

INFLUÊNCIA DAS FONTES DE GORDURA DA DIETA NA CONCENTRAÇÃO DE GORDURA NO LEITE

DEPRESSÃO DOS NÍVEIS DE GORDURA NO LEITE DE VACAS LEITEIRAS – EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO DE GORDURAS

Charles R. Staples¹

Department of Animal Sciences

University of Florida

¹Contact at P.O. Box 110910, Gainesville, FL 32611, (352) 392-1958, FAX (352) 392-1931, Email: staples@animal.ufl.edu

INTRODUÇÃO

A suplementação da dieta de vacas leiteiras com gordura pode ter inúmeros efeitos benéficos. Geralmente eleva a densidade energética da dieta quando amido ou fibras são substituídos por ácidos graxos. Caso ocorra aumento da produção de leite, a eficiência alimentar pode melhorar com as gorduras, o que geralmente se traduz em maior rentabilidade. Além disso, há menor produção de calor no rúmen durante a digestão de dietas suplementadas com gorduras, uma vez que os ácidos graxos não são sofrem digestão ruminal. A menor produção de calor durante a digestão ajuda as vacas em épocas de estresse térmico. Além disso, a palatabilidade da dieta pode melhorar e pode haver menor separação das partículas se for adicionada uma gordura líquida à TMR. Assim, a inclusão de gorduras pode ser uma boa opção para os formuladores de ração.

A suplementação da dieta com gorduras também pode alterar a concentração da gordura no leite, sua produção diária e sua composição de ácidos graxos. Além do metabolismo das gorduras e fermentação microbiana da dieta no rúmen, ocorrem também síntese e incorporação de gorduras pela glândula mamária, o que dificulta a previsão dos efeitos de intervenções de suplementação de gorduras. Algumas fontes de gorduras serão discutidas quanto a seus efeitos sobre a gordura no leite, o possível mecanismo destes efeitos e o que se pode fazer em termos de formulação da dieta para ajudar a controlar estes efeitos.

FONTES E DESCRIÇÃO DAS GORDURAS

Existem inúmeras fontes de gorduras que podem ser fornecidas a vacas leiteiras, tais como sementes de oleaginosas (grãos integrais, triturados, tostados, extrusados), gorduras de graxaria como sebo e óleo reciclado de cozinha, óleos vegetais, misturas de óleos vegetais e animais, óleos de peixes e gorduras modificadas com proteção contra a ação dos micróbios ruminais como sabões de cálcio de ácidos graxos e gorduras granuladas. Devido a limitações de tempo e espaço, discutiremos em detalhes apenas as fontes mais comumente utilizadas de gorduras. A Tabela 1 traz a descrição da composição de ácidos graxos de diferentes fontes de gorduras. Cada ácido graxo pode ser facilmente descrito enumerando-se o número de carbonos contidos na cadeia que compõe a molécula e quantas duplas ligações existem. O ácido palmítico é uma molécula de 16 carbonos de comprimento e não tem nenhuma dupla ligação, sendo descrito como C16:0. As cadeias de carbono que não apresentam duplas ligações são classificadas como ácidos graxos saturados, enquanto aquelas contendo uma ou mais duplas ligações são classificadas como ácidos graxos insaturados. Assim, as fontes de gordura como grãos de oleaginosas são consideradas altamente insaturadas, enquanto o sebo é considerado moderadamente insaturado. Isto é importante, pois o grau de insaturação influencia o metabolismo microbiano no rúmen e, conseqüentemente, a gordura do leite.

Tabela 1. Principais ácidos graxos contidos em algumas fontes de gordura (parcialmente adaptado de Kennelly, 1996).

Ácido graxo	C16:0 Palmítico	C18:0 Esteárico	C18:1 Oleico	C18:2 Linoleico	C18:3 Linolênico
Sebo	26	19	40	5	1
Gordura amarela	21	11	44	14	3
Graxa branca ¹	24	11	48	12	1
Booster Fat ²	25	22	45	2	-
Megalac; EnerG-II ²	51	4	35	8	-
Óleo de canola	4	2	52	25	13
Óleo de algodão	25	3	17	54	-
Óleo de linhaça	5	3	20	16	55
Óleo de cártamo	7	2	9	80	<1
Óleo de soja	8	3	24	58	8
Óleo de girassol	6	4	20	66	<1
Óleo de peixe (Menhaden) ³	17	3	7	1	1

¹ Onetti et al., 2001.² Fontes comerciais de gordura, parcialmente inertes no rúmen (Church e Dwight Co.; Virtus Nutrition).³ Também contém ~10% C16:1, ~11% C20:5, e 12% C22:6.

DESTINO DOS ÁCIDOS GRAXOS NO RÚMEN

Os micróbios ruminais convertem as gorduras insaturadas em gorduras saturadas em uma sequência de eventos denominada biohidrogenação. Alguns cientistas especularam que a biohidrogenação pelas bactérias é uma tentativa de autoproteção, uma vez que as gorduras insaturadas podem ser tóxicas às bactérias, principalmente para as celulolíticas. Se o fornecimento de gorduras insaturadas reduz o número ou a atividade de bactérias celulolíticas no rúmen, o consumo de alimento pode cair, assim como a produção de leite e concentração de gordura no leite. Durante o processo de biohidrogenação de gorduras insaturadas no rúmen, a conversão ao estado saturado pode ser incompleta e resultar na síntese de diversas formas (isômeros) de ácidos graxos, inclusive ácidos graxos trans (Figura 1). Alguns dos ácidos graxos trans tais como o ácido linoleico conjugado trans-10, cis-12 (CLA) e o trans-10 C18:1 podem ter um importante impacto sobre a gordura do leite. Quando deixam o rúmen, são absorvidos, caem na circulação e são captados pela glândula mamária. Estes ácidos graxos trans podem ser formados por diversas bactérias no rúmen durante a biohidrogenação de ácidos graxos insaturados (Bauman et al., 2000) e serão discutidos posteriormente em mais detalhes.

