

DIGESTÃO DE LIPÍDEOS EM RUMINANTES¹

Introdução

O estudo da digestão dos lipídeos em ruminantes vem merecendo cada vez mais atenção em função de que a dieta dos ruminantes, que antes era apenas baseada em pastagens, agora recebe suplementos variados, afim de que possam atingir alta performance produtiva. É o caso, por exemplo, dos bovinos leiteiros que a cada geração estão mais produtivos e consequentemente mais exigentes em nutrição. No caso dos lipídeos em uma dieta com uso exclusivo de forragens, teremos um percentual baixo na ordem de 1 a 4% na sua dieta (Van Soest 1994). Quando passamos a usar concentrados a base de grãos nas dietas, esse valor passa para 5 a 6% e nesse caso os lipídeos passam a desempenhar um papel energético importante para o animal. Em algumas situações especiais há o uso de gorduras na alimentação de bovinos com o objetivo de incremento energético sem a necessidade de aumentar os carboidratos fermentáveis no rúmen. Os carboidratos fermentáveis no rúmen consistem da principal fonte de energia na dieta. A energia desses carboidratos é liberada pelo processo de fermentação no rúmen produzindo calor. O calor liberado aumenta a temperatura corporal levando o animal a ficar sujeito a estresse calórico. Os lipídeos, ao contrário dos carboidratos, não são fermentados no rúmen e, portanto, não produzem calor. Dessa forma podem ser adicionados à dieta como estratégia na redução do estresse térmico, principalmente no verão. Com isso se evitam problemas de acidose ruminal e balanço energético negativo principalmente no pós-parto e em casos de calor muito intenso. Mesmo com o baixo teor de gordura que os vegetais apresentam em uma dieta exclusiva a pasto, os ruminantes são capazes de suprir sua demanda por ácidos graxos essenciais. No caso dos ruminantes os dois ácidos graxos que não são sintetizados no organismo e que precisam estar nos alimentos são: 18:2 n-6 (ácido linoleico) e 18:3 n-3 (ácido linolênico).

¹ Seminário apresentado pelo aluno ELIO RAVAZI DE OLIVEIRA na disciplina BIOQUIMICA DO TECIDOANIMAL, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no primeiro semestre de 2011. Professor responsável pela disciplina: Félix H. D.González

Lipídeos nos vegetais (pastos)

Na natureza os lipídeos se encontram localizados principalmente nas folhas e nas sementes dos vegetais. O tipo varia, sendo fosfolipídeos e galactolipídeos encontrados nas folhas das plantas e triglicerídeos localizados como substância de reserva nas sementes. Além desses ainda encontramos nas plantas: ceras, carotenóides, clorofila, óleos essenciais, e outras substâncias solúveis.

O tipo de ácido graxo também varia: grande parte dos lipídeos dos vegetais são altamente insaturados, sendo que em cereais e na maioria das sementes oleaginosas há predominância de ácido linoleico (18:2 n-6), enquanto que nas folhas o ácido graxo mais comum é o linolênico (18:3 n-6). Algumas exceções importantes incluem o óleo de palma (alto teor de 16:0), óleo de canola (alto teor de 18:1 n-9) e o óleo de linhaça (alto teor de 18:3 n-3). A tabela 1 mostra os principais componentes graxos das folhas das forragens.

Tabela 1. Teor e composição do extrato etéreo em folhas de forragens.

Componente	% na MS	% do extrato etéreo
Extrato etéreo	5,3	100
Ácidos graxos	2,3	43
Outros compostos		
Galactose	0,41	8
Glicerol	0,46	9
Cera	0,9	17
Clorofila	0,23	4
Outros insaponificáveis	1,0	19

Adaptado de Palmquist e Jenkins (1980)

Digestão de lipídeos no rúmen

Liberção das gorduras

Os lipídeos quando entram no rúmen fazendo parte dos constituintes vegetais terão sua liberação conforme vai ocorrendo o processo fermentativo dos demais componentes como carboidratos, proteínas e fibra. Como não sofrem processo de fermentação, poderá em algumas situações passarem sem grandes alterações pelo rúmen, mas grande parte destes sofrerá ação por parte das bactérias ruminais num processo chamado de hidrólise e outro

denominando biohidrogenação. Esses eventos ocorrem em sequência sendo primeiro a hidrólise e posteriormente a biohidrogenação.

