitório de níveis altos de ácido linoléico. Desta forma, CHILLIARD *et al.* (1999) demonstraram que o fornecimento de óleo de peixe resulta em aumento da produção ruminal de ácido

octadecanóico trans-11. O efeito inibitório poderia envolver inibição do crescimento ou uma inibição específica da redutase de bactérias que reduzem ácido octadecanóico.

DHIMAN *et al.* (1999a) estudando diferentes tratamentos: controle, farinha de peixe, monensina e farinha de peixe mais monensina, observaram que os animais não diferiram quanto a concentração total dos ácidos graxos saturados e poliinsaturados, no entanto foram atribuídas maiores concentrações de CLA para os animais alimentados com farinha de peixe mais a monensina (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição do ácido graxo no leite de vacas alimentadas com dietas contendo farelo de peixe e monensina

Composição dos ácidos graxos mg/g	Tratamentos ¹			
	Controle	FP	MN	MN + FP
C _{16:0}	306	296	294	295
C _{16:1}	14,9	15,3	15,5	15,1
C _{18:0}	105	106	101	102
C _{18:1}	224	245	241	243
C _{18:2}	27,3	27,1	27,8	27,0
CLA ²	5,3b	8,6a	6,8b	8,9a
C _{18:3}	9,0	8,7	9,4	8,9

Médias seguidas de uma mesma letra na linha não diferiram em nível 1%.

¹Vacas alimentadas com a dieta controle ou dietas contendo 3% de farelo de peixe (FP) ou 250 mg de monensina/dia (MN) ou ambos (MN + FP)

² Ácido linoléico conjugado (C_{18:2} cis-9, trans-11).
DHIMAN *et al.* (1999a)

As alterações no fornecimento de alimentos como: o aumento de concentrados e a diminuição da fibra podem acarretar em mudanças na população bacteriana no rume, resultando em uma diminuição do pH e aumento da produção de propionato (VAN SOEST, 1994). Associado a estas alterações ocorre um aumento de ácidos trans-octadecanóico na gordura do leite (KALACHEUR *et al.*, 1997; GRIINARI *et al.*, 1998). Ao se modificar a relação volumoso: concentrado de 50:50 para 20:80, CHOUINARD *et al.* (1998a) observaram um aumento na concentração de CLA na gordura do leite.

GRIINARI *et al.* (1998) ao manterem o conteúdo lipídico constante, na dieta observaram um abaixamento do pH ruminal. Os resultados

demonstraram que a produção total de ácido graxo trans estava inalterada, mas o perfil dos ácidos graxos trans foram alterados onde o C_{18:1} trans-10 se tornou o isômero trans C_{18:1} predominante. Esta troca no perfil de trans-C_{18:1} também foi observada quando a dieta com baixa fibra e rica em óleo foi fornecida, onde uma diminuição no conteúdo da gordura do leite em ácido linoléico conjugado estava associado com uma diminuição na proporção de C_{18:1} trans-11 e um aumento na porcentagem de C_{18:1} trans-10 (GRIINARI *et al.*, 1999).

Geralmente, o pasto aumenta o conteúdo de CLA na gordura do leite, quando comparado ao fornecimento de uma ração de mistura total ou forragens conservadas (Tabela 1). Os lipídeos das

forragens consistem principalmente de glicolípídeos e fosfolípídeos que perfazem 2% da matéria seca (VAN SOEST, 1994). Estudos *in vitro* com culturas ruminais sugerem que glicolípídeos são hidrolizados e hidrogenados semelhantemente a triglicerídeos (DAWSON *et al.*, 1977). A maturidade da forragem também parece ser um importante fator no conteúdo de CLA na gordura do leite (Tabela 1). Dietas que contêm forragem na fase de crescimento inicial resultaram em aumentos de CLA na gordura do leite comparadas a dietas

de forragem madura ou forragens de segundo corte (CHOUINARD *et al.*, 1998b). DHIMAN *et al.* (1999a) observaram que animais em pastejo, obtiveram resultados superiores na concentração do CLA no leite. A concentração do ácido graxo poliinsaturado C_{18:3} no leite dos animais alimentados exclusivamente do pasto foi superior aos outros tratamentos (1/3 e 2/3 do pasto), indicando que ocorre uma predominância desse ácido nas forragens verdes (Tabela 3).

Tabela 3 – Consumo, produção e composição do leite de vacas em pastejo

Composição dos ácidos graxos mg/g de ácido graxo	Tratamento ¹			P**
	1/3 PS	2/3 PS	PS	
C _{16:1}	12,3b	13,1b	17,6a	0,001
C _{18:0}	152a	151a	121b	0,001
C _{18:1}	314	333	326	0,12
C _{18:2}	42,7a	27,1b	14,0c	0,001
CLA ²	8,9c	14,3b	22,1a	0,001
C _{18:3}	8,1c	14,6b	20,2a	0,001

Médias com diferentes letras diferem de acordo com o valor de P indicado.