AS GORDURAS DA DIETA SÃO USADAS PARA A GORDURA DO LEITE

O leite é composto de ácidos graxos de comprimentos variáveis de cadeia de carbonos. Os ácidos graxos de 14 a 16 carbonos de comprimento encontrados no leite são produzidos pela glândula mamária a partir de acetato e butirato, ácidos graxos de 2 e 4 carbonos de comprimento, respectivamente, produzidos por micróbios no rúmen. Estes ácidos graxos compõem até 50% da gordura do leite. Os demais 50% da gordura secretada no leite vem diretamente da gordura absorvida a partir da circulação. Estes ácidos graxos são geralmente formados por cadeias de 16 a 18 carbonos de comprimento. Todos os ácidos graxos de 18 carbonos e 30% dos de 16 carbonos vem da dieta (Akers, 2002). Esta gordura também pode vir dos micróbios ruminais digeridos no intestino delgado e das reservas corporais de gordura que são mobilizadas principalmente

durante épocas de balanço energético negativo. Como a gordura passa para a circulação sanguínea durante o metabolismo digestivo e mobilização de gorduras corporais, a glândula mamária as transfere para a gordura do leite. Sabe-se que quanto mais gordura for consumida na dieta, maior a proporção da gordura do leite composta de ácidos graxos de 18 carbonos e, portanto, menor a proporção de ácidos graxos de cadeias mais curtas. Por exemplo, quando vacas foram alimentadas com soja, caroço de algodão e canola, a proporção de ácidos graxos no leite de menos de 14 carbonos, de 14 carbonos e de 16 carbonos foi reduzida em média em 25, 29 e 20%, respectivamente, enquanto o teor médio de ácidos graxos de 18 carbonos foi elevado em 45% para C18:0, 40% para C18:1, 59% para C18:2 e 11% para C18:3 (Ashes et al., 1997). A redução na síntese dos ácidos graxos de cadeias mais curtas pode ser decorrente da redução na atividade das principais enzimas responsáveis pela síntese da gordura do leite. Assim, mais gorduras da dieta foram incorporadas diretamente à gordura do leite e menos ácidos graxos foram sintetizados pela glândula mamária quando as vacas foram alimentadas com oleaginosas.

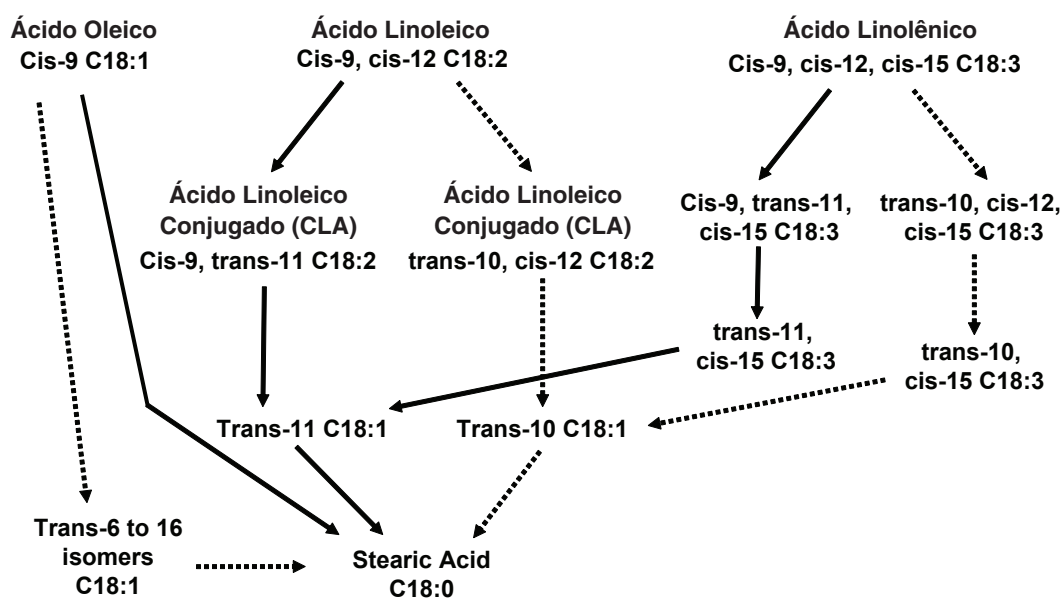


Figura 1. Diagrama proposto que explica a isomerização e bio-hidrogenação de ácidos graxos insaturados por micróbios intestinais anaeróbios. (Adaptado de Harfoot e Hazelwood, 1997; Bauman e Grinari, 2003; Mosley et al, 2002). As linhas sólidas e pontilhadas representam a via principal e secundária, respectivamente. Todos os compostos podem deixar o rúmen no bolo alimentar. Além disso, os trans monoenoos podem ser isomerizados e formar outros isômeros trans pela ação de isomerases microbianas (Proell et al., 2002). Além disso, Destailats et al. (2205) detectaram mínimos teores de cis-9, trans-13, cis-15 C18:3 e de cis-9, trans-13 C18:2 na gordura do leite, possivelmente produzidos no rúmen.