Hidrólise (lipólise) das gorduras da dieta

Os lipídeos que são liberados no rúmen a partir dos alimentos, estão na forma esterificados (ligações éster) tais como: triglicerídeos das sementes, fosfolipídeos e galactolipídeos das folhas vegetais. A partir dessa exposição ao meio eles são rapidamente hidrolisados por ação das enzimas lipases bacterianas e com pouca contribuição por parte dos protozoários do rúmen, fungos ou saliva e lipases das plantas. A hidrólise dos lipídeos é extracelular, e o glicerol e os açúcares que são liberados são rapidamente fermentados a ácidos graxos voláteis (AGV). Embora a extensão da hidrólise seja geralmente alta (>85%), um número de fatores que afetam a taxa e a extensão desse processo tem sido identificado. Como exemplo tem que a extensão da hidrólise é reduzida quando o nível dietético da gordura é aumentado, ou quando outros fatores como baixo pH ruminal e o uso de ionóforos inibem a atividade e o crescimento bacteriano. Portanto, a partir da liberação do glicerol estarão no líquido ruminal ácidos graxos de cadeia longatais como os ácidos graxos oléico, linoléico e linolênico (Figura 1).

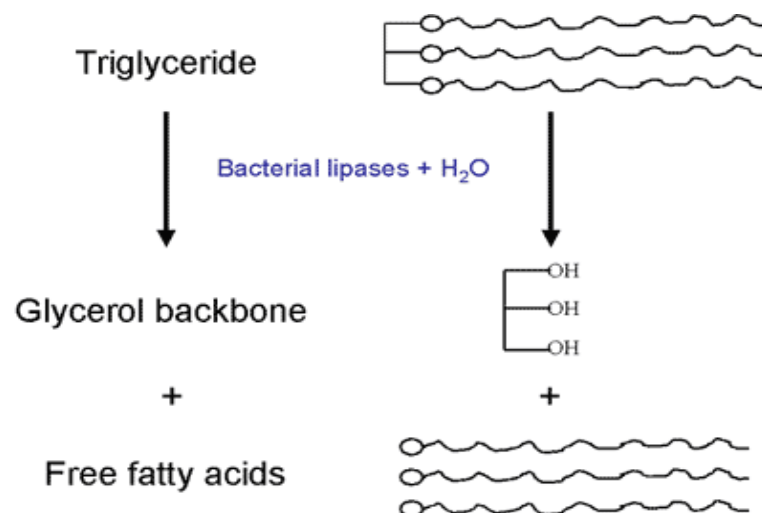


Figura 1. Hidrólise de triglicerídeos no rúmen.

Biohidrogenação de ácidos graxos insaturados

Os ácidos graxos devem estar na forma não esterificada ou livres para que ocorra a biohidrogenação. Esta transformação consiste em saturar os ácidos graxos com ligações duplas (insaturados) colocando hidrogênio na cadeia carbônica ficando apenas com ligações simples. Certos ácidos graxos, especialmente os poliinsaturados, são tóxicos para as bactérias ruminais. As mais susceptíveis são as bactérias Gram positivas, metanogênicas e protozoários. A toxicidade está relacionada à natureza anfipática dos ácidos graxos, ou seja, aqueles que são solúveis, tanto em solventes orgânicos como em água, são mais tóxicos. Portanto, como um mecanismo de defesa, a biohidrogenação torna-se um evento muito importante no rúmen (Figura 2).