¹ Vacas em 1/3 do pasto (1/3PS), 2/3 do pasto (2/3PS) e vacas em toda a pastagem (PS)

² Ácido linoléico conjugado (C18:2 cis-9 trans 11)

DHIMAN *et al.* (1999a)

Através de alterações na composição da dieta tem sido possível diminuir as concentrações de C_{16:0}, para o qual existem implicações de ser hiperlipidêmico e hipercolesterêmico, e aumentado as concentrações do C_{18:0}, C_{18:1}, C_{18:2}, C_{18:3}, os quais são considerados desejáveis a saúde

humana, pois reduzem o colesterol plasmático (UALBERTA, 2000). De acordo com KELLY *et al.* (1998b) a concentração de CLA na gordura do leite foi maior em vacas que estavam em pastejo do que quando os animais receberam uma dieta de mistura total (Tabela 4).

Tabela 4 – Composição do leite de animais a pasto e animais controle que receberam uma dieta de mistura total

Ácidos Graxos	Tratamentos		p
	Grupo controle	Grupo à pasto	
C _{16:0}	30,68	24,17	0,01
C _{16:1}	1,40	1,85	0,01
C _{18:0}	14,99	13,20	0,05
C _{18:1}	26,57	34,72	0,01
C _{18:2}	2,62	2,25	0,05
CLA	0,46	1,09	0,01
C _{18:3}	0,25	0,95	0,01

KELLY *et al.* (1998b)

Alterações na ingestão de alimentos tiveram efeitos variáveis no conteúdo da gordura do leite de CLA (JIANG *et al.*, 1996 e STANTON *et al.*, 1997), ao restringir severamente a ingestão dos alimentos, foi observado que a concentração de CLA na gordura do leite dobrou. Alterações na ingestão afetariam o substrato suplementar e mudariam o ambiente ruminal, ambos estes fatores contribuiriam para uma mudança no processo de

biohidrogenação ruminal. Um baixo fornecimento de alimento aumentaria a provisão de CLA e C_{18:1} trans-11 na mobilização corporal da gordura armazenada, estando este aumento relacionado com o equilíbrio de energia negativo.

Os ionóforos inibem o crescimento de bactérias gram positivas. Algumas das bactérias gram positivas estão envolvidas na biohidrogenação ruminal, inclusive *Butyrivibrio*

fibrisolvens. FELLINER *et al.* (1997) observaram que a adição de ionóforos inibiu a biohidrogenação do ácido linoléico que resulta em uma diminuição de ácido esteárico e aumento nas concentrações do monoinsaturado C_{18:1} nos conteúdos ruminais. Porém, os ionóforos em dietas de bovinos leiteiros geram controvérsias quanto à variação na concentração de CLA na gordura do leite. SAUER *et al.* (1998) relatou um aumento considerável na concentração da gordura do leite de CLA, no entanto CHOUINARD *et al.* (1998b) não observaram efeito em vacas recebendo monensina. As diferenças podem estar relacionadas às adaptações ruminais, nas quais espécie resistente aos ionóforos substituem bactérias sensíveis aos ionóforos - responsável pela biohidrogenação ruminal.

Suplementos e Metabolismo de Lipídeos

A gordura do leite e o conteúdo corporal em CLA também podem ser aumentados por suplementos dietéticos de CLA (Tabela 1). Existem tecnologias para proteger os suplementos das alterações ruminais pelas bactérias e isto foi feito sucessivamente para o CLA em um recente estudo com vacas leiteiras (GIESY *et al.*, 1999). Investigações com vacas em lactação estabeleceram que os suplementos dietéticos de CLA resultam em uma dose aumentada na concentração de CLA na gordura do leite. Os suplementos contiveram vários isômeros de CLA e consistiram principalmente de cis/trans 8,10, cis/trans 9,11, cis/trans 10,12, e cis/trans 11,13, e os resultados demonstraram que todos os isômeros de CLA foram transferidos para a gordura do leite (CHOUINARD *et al.*, 1998a; 1999).

Administração de suplementos de CLA para vacas em lactação também causou uma redução no conteúdo e produção da gordura de leite (LOOR & HERBEIN, 1998; CHOUINARD *et al.*, 1998a; 1998b; GIESY *et al.*, 1999). A infusão abomasal de um suplemento que continha aproximadamente 60% CLA causou uma redução 50% no conteúdo da gordura do leite. Os efeitos são específicos para a gordura do leite, assim os outros componentes do leite não sofrem alterações. Geralmente, a dose de CLA é de 0,5 a 2,0% da dieta acarretando uma mudança no conteúdo de gordura específico nos órgãos.