DEPRESSÃO DA GORDURA DO LEITE E SUPLEMENTAÇÃO DE GORDURA – A TEORIA TRADICIONAL

Por algum tempo, se atribuiu o efeito negativo da suplementação de gorduras sobre o teor de gordura no leite à redução da digestão ruminal de fibra da dieta. Acreditava-se que o revestimento físico da fibra ou das bactérias celulolíticas pelos ácidos graxos reduzia a fermentação, resultando em menor produção de ácido acético no rúmen. Com menor disponibilidade de ácido acético para a glândula mamária, havia redução da síntese da gordura do leite e sua concentração era reduzida. Além disso, as bactérias que digerem a forragem são sensíveis ao pH e seu número é reduzido com o aumento da acidez no rúmen. O efeito negativo da suplementação de gordura seria agravado ainda mais quando as vacas eram alimentadas com dietas com alto teor de grãos. Um fato interessante observado na década de 70 foi a elevação dos isômeros trans de C18:1 no leite após fornecimento de soja, caroço de algodão ou óleo de fígado de bacalhau (Storry, 1988). Somente

recentemente os cientistas estabeleceram a ligação de alguns destes isômeros à depressão dos teores de gordura no leite e nos levaram a repensar o mecanismo responsável por esta depressão desencadeado pela suplementação de gordura. As informações referentes a esta nova teoria envolvendo as fontes de gordura serão discutidas a seguir.

EFEITOS DE FONTES INDIVIDUAIS DE SUPLEMENTAÇÃO DE GORDURA SOBRE O TEOR DE GORDURA NO LEITE

Sebo. Sete estudos avaliaram dietas contendo 0, 2 ou 2,5% de sebo em dietas à base de silagem de milho (38 a 50% da MS da dieta) (Tabela 2). O fornecimento de sebo reduziu significativamente a IMS (ingestão de matéria seca) em 4 de 7 estudos, variando de 0,8 a 1,7 kg/dia. Esta redução do consumo de alimento foi acompanhada por redução da produção de leite em 1,6 kg em um estudo (Onetti et al., 2001). Entretanto, nos demais 3 estudos, a produção de leite aumentou em 2,1 kg/d (Smith et al., 1993), 2,3 kg/d (Onetti et al., 2002) e 2,4 kg/d (Weiss e Wyatt, 2003). Em todos os sete estudos, a % de gordura do leite apresentou depressão significativa, variando entre 0,20% até 0,68%, sendo a média de depressão 0,38%. Em base neste número limitado de estudos, o que se pode esperar com a adição de sebo a dietas à base de silagem de milho em teores de 2 a 2,5% da MS da dieta? Supondo uma resposta semelhante à demonstrada na Tabela 2, a eficiência da produção de leite deve sofrer elevação (de 1,42 a 1,49 kg de leite por kg de ingestão de MS nestes estudos) e a % de gordura no leite será reduzida em 0,4 pontos percentuais (de 3,35 para 2,97%).

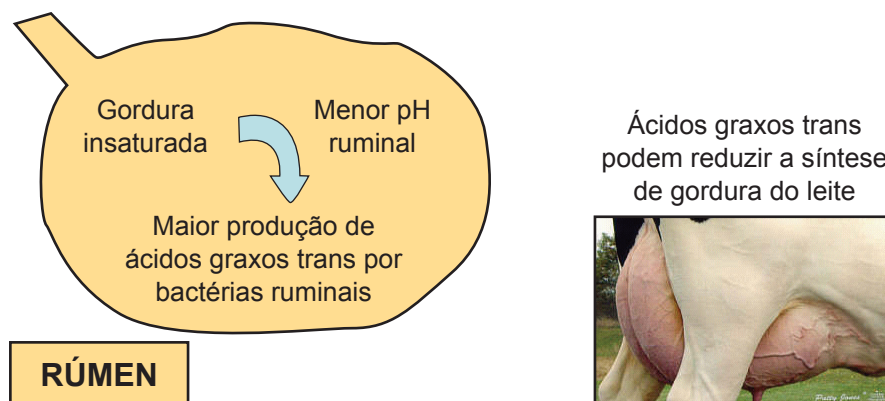


Figura 2. Vacas alimentadas com dietas com alto teor de silagem de milho são mais suscetíveis à depressão do teor de gordura do leite decorrente da suplementação de gordura.

Esta influência negativa do sebo sobre a concentração de gordura no leite pode ser eliminada se parte ou toda a silagem de milho for substituída por outra forragem como feno de alfafa. Quando Smith et al. (1993) substituíram 25% da silagem de milho por feno de alfafa, não houve mais depressão da % da gordura no leite com a suplementação de sebo. A % de gordura no leite foi de 3,42 vs. 3,47% em vacas alimentadas com dietas contendo 0 ou 2,5% de sebo, respectivamente, quando as dietas foram formuladas com 37,5% de silagem de milho e 12,5% de feno de alfafa. Quando o feno de alfafa substituiu uma parcela ainda maior da silagem de milho (25% de silagem de milho e 25% de feno de alfafa), houve tendência de elevação da % de gordura no leite com a suplementação de sebo (3,35 vs. 3,70% para vacas recebendo 0 e 2,5% de sebo na dieta, respectivamente). Em um estudo conduzido no Wisconsin, a substituição de 25% ou 50% da silagem de milho por silagem de alfafa não alterou a % de gordura no leite quando o sebo foi incluído nas dietas (Onetti et al., 2002). Entretanto, um estudo posterior no Wisconsin documentou que o efeito de depressão da gordura no leite causado pela suplementação de sebo com dietas à base de silagem de milho foi atenuado

quando 50% da silagem de milho foi substituída por feno de alfafa finamente picado ou por silagem de alfafa (Onetti et al., 2004). Entretanto, o fornecimento de feno longo de alfafa não se mostrou tão eficaz, uma vez que as vacas recusaram a forragem mais longa. Outras forragens tais como feno de capim bermuda e casca de algodão também reverteram o efeito de depressão da gordura pelo sebo quando substituíram parcialmente a silagem de milho (Adams et al., 1995). O fornecimento de sebo a 2,5% da dieta reduziu a % de gordura no leite de 3,65 para 3,35% quando só se forneceu silagem de milho como forragem. A substituição de 25% da silagem de milho por feno de capim bermuda manteve ou melhorou a % de gordura no leite de 3,37 para 3,47% quando as vacas foram suplementadas com sebo. Da mesma forma, a suplementação de dietas à base de silagem de milho com sebo e adição de casca de algodão não reduziu a % de gordura no leite (3,53 vs. 3,60% para vacas alimentadas com dietas contendo 0 ou 2,5% de sebo, respectivamente).