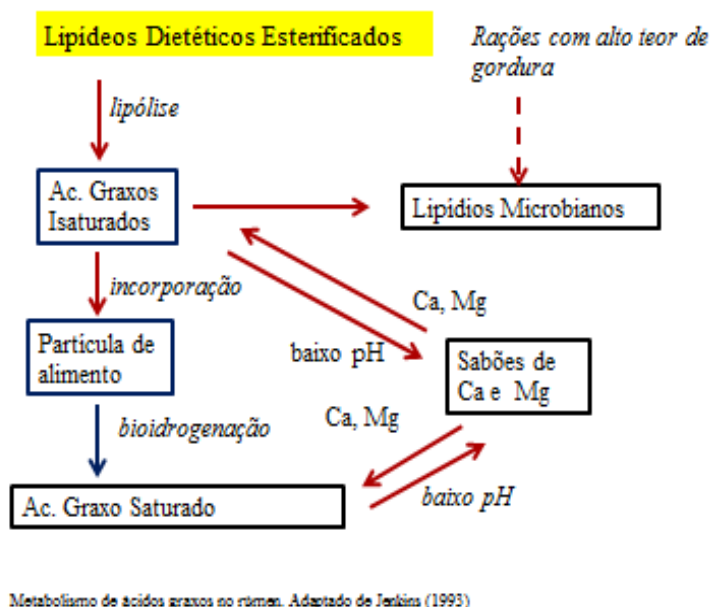


Figura 2. Biohidrogenação dos ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs).

Portanto, o extensivo metabolismo dos ácidos graxos insaturados no rúmen resulta como principal produto o ácido esteárico que passará ao abomaso e ao intestino o será absorvido. O normal processo da biohidrogenação dos ácidos oléico, linoleico e linolênico formará ácido esteárico, mas em algumas ocasiões ocorrem alterações nessa rota e o produto final poderá ser alguns ácidos graxos *trans* como consequência da incompleta biohidrogenação daqueles ácidos graxos (Figura 3).

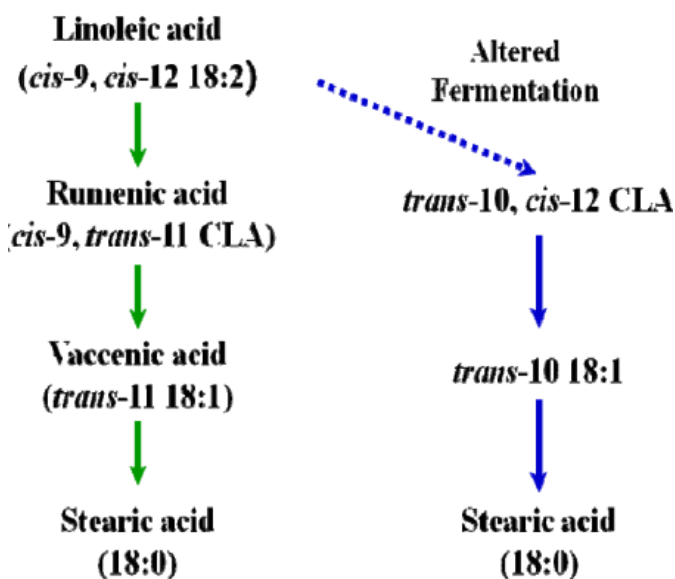


Figura 3. Alterações na biohidrogenação do ácido linoleico (Baumann e Lock, 2006).

Digestão intestinal dos lipídeos

Os lipídeos que deixam o rúmen são predominantemente ácidos graxos livres (80-90%), fosfolipídeos (10-15%) como parte das membranas celulares das bactérias e uma pequena parte de triglicerídeos e glicolipídeos no resíduo dos alimentos não completamente fermentados. No rúmen, a maioria dos ácidos graxos livres estarão na forma de sabões de cálcio, sódio ou potássio devido ao pH ruminal que se encontra próximo da neutralidade (6,0–6,8). Após passar pelo abomaso onde a acidez local é alta (pH próximo de 2,0) ocorrerá a dissociação desses sabões e os ácidos graxos voltam a forma livre agora aderidos às partículas dos alimentos. A porção livre está na forma saturada sendo que dois terços serão formados por ácido esteárico e um terço de ácido palmítico. Antes que a absorção dos ácidos graxos ocorra é necessário, mesmo estando aderidos às partículas das forragens, sejam solubilizados no meio aquoso do intestino. Animais não ruminantes têm maiores