As alterações na composição do leite por fatores externos são observadas principalmente no

teor de gordura (VAN SOEST, 1994), possuindo, proporcionalmente aos demais sólidos, a maior amplitude de variação, com cerca de 3 pontos percentuais (SUTTON, 1989). Além dos fatores dietéticos, características da fermentação ruminal, influências hormonais, restrições fisiológicas ou bioquímicas, características genéticas, estação do ano, estágio de lactação e número de lactações podem também influenciar na variação da produção total de gordura do leite (SUTTON, 1989; PALMIQUIST *et al.*, 1993). Existem variações consideráveis entre animais no grau de depressão da gordura do leite (DGL), em uma mesma situação. Geralmente, animais de teor natural de gordura mais baixo (ex.: Holandês) exibem depressões proporcionalmente mais elevadas, quando comparados a animais que produzem mais gordura (ex.: Jersey). Animais em pico de lactação parecem apresentar mais susceptibilidade à síndrome (VAN SOEST, 1994).

Várias teorias têm sido propostas para explicar o mecanismo da DGL. Porém, uma teoria de interesse atual é que o mecanismo pode envolver uma inibição da síntese da gordura do leite através do ácido graxo específico intermediário produzido pela biohidrogenação ruminal de ácidos graxos poliinsaturados. Esta idéia foi proposta há quase 30 anos e foi apoiado por observações na DGL quando vacas lactantes receberam infusões abomasal de óleos vegetais parcialmente hidrogenados (SELNER & SCHULTZ, 1980). A redução na porcentagem da gordura do leite foi relacionada com um aumento nos ácidos graxos trans-C_{18:1} (GRIINARI *et al.*, 1998). Porém, a análise de isômeros do ácido graxo trans revelaram redução na gordura do leite, especificamente foi relacionada a um aumento em C_{18:1} trans-10 (GRIINARI *et al.*, 1998).

Estudos mais recentes mostraram que o aumento do conteúdo CLA trans-10, cis-12 na gordura também eram paralelamente próximos do DGL dietético induzido (GRIINARI *et al.*, 1999). Desta forma, foi hipotetizado que os isômeros trans-10, cis-12 foram responsáveis pela redução na gordura do leite. Aparentemente os isômeros de CLA ou os seus metabólitos possuem uma cadeia dupla de 10 posição que têm efeito inibitório na síntese da gordura do leite. A adição dietética de CLA trans-10, cis-12 causaram uma redução na gordura corporal em ratos em crescimento considerando que o CLA cis-9, trans-11 possui pouco ou nenhum efeito (PARK *et al.*, 1999 citados

por BAUMAN, 2000). Assim, o mesmo isômero de CLA que causa uma redução na síntese da gordura do leite, também pode ser o isômero de CLA que causa reduções na gordura corporal em diferentes espécies de animais em crescimento.

A gordura do leite contém ácidos graxos derivados da síntese de novo pela glândula mamária ($C_{4:0}$ a $C_{14:0}$ mais uma porção de $C_{16:0}$), e dos ácidos graxos preformados na saída da glândula mamária (uma porção de $C_{16:0}$ e ácidos graxos de cadeia mais longa). A composição referência do leite de bovinos foi descrita por PALMIQUIST *et al.* (1993), e demonstrada na Tabela 5. A principal peculiaridade do leite de ruminantes, consiste na presença de ácidos graxos de cadeia curta, não presentes na maioria dos leites de outras espécies (KNIGHT *et al.*, 1994) e que constituem a principal atividade de síntese lipídica da glândula mamária (VAN SOEST, 1994), observando-se um total de mais de 40% da massa total de gordura do leite em ácidos graxos de até 16 carbonos (LINZELL, 1968).

A grande maioria dos ácidos graxos de até 14 carbonos, e parte dos de 16 carbonos, são sintetizados na própria glândula mamária, principalmente a partir de acetato e butirato (LINZELL, 1968). Nestes casos, o β -hidroxi-bútilato parece responder mais pela síntese de ácidos graxos de cadeia curta, ao passo que, o acetato responde principalmente pela formação de ácidos graxos de cadeia mediana (10-14 carbonos), por intermédio da formação do malonil-CoA e posterior ação da enzima acetil-CoA carboxilase no alongamento da cadeia (LINZELL, 1968; PALMIQUIST *et al.*, 1993; VAN SOEST, 1994).

Tabela 5 - Composição de ácidos graxos de gordura do leite, tida como padrão

Ácido graxo	Teor (g/100g gordura)
$C_{4:0}$	3,32
$C_{6:0}$	2,34
$C_{8:0}$	1,19
$C_{10:0}$	2,81
$C_{12:0}$	3,39
$C_{14:0}$	11,41
$C_{14:1}$	2,63
$C_{16:0}$	29,53
$C_{16:1}$	3,38 (60,0)
$C_{18:0}$	9,84
$C_{18:1}$	27,39
$C_{18:2}$	2,78 (40,01)

PALMIQUIST *et al.* (1993).

Uma mudança adicional na composição da gordura do leite foi uma redução nos ácidos graxos que surgem da atividade Δ^9 -dessaturase. As relações de $C_{14:1}$ a $C_{14:0}$, $C_{16:1}$ a $C_{16:0}$ e $C_{18:1}$ cis-9 a $C_{18:0}$ foram todas diminuídas quando as vacas receberam CLA. Estas relações representam um substituto para a atividade Δ^9 -dessaturase, assim é evidente que CLA, em particular, o isômero de CLA trans-10, cis-12 diminui com a atividade Δ^9 -dessaturase.