Tabela 2. Efeito da suplementação de sebo sobre o desempenho de vacas leiteiras em lactação alimentadas com dietas contendo 38 a 50% de silagem de milho (em base de MS).

Referência	% de sebo na dieta	Consumo de MS, kg/dia	Leite, kg/dia	Gordura do leite, %
Smith et al., 1993	0	25,4	23,1	3,33
	2,5	26,2	25,0*	3,13*
Adams et al., 1995	0	21,8	26,7	3,65
	2,5	21,4	26,5	3,35*
Onetti et al., 2001	0	26,3	42,3	3,30
	2	24,8*	40,7*	2,83*
Onetti et al., 2002	0	23,1	35,2	3,11
	2	22,3*	37,5*	2,82*
Ruppert et al., 2003	0	22,6	32,3	3,18
	2	21,4*	33,2	2,89*
Weiss e Wyatt, 2003	0	22,3	35,1	3,76
	2,35	21,9	37,5*	3,08*
Onetti et al., 2004	0	27,6	44,9	3,12
	2	25,9*	44,3	2,68*

* $P \leq 0,05$ (estimado caso a referência não relata comparação exata).

Um estudo da Universidade de Illinois (Ruppert et al., 2003) também indica que a substituição parcial da forragem de silagem de milho por silagem de alfafa pode atenuar o efeito de depressão do sebo sobre a % de gordura no leite (Tabela 3). Com o aumento do teor de sebo na dieta à base de silagem de milho de 0 para 2 e 4% (% da MS da dieta), a % de gordura no leite tendeu a cair de 3,18 para 2,89 e 2,70%, enquanto a % de gordura do leite se manteve inalterada quando o sebo foi incluído em uma dieta à base de silagem de alfafa (interação sebo/forragem, $P = 0,12$). Provavelmente, esta resposta se deve ao que aconteceu no rúmen. As vacas alimentadas com dietas à base de silagem de milho apresentam um fluido ruminal mais ácido (pH médio de 5,92 vs. 6,04), provavelmente devido à maior ingestão de amido. Como demonstra a Tabela 3, a concentração de ácidos graxos trans C18:1 na gordura do leite tendeu a aumentar mais quando se incluiu sebo nas dietas à base de silagem de milho que em dietas à base de silagem de alfafa ($P = 0,11$). Desta forma, a introdução de ácidos graxos insaturados (predominantemente cis-9 C18:1 no caso do sebo) em um ambiente mais ácido (resultante de maior teor de silagem de milho) produziu mais ácidos graxos trans C18:1 no leite (Figura 1). Kalscheur et al. (1997) documentaram maiores teores de ácidos graxos trans C18:1 no intestino delgado de vacas alimentadas com dietas de alto teor de grãos e que não sejam adequadamente

tamponadas. Desta forma, vacas alimentadas com dietas que resultem em redução do pH no fluido ruminal podem ser mais suscetíveis a uma biohidrogenação incompleta dos ácidos graxos insaturados da dieta, com maior formação de ácidos graxos trans (Figura 2). O fornecimento de dietas em que silagem de milho é a única fonte de forragem tem possibilidade de resultar em fluido ruminal mais ácido que dietas contendo alfafa, pois: 1) a alfafa tem maior capacidade de tamponamento que a silagem de milho e 2) estimula maior produção de capacidade de tamponamento através da saliva pelo maior tempo de ruminação das partículas mais longas. Será que estes ácidos graxos trans podem afetar a síntese de gordura do leite?

Tabela 3. Efeito da suplementação de sebo sobre parâmetros de desempenho de vacas leiteiras em lactação alimentadas com dietas à base de silagem de milho (SM) ou silagem de alfafa (SA) (Ruppert et al., 2003).

Parâmetro	40% SM : 10% SA			10% SM : 40% AS		
	0% sebo	2% sebo	4% sebo	0% sebo	2% sebo	4% sebo
Gordura do leite, % ^a	3,18	2,89	2,70	3,39	3,44	3,41
pH do rúmen ^b	5,94	5,88	5,93	6,09	6,10	6,03
Trans-C18:1 no leite, % na gordura do leite ^c	1,45	2,95	4,86	1,19	1,89	3,05

^a Interação forragem / sebo, P = 0,12.

^b Forragem da dieta, P < 0,01.

^c Interação forragem / sebo, P = 0,11.

Ácidos graxos trans. Os ácidos graxos trans C18:1 são uma mistura de vários isômeros, ou seja, a única dupla ligação pode estar localizada em diferentes carbonos ao longo da cadeia, entre o 6º e o 16º carbono (Mosley et al., 2002). Dos ácidos graxos trans C18:1, cientistas em New York identificaram os ácido graxo trans-10 C18:1 como sendo o mais associado à depressão na gordura do leite causada por fornecimento de uma gordura insaturada (óleo de milho) em uma dieta com alto teor de grãos se comparada a uma dieta com baixo teor de grãos (Griinari et al., 1998). Onetti et al. (2004) documentaram que o teor do ácido graxo trans-10 C18:1 na gordura do leite era drasticamente elevado quando a % de gordura no leite era deprimida pela adição de sebo a dietas à base de silagem de milho e retornava aos níveis normais quando silagem de alfafa substituída a silagem de milho. Weiss e Wyatt (2003) relataram que vacas alimentadas com sebo apresentavam depressão da gordura do leite e apresentaram elevação de 3 vezes ou mais na concentração do isômero trans-10 C18:1 na gordura do leite.