dificuldades na digestão de gorduras com alto ponto de fusão, insolúveis, mas os ruminantes desenvolveram processos eficientes na digestão de ácidos graxos saturados tão bem quanto de insaturados e com muito maior eficiência que os não ruminantes. A chave para a absorção dos lipídeos em ambos ruminantes e não ruminantes é a formação no intestino das micelas a partir da ação dos sais biliares sobre as gotículas de gordura. Em não ruminantes monoglicerídeos que resultam da digestão dos triglicerídeos já no intestino são necessários para a absorção das gorduras. Nesse caso, os sais biliares e os monoglicerídeos têm em sua estrutura molecular partes que podem interagir com os líquidos do meio e parte que interagem com os lipídeos fazendo assim uma interface entre gordura e água. Em não ruminantes a ausência de monoglicerídeos torna difícil a absorção dos lipídeos. Em ruminantes, entretanto, um composto chamado lisolecitina desempenhará o papel dos monoglicerídeos. Nesses animais ambos, bile e secreções pancreáticas, são necessários para o processo de digestão de lipídeos e são liberados no duodeno. Juntos com os sais biliares, o fígado secreta um composto chamado de lecitina que em contato com as enzimas liberadas pelo pâncreas (fosfolipase A) ocorre a conversão para lisolecitina o qual é um potente emulsificador particularmente de ácidos graxos saturados. Outro fator importante é a composição da bile dos ruminantes, sendo caracterizada por um excesso de ácido taurocólico. Na maioria dos herbívoros, o ácido glicocólico é predominante, mas em ruminantes adulto o ácido taurocólico excede o glicocólico numa proporção de 3:1. Isso se torna importante porque o pH no duodeno ainda é ácido (pH 3 a 5) devido a baixa secreção de bicarbonato pelo pâncreas dos bovinos, bem diferente dos monogástricos que está mais neutro (pH 6 a 7).

Absorção de lipídeos

Geralmente o coeficiente de absorção para ácidos graxos individuais varia entre 80% (para ácidos graxos saturados) até 92% (para ácidos graxos poli-insaturados) em dietas convencionais com baixo teor de gordura (2 a 3% na matéria seca). A particularidade dessa alta eficiência dos ruminantes em absorverem ácidos graxos saturados pode ser explicada por dois fatores: 1) a maior capacidade dos sais biliares e da lecitina em solubilizar as gorduras para formar micelas, e 2) as condições ácidas (pH 3 a 6) do conteúdo duodenal. Esse baixo pH se deve à baixa concentração de bicarbonato pancreático, os quais limitam grandemente a formação de sabões de cálcio que tornam os ácidos graxos saturados insolúveis. Após os lipídeos serem absorvidos em sua forma livre, serão esterificados novamente para triglicerídeos e fosfolipídeos no interior dos enterócitos. Como se tornam novamente insolúveis necessitarão de um transportador (lipoproteínas). As lipoproteínas que

participam no transporte de lipídeos são: quilomicrons, VLDL (lipoproteína de muito baixa densidade), LDL (lipoproteína de baixa densidade) e HDL (lipoproteína de alta densidade).

Efeito biológico de alguns ácidos *trans*

Depressão da gordura do leite

Um fenômeno relativamente comum na produção leiteira é a síndrome do baixo teor de gordura do leite. Várias teorias ao longo do tempo foram criadas para explicar essa situação e aos poucos os estudos foram revelando suas principais causas. Essa síndrome está associada com fornecimento de rações com baixo teor de fibra, alto teor de amido, mas também poderá estar relacionada à ingestão de grandes quantidades de gordura insaturada.