Assim, em vacas produtoras de leite, mudanças na composição do ácido graxo do leite sugerem que o CLA causa uma atenuação na via da lipogênese de novo e uma redução na capacidade do Δ^9 -dessaturase. O mecanismo pelo qual o CLA reduz a síntese da gordura do leite pode ser multi-variado e poderia envolver a esterificação do ácido graxo e até mesmo a síntese de triglicerídeos.

Os mecanismos que causam a redução corporal do acréscimo de gordura de CLA no crescimento de animais, também não é claramente estabelecido. Efeitos poderiam envolver a redução na síntese de novo, reduzindo o uso de ácidos graxos no desempenho e aumento nas taxas de lipólises. Os isômeros trans-10, cis-12 em suplementos com CLA são responsáveis pela redução da síntese da gordura do leite em animais em lactação e redução do acréscimo de gordura corporal em animais em crescimento, também é produzido naturalmente pelas bactérias ruminais sob certas situações dietéticas.

Condições dietéticas que causam um aumento no CLA trans-10, cis-12 são altas quantidades de grãos, baixa quantidade de fibra, como tal, a alimentação de bovinos durante o período de acabamento, sendo que é neste período que o bovino tem a maior taxa de acréscimo de gordura corporal e deposição da gordura intramuscular. Consistente com isto, o nível de trans-10, cis-12 na gordura de bovinos de corte no período de acabamento foi de 1 mg/g de lípideo (DHIMAN *et al.*, 1999b).

Em termos do CLA exógeno, a variação nos suplementos de CLA fizeram comparações difíceis, a quantidade de CLA exigida para inibir a síntese de gordura do leite em vacas lactantes, poderia ser substancialmente menor do que a redução na síntese da gordura corporal em animais

em crescimento (ØSTROWSKA *et al.*, 1999; BAUMGARD *et al.*, 2000). O desenvolvimento de uma compreensão dos mecanismos do CLA podem ser extraídos dos seus diversos efeitos biológicos, os quais devem ser mais estudados.

Importância para o Homem da Ingestão de Ácido Graxos

Ao trabalhar a qualidade dos alimentos, principalmente os de origem animal com o objetivo de aumentar ácido linoléico conjugado ou o ácido linolênico, visa-se uma maior ingestão pelo ser humano de produtos ricos nestes ácidos graxos, refletindo em um maior bem estar e saúde para o homem. Está estabelecido claramente que alguns ácidos graxos poliinsaturados derivados do ácido α -linolênico (LCPUFA ω -3) ou seja, os ácidos eicosapentaenóico são necessários no desenvolvimento do ser humano. Estes ácidos graxos podem vir diretamente da alimentação (produtos ricos em LCPUFA ω -3) como também eles podem ser formados a partir de precursores da mesma série metabólica presente na dieta. A necessidade nutricional e a importância metabólica de uma ou outra alternativa, dos precursores da série de ω -3 LCPUFA pré formados da ingestão de ω -3, dependerá da etapa de desenvolvimento em que o indivíduo se encontra, do estado nutricional, das necessidades fisiológicas destes ácidos graxos e das exigências específicas por parte de certos tecidos. A função biológica do LCPUFA ω -3 está relativamente bem definida, especialmente para os dois ácidos graxos mais característicos, o ácido eicosapentaenóico (EPA $C_{20:5}$) e o doco-sahexaenóico (DHA $C_{22:6}$) (GARCIA, 1998).

O EPA associa principalmente com a proteção da saúde cardiovascular, a sua presença nos tecidos permite regular a atividade de mecanismos envolvidos com o metabolismo dos lipídios plasmáticos, com a agregação de plaquetas e com o processo da coagulação sanguínea (LEAF & KING, 1998). Deste ponto de vista, as exigências são maiores no indivíduo adulto e especialmente desenvolvimento de enfermidades do aparelho circulatório. O DHA é considerado fundamental na formação do tecido nervoso e visual, no qual sua exigência associa-se

principalmente tanto com as primeiras fases do desenvolvimento tanto intra como extra-uterino, e com as exigências da mãe durante a gestação e na etapa da lactação (CRAWFORD *et al.*, 1999).

Os tecidos que têm a capacidade para biossintetizar LCPUFA ω -3 no homem (fígado, gônadas, e em menor escala, cérebro e tecido adiposo), eles fazem isto a partir do precursor ácido α -linolênico (ω -3 $C_{18:3}$). Este ácido graxo essencial atinge as células através da contribuição pela dieta e pelo transporte nas lipoproteínas de baixa densidade, LDL (do inglês, "low density lipoprotein"). Uma vez dentro de célula e depois da desintegração de LDL, o ácido α -linolênico se concentra em um fração subcelular de estrutura membranosa conhecida como retículo endoplasmático. Nas membranas deste encontra-se um grupo de enzimas identificadas como dessaturases e elongases. Estas enzimas, como seu nome indicam, serão encarregadas de aumentar o número de ligações duplas (dessaturases) e ao longo da cadeia de carbono (elongases) do ácido α -linolênico, de seu derivado estrutural, e de outros dois ácido graxos da série ω -9 e ω -6. As enzimas mais importantes que participam neste processo são a Δ^6 dessaturase, o Δ^5 dessaturase e as 18 \rightarrow 20, 20 \rightarrow 22, e 22 \rightarrow 24 elongases (os números determinam a extensão dos ácidos graxos depois da alongação) (VALENZUELA, 2000a).