O principal ácido graxo na maior parte das oleaginosas e grãos, inclusive milho, é o ácido linoleico (C18:2) (Tabela 1). O ácido linoleico pode ser convertido em ácidos graxos trans no rúmen. Assim como existem inúmeros isômeros do trans C18:1, vários isômeros do ácido linoleico podem ser formados no rúmen, denominados ácido linoleico conjugado (CLA). O mais comum é o CLA cis-9, trans-11, mas inclui as formas trans-10, cis-12 de C18:2. Este último ácido graxo pode ser convertido em trans-10 C18:1 por micróbios ruminais (Bauman e Griinari, 2003; Figura 1). À medida que o C18:2 do óleo de milho fornecido às vacas por Griinari et al. (1998) sofria biohidrogenação no rúmen, mais era convertido em trans-10 C18:1 no ambiente ruminal mais ácido decorrente da dieta com alto teor de grãos (pH de ~6,4 vs. ~6,1). O pH é um determinante das populações microbianas no rúmen (Russell, 1979). Os micróbios que se multiplicam sob condições de maior acidez podem possuir enzimas tipo isomerase que convertem o ácido linoleico em CLA trans-10, cis-12. Com presença de níveis elevados de C18:2, os principais ácidos formados como produto final da biohidrogenação são trans-C18:1 e não C18:0 (Polan et al., 1964).

Entretanto, o sebo tem geralmente baixos teores de C18:2 e o cis-C18:1 é o ácido graxo insaturado

dominante (Tabela 1). AbuGhazaleh et al. (2005) demonstraram através de técnicas de cultivo contínuo que o cis-C18:1 era convertido em 10 diferentes isômeros de trans-C18:1 (de trans-6 até trans-16, com exceção de trans-8) e o isômero mais prevalente era o trans-10. Em pH de 5,5, o isômero trans dominante era o trans-10 e detectado em teores mais elevados que em pH 6,5. Um dado interessante observado pelos autores foi que uma porção significativa do isômero trans-10 era formada a partir de outros isômeros trans C18:1. Este trabalho fornece importantes evidências fisiológicas que demonstram grande produção de isômeros trans-10 C18:1 a partir de cis C18:1. Desta forma, uma porção significativa do ácido oleico na forma de sebo incluída em dietas à base de silagem de milho fornecidas às vacas por Onetti et al. (2001, 2004) e Ruppert et al. (2003) provavelmente foi direta ou indiretamente convertida em trans-10 C18:1 no rúmen. O trans-10 C18:1 e o CLA trans-10, cis-12 deixam o rúmen com o bolo alimentar, são absorvidos a partir do intestino delgado e são captados pela glândula mamária, onde são incorporados à gordura do leite. Não existem evidências de que a glândula mamária seja capaz de sintetizar os ácidos graxos trans-10 C18:1 e CLA trans-10, cis-12 (Piperova et al., 2002). Estes ácidos trans, entretanto, podem inibir a síntese de ácidos graxos de cadeia curta e média através da inibição parcial das enzimas responsáveis pela síntese da gordura do leite pela glândula mamária (Bauman e Griinari, 2003), potencialmente contribuindo para a depressão da % de gordura no leite observada com a suplementação de sebo. Estes ácidos graxos trans podem ser a causa da redução dos teores de gordura do leite observadas com a suplementação de dietas à base silagem de milho com sebo. Outros intermediários além do trans-10 C18:1 e CLA trans-10 cis-12 ainda não identificados podem ser responsáveis pela depressão do teor de gordura no leite (Bauman e Griinari, 2003). Ao substituir parte da silagem de milho por alfafa (Onetti et al., 2004 e Smith et al., 1993), o fluido ruminal passa a ficar menos ácido e há menor produção de isômeros trans-10, não afetando a síntese da gordura do leite na glândula mamária.

Além da síntese de ácidos graxos trans pelos micróbios ruminais, algumas fontes de gordura podem conter ácidos graxos trans. Alguns dos óleos vegetais processados podem conter ácidos graxos trans, como o óleo reciclado de cozinha (gordura amarela), que atinge altas temperaturas durante o processo de fritura ou o óleo de soja hidrogenado. Wonsil et al. (1994) suplementaram uma dieta controle para vacas em lactação com óleo de soja hidrogenado, óleo de peixe (menhaden) ou sebo hidrogenado a 3,3% da MS da dieta. O consumo de trans C18:1 foi 0, 69, 0 e 12 g/d para as 4 diferentes dietas, respectivamente e o teor de trans C18:1 no intestino delgado foi 37, 152, 163 e 38 g/d. Isto demonstra que os ácidos graxos trans C18:1 foram sintetizados pelos micróbios no rúmen em todas as situações, mas detectados em teores mais elevados quando já contidos no suplemento (óleo de soja) e com o uso de óleo de peixe (mais será discutido sobre óleo de peixe na próxima parte). A % de gordura no leite foi reduzida nas vacas alimentadas com dietas que resultaram em teores mais elevados de ácidos graxos trans C18:1 disponíveis para absorção; ou seja, 3,26, 2,95, 2,78 e 3,18%, respectivamente. No mercado, existe um sabão comercial de cálcio composto principalmente de trans C18:1 (57%) (EnerG TR; Virtus Nutrition), usado como suplemento de gordura para redução da gordura do leite em mercados baseados em cotas de % de gordura. O fornecimento de CLA na forma de sabão de cálcio (Virtus Nutrition) na quantidade de ~150 g/d pré-parto e ~225 g/d por 7 semanas pós-parto resultou em queda da concentração de gordura no leite de 3,49 para 2,99%, mas somente em tendência de redução na produção de gordura do leite de 1,38 para 1,19 kg/d (Selberg et al., 2004). Como o produto continha ~8% de CLA na forma trans-10, cis-12 C18:2, resultou em consumo de CLA trans-10, cis-12 CLA de ~20 g/d, indicando sua potência para reduzir a gordura do leite.