Com o interesse cada vez maior na pesquisa do ácido linoléico conjugado (CLA) de origem ruminal foi que se descobriu a associação entre ácidos graxos *trans* e a depressão na gordura do leite. Hoje, cada vez mais é consenso que o isômero CLA *trans*-10 *cis*-12 é poderoso inibidor da síntese de gordura do leite. Em certos tipos de dietas o ambiente ruminal é alterado e uma parte da biohidrogenação ocorre de maneira que são produzidos CLA *trans*-10, *cis*-12. *Bifidobacterium*, *Propionibacterium*, *Streptococcus* e *Lactobacillus* têm sido apontados como produtores de CLA *trans*-10 *cis*-12. Tais bactérias estão em maior número no rúmen em dietas ricas em concentrado (Jenkins et al., 2008), tornando consistente a maior produção desse isômero nesses tipos de dietas (Figura 4).

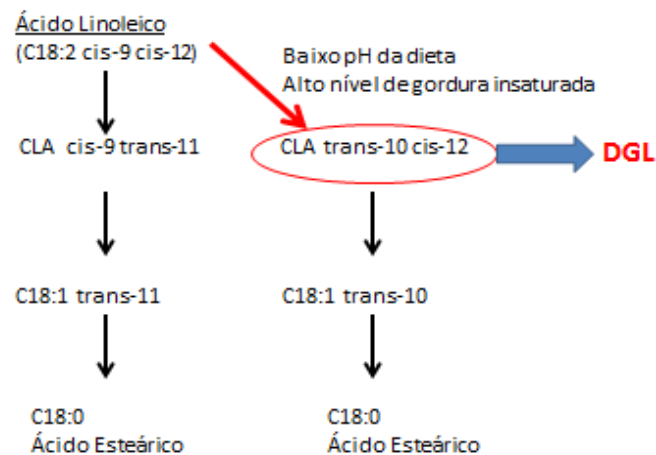


Figura 4. Representação da biohidrogenação ruminal do ácido linoléico e formação do CLA trans-10 cis-12 no rúmen.

Muitos isômeros de ácidos graxos trans são formados no rúmen e encontrados na gordura do leite. Provavelmente, mais de um tipo de isômero pode ser responsável pela depressão da síntese dessa gordura. A diminuição da síntese de ácidos graxos na glândula mamária aumenta a disponibilidade de acetato e glicose no tecido adiposo, explicando, portanto, o aumento de gordura naquele tecido durante a depressão de gordura do leite.

Conclusão

A digestão dos lipídeos em ruminantes é um assunto amplo e à medida que as pesquisas avançam mais entendemos dos mecanismos fisiológicos e com isso podemos interferir em benefício da produção. A depressão na gordura do leite é um exemplo de como a alta produção aliados a alguns erros dietéticos ou até mesmo de manejo de rebanhos podem criar problemas a partir de alterações na fisiologia animal. Com certeza mais detalhes vão sendo descobertos e com isso poderemos ganhar mais produtividade sem submeter os animais a condições fisiológicas menos estressantes.

Referências bibliográficas

- BAUCHART, D. Lipid Absorption and Transport in Ruminants. **J. Dairy Science**, 1993, v. 76, p. 3864-3881, 1993.
- BAUMAN, D. E., A. L. LOCK. Concepts in lipid digestion and metabolism in dairy cows. **Proc.Tri-State Dairy Nutr. Conf.** pp. 1-14, 2006. Disponível em: <<http://tristatedairy.osu.edu>>. Acesso em: 02/07/2011.
- BERCHIELLI, T.T., PIRES, A.V., OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2006. 583p.
- DOREAU, M., FERLAY, A. Digestion and utilization of fatty-acids by ruminants. **Anim. Feed Sci. Technology**, v. 45, p.379-396, 1994.
- GONZÁLEZ, F.D., SILVA, S.C. **Introdução à bioquímica clínica veterinária**. 2.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2006. 364p.
- JENKINS, T.C. Board-invited review: Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. **J. Animal Science**, v.86 p.397-412, 2008.
- JENKINS, T.C. Lipid metabolism in the rumen. **J. Dairy Science**, v. 76, p.3851-3863, 1993.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.