Deste modo, o ácido α -linolênico, depois de sucessivas dessaturações e alongações, se transforma em um ácido graxo de 24 carbonos e 6 duplas ligações (ω -3 $C_{24:6}$). Este ácido graxo pode abandonar o retículo endoplasmático, existindo duas alternativas metabólicas, uma possibilidade é que seu destino seja a mitocôndria, onde mediante a β -oxidação pode se tornar acetil-CoA e contribuir com energia para a função celular (Eaton *et al.*, 1996 citado por VALENZUELA, 2000a). Porém, parece pouco lógico que isto aconteça, considerando que a célula gaste uma grande quantidade de energia transformando o ω -3 $C_{18:3}$ em ω -3 $C_{24:6}$. Este ácido graxo, como muitos outros LCPUFA, é um inibidor da acil-CoA carnitina transferase, enzima envolvida no transporte de PUFA e LCPUFA para o interior da mitocôndria para ser β -oxidado (SPECTOR, 1999). A outra alternativa, é que os $C_{24:6}$ ω -3 são transportados ao peroxisoma (organela

citoplasmática que está relacionado à proteção e a quebra dos peróxidos). Nesta organela o ácido graxo sofre uma β -oxidação parcial que transforma isto em ômega-3 $C_{22:6}$ (DHA). O DHA formado pode abandonar o peroxisoma voltando ao retículo endoplasmático para ser incorporado ao fosfolipídio que mais tarde fará parte das membranas celulares. Uma fração pequena de DHA cuja quantidade é presumivelmente muito pouco regulada pela célula, pode novamente ser β -oxidada para transforma-se em EPA, o que também estaria disponível a completar funções celulares. O processo de transformação dos ômega-3 $C_{24:6}$ para DHA e mais tarde para EPA é conhecido como retroconversão (SPECTOR, 1999). A figura 5 resume a via de conversão do ácido α -linolênico em DHA, é possível considerar que haveria duas formas para a formação do EPA; um a partir dos ômega-3 $C_{20:4}$ e uma segunda alternativa, através da retroconversão peroxisomal. Não está claro se ambas as vias de formação de EPA estão disponíveis para todas as células envolvidas neste processo.

Embora os ácidos graxos EPA e DHA tenham uma estrutura semelhante, ambos LCPUFA ômega-3 desempenham funções fisiológicas e me-

tabólicas muito diferentes. O EPA relaciona principalmente com a proteção da saúde cardiovascular no adulto e o DHA é considerado fundamental para o desenvolvimento do cérebro e do sistema visual, associando a saúde materno-infantil. Os principais efeitos dos PCPUFA ômega-3, EPA na proteção da saúde cardiovascular seria:

- 1) Competir com o ácido araquidônico na formação de prostaglandinas, tromboxanos e leucotrienos;
- 2) Produzir uma inibição da agregação plaquetária (efeito antitrombótico) e estimulação da vasodilatação;
- 3) Produzir efeitos antiinflamatórios e reduzir a quimiotaxia dos leucócitos,
- 4) Inibir a síntese de triglicerídios a nível hepático e inibir a secreção de VLDL (lipoproteínas com densidade muito baixa);
- 5) Favorecer a secreção hepática de VLDL de menor tamanho, que se transforma em LDL (lipoproteínas de baixa densidade) de maior tamanho, consideradas não aterogênicas,
- 6) Estimula o transporte reverso de colesterol, favorece sua captação pelo fígado e sua eliminação pela via biliar.