Óleos de peixe. O fornecimento de óleos produzidos a partir de peixes marinhos deprimiu a gordura do leite de vacas leiteiras em lactação. Com o aumento da ingestão de óleo de peixe de 0 para 75, 150 e 300 g/dia (0%, 0,38%, 0,8% e 1,8% da MS da dieta), a % de gordura no leite foi reduzida de forma linear (3,95, 4,05, 3,31 e 2,88% respectivamente) e o teor dos ácidos graxos trans-10 C18:1 aumentou também linearmente (0,29; 0,46; 1,11 e 4,15% dos ácidos graxos do leite) (Arola et al., 2002). Óleo de peixe contém menos de 9% C18:1 e C18:2 combinados, os ácidos graxos que são os substratos comumente usados pelos micróbios ruminais para produzir trans-10 C18:1 e CLA trans-10, cis-12. Entretanto, AbuGhazaleh e Jenkins (2004)

demonstraram que os ácidos graxos C20:5 e C22:6 no óleo de peixe elevaram os ácidos graxos trans C18:1 e reduziram a bio-hidrogenação de C18:1 e C18:2 *in vitro*. Desta forma, o óleo de peixe pode agir como modificador de bactérias ruminais. Em condições comerciais, a farinha de peixe é algumas vezes fornecida às vacas. Com adição de teores crescentes de farinha de peixe a dietas à base de silagem de milho (0, 2,6, 5,2 e 7,8% da MS da dieta), a concentração de gordura no leite sofreu redução linear (3,5, 3,2, 3,1 e 3,0%, respectivamente) (Spain et al., 1995). Entretanto, no segundo estudo, quando as dietas continham uma mistura de quantidades equivalentes de silagem de milho e silagem de alfafa, a concentração e a produção de gordura no leite foi semelhante (3,8 vs. 3,7% e 1,1 vs. 1,1 kg/d) em vacas alimentadas com dietas contendo 0 ou 3,8% de farinha de peixe (em base de MS). Embora o pH do fluido ruminal não tenha sido medido por Spain et al. (1995), é provável que fosse mais ácido quando se retirava a silagem de alfafa da dieta e pode ter criado um ambiente que resultou em hidrogenação incompleta dos ácidos graxos insaturados no rúmen; ou seja, maior produção de ácidos graxos trans.

Caroço de algodão. É comum fornecer caroço de algodão como fonte de gordura, proteína e fibra a vacas leiteiras. Cerca de 50% dos caroços são processados para extração de óleo e 50% são usados para alimentação animal (National Cottonseed Products Assoc. 1995). Cerca de 70% dos ácidos graxos no caroço de algodão são insaturados. Esta gordura insaturada pode reduzir a % de gordura no leite da mesma forma que o sebo. A % de gordura no leite apresentou depressão numérica pelo fornecimento de caroço de algodão (10 a 15% da MS da dieta) em todos os nove estudos em que a silagem de milho era a principal forragem fornecida, mas apresentou redução significativa em somente dois estudos (Figura 3). A depressão média foi 0,29%. Em um estudo de longo prazo, conduzido desde a parição até 17 semanas pós-parto, vacas Jersey foram alimentadas com dietas à base de silagem de milho contendo 0 ou 12,9% de caroço de algodão. Ao longo do estudo, as vacas suplementadas com caroço de algodão produziram leite com teores significativamente menores de gordura (4,60 vs. 4,88%) (Bertrand et al., 1998). Como no caso do sebo, a % de gordura no leite respondeu de forma diferente ao fornecimento de caroço de algodão quando a silagem de milho foi parcial ou totalmente substituída por feno de alfafa. A % de gordura no leite foi elevada com a adição de caroço de algodão a dietas em que 25% da silagem de milho foram substituídos por feno de alfafa (3,30 vs. 3,55%) ou 50% (3,25 vs. 3,46%), enquanto o caroço de algodão teve pouco efeito sobre a % de gordura no leite quando a silagem de milho era a única forragem (3,33 vs. 3,27%) (Smith et al., 1993). Em outro estudo, a % de gordura no leite foi elevada pela adição de caroço de algodão a dietas quando 25% da silagem de milho foram substituídos por capim bermuda (3,37 vs. 3,60%) ou por casca de caroço de algodão (3,53 vs. 3,73%), enquanto o caroço de algodão teve pouco efeito sobre a % de gordura no leite quando a silagem de milho era a única forragem (3,65 vs. 3,54%) (Adams et al., 1995). Neste último experimento, o feno de alfafa não teve o efeito positivo observado por Smith et al. (1993). Desta forma, a inclusão de uma segunda forragem como feno de alfafa, feno de capim bermuda ou casca de caroço de algodão à dieta de silagem de milho pode ser benéfica quando se usa caroço de algodão na dieta para gerar uma resposta positiva dos teores de gordura do leite. Aplicando as lições aprendidas sobre as interações entre sebo e forragem, uma segunda fonte de volumoso pode ajudar a tamponar o rúmen.

Outras oleaginosas. Em estudos em que as vacas foram alimentadas com a mesma dieta durante todo o período experimental (estudo contínuo), a concentração de gordura no leite se manteve inalterada com a adição de semente de girassol integral ou amassada (7 a 10% da MS da dieta) ou de sementes de cártamo (safflower) amassadas (10% da MS da dieta) a dietas contendo pelo menos 50% da forragem na forma de alfafa (Markus et al., 1996; Stegeman et al., 1992). Também em estudos contínuos, o fornecimento de soja tostada ou triturada (12 a 18% da MS da dieta) não afetou a concentração de gordura no leite de vacas alimentadas com dietas em que pelo menos 25% da forragem era na forma de alfafa (Faldet e Satter, 1991; Pires et al., 1996; Weiss e Wyatt, 2003). O fornecimento de girassol amassado, tipicamente rico em C18:2 (9% da MS da dieta) resultou em queda da concentração de gordura no leite de 3,14 para 2,43%, enquanto o fornecimento de sementes de girassol ricas em C18:1 não afetou a concentração de gordura no leite (2,92%) (Casper et al.,

1988). O teor de ácidos graxos trans na gordura do leite foi mais elevado em vacas alimentadas com sementes de girassol e 75% de silagem de milho. A extrusão das oleaginosas resultou em depressão consistente da concentração da gordura no leite para uma série de fontes. A mistura 50:50 de sementes de linhaça e colza extrusadas (7,6% da MS da dieta) adicionada a dietas à base de silagem de milho reduziu a concentração de gordura no leite de 3,65 para 2,98%, mas este efeito foi revertido quando a dieta foi suplementada com vitamina E ~20 vezes acima da recomendação do NRC (9616 UI/d) (Focant et al., 1998). Entretanto, a volta dos níveis de gordura do leite ao normal pela vitamina E não foi acompanhada pela redução dos níveis de trans C18:1 na gordura do leite, elevados devido ao fornecimento de oleaginosas, sugerindo que a redução da gordura do leite foi causada por outro fator que não a elevação de trans C18:1. Entretanto, os níveis de trans-10 C18:1 não foram relatados. Em estudos de alimentação contínua de vacas, a soja extrusada (17% da MS da dieta) reduziu o teor de gordura do leite em média em 0,41% (3,20 vs. 2,79%), mesmo quando a forragem era de pelos menos 25% de alfafa. Entretanto, a produção diária de gordura não foi alterada devido a aumento na produção de leite (31,1 vs. 34,1 kg/d), resultante do fornecimento da soja extrusada (Kim et al., 1991; Kim et al., 1993). O fornecimento de canola extrusada (8,5% da MS da dieta) resultou em menor concentração da gordura no leite (3,14 vs. 3,86%), enquanto o fornecimento de canola integral ou triturada não afetou os teores de gordura no leite (Bayourthe et al., 2000) quando se usaram dietas à base de silagem de milho. Sementes extrusadas de linhaça (13% da MS da dieta) levaram a redução numérica na % de gordura no leite (3,82 vs. 3,56%) com dietas contendo 35% de silagem de gramínea e 21% de silagem de milho (Gonthier et al., 2005). Houve elevação dos níveis de ácidos graxos trans C18:1 no plasma e na gordura do leite. O processo de extrusão dos grãos de oleaginosas provavelmente resulta em maior disponibilidade de óleo no rúmen se comparado ao fornecimento de grãos integrais ou tostados.

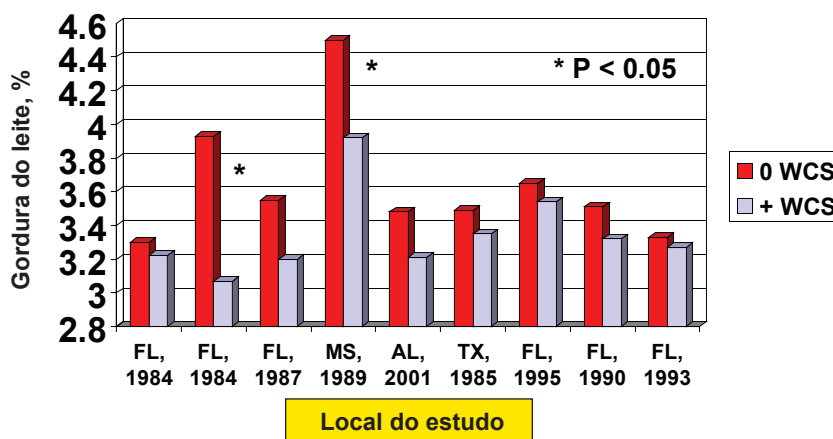


Figura 3. A suplementação de dietas à base de silagem de milho com caroço de algodão (10-15%) reduz o teor de gordura do leite.

Óleo reciclado de cozinha (gordura amarela). Esta gordura é derivada da coleta e processamento de óleos usados em restaurantes, mas pode conter gorduras animais. Como os restaurantes utilizam principalmente óleos vegetais para frituras, a gordura amarela (GA) é basicamente vegetal e contém ~2 vezes mais gordura insaturada que o sebo (Tabela 1). Como estes óleos são expostos a altas temperaturas e umidade, contêm níveis máximos de ácidos graxos livres (10 a 25%) e são mais propensos à rancificação. Ao adquirir este tipo de gordura, procure selecionar as que contêm menores teores de ácidos graxos livres e antioxidantes. A inclusão de 2% de GA em base de MS da dieta em dietas contendo 45% de feno de alfafa elevou o rendimento leiteiro em 2,5 kg/dia e a produção de gordura do leite em 60 g/dia, sem afetar a % de gordura no leite (Avila et al., 2000). Neste mesmo estudo, os pesquisadores substituíram o sebo por GA para avaliar como o grau de

saturação da gordura afetava o desempenho das vacas. Nestas dietas à base de feno de alfafa, houve aumento da produção de leite (2,5 kg) e de gordura, sem alteração da % de gordura no leite. Com dietas à base de silagem de milho, as vacas em lactação suplementadas com 5% de GA em base de MS da dieta apresentaram redução da digestibilidade da FDA da dieta (21,6 vs. 31,6%) que vacas que não foram suplementadas com GA, o que resultou em queda de 2,4 kg no consumo de MS (Jenkins e Jenny, 1989). Embora a produção de leite não tenha sido afetada (31,5 e 32,0 kg/d para vacas recebendo GA ou dieta controle, respectivamente) a % de gordura no leite foi reduzida de 3,50 para 2,83%. Este efeito negativo sobre o consumo de alimento e % de gordura no leite poderia ter sido minimizado se o nível de inclusão fosse reduzido de 5 para 2%.