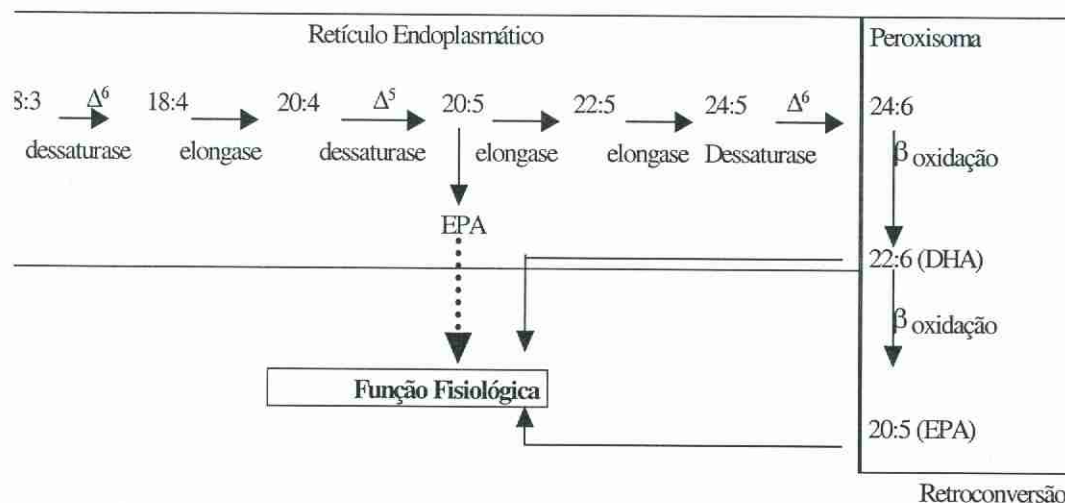


Figura 5 – Biossíntese do LCPUFA ômega-3 no ser humano (VALENZUELA, 2000a)

Considerações Finais

Os produtos alimentares vindos dos ruminantes contêm ácidos linoléico conjugado (CLA), ácidos graxos que têm benefícios para a saúde humana. A biossíntese de CLA causa variação no conteúdo da gordura dos ruminantes, desta forma a oportunidade existe para o aumento

substancial na concentração de CLA em produtos alimentares.

Há muitos isômeros de CLA na gordura, mas o *cis*-9, *trans*-11 é predominante. Pesquisas com modelos animais demonstraram que este isômero específico tem propriedades anticarcinogênicas, como a redução de tumores malignos mamários. Em certas condições

dietéticas, o CLA trans-10, cis-12 aumenta na gordura do ruminante e este isômero causa uma redução na síntese da gordura do leite (lactação) e acréscimo na gordura corporal (crescimento).

Devido ao estresse que o ser humano está sujeito e a variação nos hábitos alimentares, é interessante que se ingira alimentos ricos em LCPUFA ômega 3, pois estes possuem efeito protetor na saúde cardiovascular, formação de tecido nervoso e visual.

O descobrimento do CLA representa uma área de pesquisa de importância potencial na produção dos alimentos derivados dos ruminantes e, além deste alimento funcional, há um desafio tecnológico que deve consolidar esforços dos investigadores clínicos, dos nutricionistas e dos profissionais encarregados de regular e controlar os novos produtos alimentícios que contribuam na qualidade de vida do ser humano.

Referências

- BAUMGARD, L. H. *et al.* Identification of the conjugated linoleic acid isomer that inhibits milk fat synthesis. *American Journal Physiology*, Bethesda, n.278, p.R179-R184. 2000.
- BAUMAN, D.L. *et al.* Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. Ed. JDS, 99-937 Revised. 2000. 49p.
- BELURY, M. A. Conjugated dienoic linoleate: a polyunsaturated fatty acid with unique chemoprotective properties. *Nutrition Review*, Washington, v.53, p.83-89. 1995.
- CHILLIARD, Y. *et al.* Effects of ruminal or postruminal fish oil supply on conjugated linoleic acid (CLA) content of cow milk fat. *Proc. Nutrition Soc.*, New England, v.58, p.70A (Abstr.) 1999.
- CHOUINARD, P. Y. *et al.* Conjugated linoleic acid content of milk from cows fed different sources of dietary fat. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.81 (Suppl. 1), p.233 (Abstr.) 1998a.
- CHOUINARD, P. Y. *et al.* Effect of dietary manipulation on milk conjugated linoleic acid concentrations. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.81 (suppl. 1), p.233 (Abstr.), 1998b.
- CHOUINARD, P. Y. *et al.* Milk yield and composition during abomasal infusion of conjugated linoleic acids in dairy cows. *Journal Dairy Science*, Champaign, v. 82, n.12, p.2737-2745. 1999.
- CORL, B. A. *et al.* Conjugated linoleic acid milk fat of dairy cows originates in part by endogenous synthesis from trans-11 octadecenoic acid. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.81 (Suppl. 1), n.233 (Abstr.), 1998.
- CORL, B. A. *et al.* Examination of the importance of Δ^9 -desaturase and endogenous synthesis of CLA in lactating dairy cows. *Journal Animal Science*, Savoy, v.77 (Suppl. 1), n.118 (Abstr.), 1999.
- CRAWFORD, M.A. *et al.* Evidence for the unique function of docosahexaenoic acid during the evolution of the modern hominid brain. *Lipids*, Washington, v.34, n.S39-S47. 1999.
- DAWSON, R. M. C., HEMINGTON, N., HAZLEWOOD, G. P. On the role of higher plant and microbial lipases in the ruminal hydrolysis of grass lipids. *British Journal Nutrition*, Oxford, v.38, n.5, p.225-232. 1977.
- DHIMAN, T. R. *et al.* Conjugated linoleic acid content of milk from cows fed different diets. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.82, n.10, p.2146-2156. 1999a.
- DHIMAN, T. R. *et al.* Conjugated linoleic acid content of milk and cheese from cows fed extruded oilseeds. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.82, n.2, p.412-419. 1999b.
- FELLINER, V., F. SAUER, D., KRAMER, J. K. G. Effect of nigericin, monensin, and tetronasin on biohydrogenation in continuous flow-through ruminal fermenters. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.80, p.921-928. 1997.
- GARCIA, D. J. Omega-3 long chain PUFA nutraceuticals. *Food Technology*, Chicago, v.52, p.44-49, 1998.
- GIESY, J. G. *et al.* Effects of calcium salts of conjugated linoleic acid (CLA) on estimated energy balance in Holstein cows early in lactation. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.82 (Suppl. 1), p.74 (Abstr.). 1999.
- GRINARI, J. M. *et al.* Trans-octadecenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *Journal Dairy Science*, Champaign, v. 81, n.3, p.1251-1261. 1998.
- GRINARI, J. M. *et al.* Variation of milk fat concentration of conjugated linoleic acid and milk fat percentage is associated with a change in ruminal biohydrogenation. *Journal Animal Science*, Savoy, v.77(Suppl. 1), p.117-118 (Abstr.), 1999.
- GRUMMER, R. R. Effect of feed on the composition of milk fat. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.74, n.7, p.3244-3257. 1991.
- HARFOOT, C. G., NOBLE R. C., MOORE, J. H. Factors influencing the extent of biohydrogenation of linoleic acid by rumen micro-organisms *in vitro*. *Journal Science Food Agriculture*, Oxford, v.24, p.961-970. 1973a.
- HARFOOT, C. G., NOBLE, R. C., MOORE, J. H. Food particles as a site of biohydrogenation of unsaturated fatty acids in the rumen. *Journal Biochemistry*, Tokio, v.132, p.829-832. 1973b.
- HARRIS, W. S. n-3 Fatty acids and lipoproteins: Comparison of results from human and animal studies. *Lipids*, Washington, v.31, p.243-252. 1999.
- IP, C. *et al.* Conjugated linoleic acid-enriched butter alters mammary gland morphogenesis and reduces cancer risk in rats. *Journal Nutrition*, Bethesda, v.129, p.2135-2142. 1999.
- JENKINS, T. C. Lipid metabolism in the rumen. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.76, p.3851-3863. 1993.
- JIANG, J. *et al.* Occurrence of conjugated cis-9, trans-11 octadecadienoic acid in bovine milk: effects of feed and dietary regimen. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.79, p.438-445. 1996.
- KALACHEUR, K. F. *et al.* Effect of dietary forage concentration and buffer addition on duodenal flow of trans-C_{18:1} fatty acids and milk fat production in dairy cows. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.80, n.9, p.2104-2114. 1997.
- KELLY, M. L. *et al.* Dietary fatty acid sources affect conjugated linoleic acid concentrations in milk from lactating dairy cows. *Journal Nutrition*, Bethesda, v.128, p.881-885. 1998a.
- KELLY, M. L. Effect of intake of pasture on concentrations of conjugated linoleic acid in milk of lactating cows. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.81, n.6, p.1630-1636. 1998b.

- KEMP, P., LANDER, D. J. Hydrogenation *in vitro* of α -linoleic acid to stearic acid by mixed cultures of pure strains of rumen bacteria. *Journal Genetic Microbiology*, London, v.130, p.527-533. 1984.
- KRISTENSEN, S.D., SCHMIDT, E. B. DYERBERG, J. Dietary supplementation with n3 polyunsaturated fatty acids and human platelet function; A review with particular emphasis on implications for cardiovascular disease. *Journal Int. Medical*, Northampton, v.225 (suppl1), p.141-150. 1989.
- KINSELLA, J. E. Stearyl CoA as a precursor of oleic acid and glycerolipids in mammary microsomes from lactating bovine: possible regulatory step in milk triglyceride synthesis. *Lipids*, Washington, 7, p.349-355. 1972.
- KNIGHT, C.H., FRANCE, J., BEEVER, D.E. Nutrient metabolism in the mammary gland. *Livestock. Production Science*, Amsterdam, v.39, p.129-137. 1994.
- KRAMER, J. K. G. *et al.* Rumenic acid: a proposed common name for the major conjugated linoleic acid isomer found in natural products. *Lipids*, Washington, v.33, p.835-840. 1998.
- LEAF, A., KANG, J.X. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease. *World Review. Nutrition Diet*, Basel, v.83, p.24-37. 1998.
- LEAT, W. M. F. *et al.* Fatty acid composition of deposit fats from genotibiotic lambs. *Journal Agriculture Science*, London, v.88, p.175-179. 1977.
- LIN, H. *et al.* Survey of the conjugated linoleic acid contents of dairy products. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.78, p.2358-2365. 1995.
- LINZELL, J.L. The magnitude and mechanisms of the uptake of milk precursors by mammary gland. *Production Nutrition Society*, London, v.27, p.44-52. 1968.
- LOOR, J. J., HERBEIN, J. H. Exogenous conjugated linoleic acid isomers reduce bovine milk fat concentration and yield by inhibiting *de novo* fatty acid synthesis. *Journal Nutrition, Bethesda*, v.128, n.3, p.2411-2419. 1998.
- MCGUIRE, M. A., MCGUIRE, M. K. Conjugated linoleic acid (CLA): a ruminant fatty acid with beneficial effects on human health. *Journal Animal Science*, Savoy, v.77, p.1160-1168. 1999.
- MCGUIRE, M. A. *et al.* Effect of dietary lipod concentration on content of conjugated linoleic acid (CLA) in milk from dairy cattle. *Journal Animal Science*, Savoy, v.74(Suppl. 1), p.266 (Abstr.). 1996.
- MILNER, J. A. Functional foods and health promotion. *Journal Nutrition, Bethesda*, v.129, n.4, p.1395-1397. 1999.
- MIR, Z. *et al.* Effect of feeding canola oil on constituents, conjugated linoleic acid (CLA) and long chain fatty in goats milk. *Small Ruminant Research*, Amsterdam, v.33, n.2, p.137-143. 1999.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. N.R.C. Designing foods, animal product Options in the Marketplace. National Academy Press. 1988.
- OSTROWSKA, E. *et al.* Dietary conjugated linoleic acids increase lean tissue and decrease fat deposition in growing pigs. *Journal Nutrition, Bethesda*, v.129, p.2037-2042. 1999.
- PALMIQUIST, D.L., BEAULIEU, A.D., BARBANO, D.M. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.76, p.1753-1771. 1993.
- PARODI, P. W. Conjugated octadecadienoic acids of milk fat. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.60, p.1550-1553. 1977.
- PARODI, P. W. Cows milk fat components as potential anticarcinogenic agents. *Journal Nutrition, Bethesda*, v.127, n.2, p.1055-1060. 1997.
- POLLARD, M. R. *et al.* Desaturation of positional and geometric isomers of monoenoic fatty acids by microsomal preparations from rat liver. *Lipids*, Washington, v.15, p.306-314. 1980.
- REIL, R. R. Physico-chemical characteristics of Canadian milk fat unsaturated fatty acids. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.46, p.102-106. 1963.
- SAUER, F. D. *et al.* Methane output and lactation response in Holstein cattle with monensin or unsaturated fat added to the diet. *Journal Animal Science*, Savoy, v.76, p.906-914. 1998.
- SEHAT, N. Improved separation of conjugated fatty acid methyl esters by silver ion-high-performance liquid chromatography. *Lipids*, Washington, v.34, p.407-413. 1999.
- SELNER, D. R., SCHULTZ, L. H. Effects of feeding oleic acid or hydrogenated vegetable oils to lactating cows. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.63, p.1235-1241. 1980.
- SIMOPOULOS, A. P., LEAF, A., SALEM, N. Essentiality and recommended dietary intakes for omega-6 and omega-3 fatty acids. *Annuario. Nutrition Metabolism, Bethesda*, v.43, p.127-130. 1999.
- SINGH, S., HAWKE, J. C. The *in vitro* lipolysis and biohydrogenation of monogalactosyldiglycerides by whole rumen contents and its fractions. *Journal Science Food Agriculture*, Oxford, v.30, p.603-612. 1979.
- SOLOMON, R. The effect of nonstructural carbohydrate and addition of full fat extruded soybeans on the concentration of conjugated linoleic acid in the milk fat of dairy cows. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.83, n.6, p.1322-1329. 2000.
- SPECTOR, A. Essentiality of fatty acids. *Lipids*, Washington, v.34, p.S1- S3. 1999.
- STANTON, C. Dietary influences on bovine milk *cis*-9, *trans*-11-conjugated linoleic acid content. *Journal Food Science*, Chicago, v.62, p.1083-1086. 1997.
- SUTTON, J.D. Altering milk composition by feeding. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.72, p.2801-2814. 1989.
- ULBERTH, F., HENNINGER, M. Quantitation of *trans* fatty acids in milk fat using spectroscopic and chromatographic methods. *Journal Dairy Science*, Champaign, v.61, p.517-527. 1994.
- UALBERTA, 2000. <http://www.afins.ualberta.ca/dairy/dp472-5n.htm> > Acesso em 6 Mar. 2000.
- VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994. 476p.
- VALENZUELA, A.B. *LCPUFA omega-3 en la salud y nutricion humana*. INTA, Universidad de CHILE. 2000a. 14p.
- YURAWECZ, M.P. *et al.* A new conjugated linoleic acid isomer, 7 *trans*, 9 *cis*-octadecadienoic acid, in cow milk, cheese, beef in human milk and adipose tissue. *Lipid*, v.33, p.803-809. 1998.

Recebido para publicação em 24/02/01.
 Received for publication on 24 February 2001.
 Recibido para publicación en 24/02/01.
 Aceito para publicação em 01/10/01.
 Accepted for publication on 01 October 2001.
 Acepto para publicación en 01/10/01.