Graxa Branca (GB). Esta é uma gordura animal tipicamente composta de um perfil semelhante de ácidos graxos como a gordura amarela (Tabela 1). A % de gordura no leite foi reduzida de 3,5 para 3,0% quando a dieta de vacas leiteiras (36% de silagem de milho e 12% de feno de alfafa) foi suplementada com 6% de GB (Tackett et al., 1996). Houve também redução da % de gordura no leite de 3,30 para 2,83% quando as dietas de vacas leiteiras (50% de silagem de milho) foram suplementadas com 2% de GB (Onetti et al., 2001). Neste estudo, houve maior concentração do isômero trans-10 C18:1, mas não do isômero trans-10, cis-12 na gordura do leite de vacas suplementadas com GB.

Sabões de cálcio de óleo de palma (SCOP). Este produto é resultante da reação de óleo de palma com hidróxido de sódio e água sob aquecimento e em seguida os sabões de cálcio são precipitados usando cloreto de cálcio (CaCl_2). Os ácidos graxos insaturados preparados desta forma são menos “reativos” no rúmen e afetam menos a fermentação microbiana que as gorduras insaturadas não tratadas (Chalupa et al., 1986). O ambiente ácido do abomaso dissocia o cálcio dos ácidos graxos, permitindo a absorção das gorduras no intestino delgado. Em sua revisão, Chilliard et al. (2001) concluíram a partir do estudo de 29 diferentes grupos, que vacas suplementadas em média com 0,6 kg/dia de SCOP produziam significativamente mais leite (0,9 kg/dia), sem alteração na % de gordura no leite em comparação a vacas não suplementadas com SCOP, em uma série de diferentes experimentos e tipos de dietas. As dietas à base de silagem de milho não foram examinadas separadamente das que não continham forragem.

QUANTO DE GORDURA PODE SER FORNECIDA COM “SEGURANÇA”?

Quais as medidas de manejo a serem adotadas para evitar a depressão dos teores de gordura do leite quando as gorduras suplementadas contêm ácidos graxos insaturados? Se efetivamente o “baixo” pH do fluido ruminal é um importante fator que contribui para a redução dos teores de gordura no leite, então os fatores que ajudam a tamponar o pH precisam ser considerados. Caso uma gordura insaturada seja incluída na dieta e as vacas responderem com redução da gordura do leite, esta reação pode sugerir que este grupo de vacas já estava propenso à acidose. Certamente, devem ser considerados fatores como o nível de fibra efetiva na dieta, a capacidade de tamponamento do tipo de volumoso fornecido e a presença de outros agentes tamponantes e alcalinizantes na formulação. Além disso, o teor de gordura consumida é importante, uma vez que à medida que sua concentração aumenta na dieta, os efeitos negativos são mais intensos. Um exemplo foi o aumento da graxa branca de 0 a 2 a 4% da MS da dieta à base de silagem de milho, com redução proporcional da % de gordura no leite (3,30, 2,93 e 2,85%) e de sua produção (1,39, 1,21 e 1,08 kg/dia) (Onetti et al, 2001).

O Dr. Tom Jenkins da Clemson University desenvolveu diretrizes para serem seguidas quando se fornece gordura, baseadas no teor de fibra da dieta e na proporção de ácidos graxos insaturados no suplemento de gordura (Jenkins, 1993). Sua equação considera que, quanto maior a concentração de fibra, maior quantidade de gordura poderá ser incluída. Como o rúmen de vacas alimentadas com dietas contendo mais fibra é geralmente menos ácido, haverá menor produção de ácidos graxos trans e a depressão do teor de gordura no leite será minimizada. Quanto maior a proporção de ácidos graxos insaturados no suplemento de gordura,

menos gordura poderá ser incluída na dieta devido ao efeito das gorduras insaturadas sobre a produção de ácidos graxos trans no rúmen. Existem duas equações, uma usando o teor de FDN e a segunda usando o teor de FDA na dieta. As atuais equações não fazem a distinção entre dietas que contem silagem de milho ou alfafa como fonte principal de forragem.

Concentração máxima de gordura suplementar na dieta =

$(6 \times \% \text{ FDA da dieta}) \div (\% \text{ de ácidos graxos insaturados em relação à \% total de ácidos graxos no suplemento de gordura} \div \% \text{ total de ácidos graxos no suplemento de gordura}) \times 100\%$ e

$(4 \times \% \text{ FDN da dieta}) \div (\% \text{ de ácidos graxos insaturados em relação à \% total de ácidos graxos no suplemento de gordura} \div \% \text{ total de ácidos graxos no suplemento de gordura}) \times 100\%$.

Os ácidos graxos insaturados considerados são geralmente C18:1, C18:2 e C18:3. Para o sebo listado na Tabela 1, representam 47,1%. O sebo é considerado como 100% composto de ácidos graxos. Desta forma, uma dieta que contenha a concentração mínima de FDA de 19% pode ter uma concentração máxima de sebo de 2,4% $[(6 \times 19) \div (47,1\%) \div (100\%) \times (100\%)]$, sem resultar em depressão do teor de gordura do leite. Usando os valores de FDN das dietas à base de silagem de milho das referências citadas na Tabela 1, não deve haver depressão da gordura do leite se o teor de sebo não ultrapassar 2,6% (Onetti et al., 2001), 2,9% (Onetti et al., 2002), 2,8% (Ruppert et al., 2003), 2,9% (Adams et al., 1995) e 3,1% (Smith et al., 1993). Entretanto, foi observada depressão do teor de gordura do leite quando o sebo foi fornecido em concentrações de 2 a 2,5% da MS da dieta, indicando que as equações podem necessitar de ajuste quando a silagem de milho é a única fonte de volumoso na dieta. As equações que teriam maximizado o teor de sebo em <2 a 2,5% da MS da dieta nas referências anteriores utilizaram coeficientes reduzidos como descrito a seguir:

$(4,5 \times \% \text{ de FDA na dieta}) \div (\% \text{ de ácidos graxos insaturados em relação à \% total de ácidos graxos no suplemento de gordura} \div \% \text{ total de ácidos graxos no suplemento de gordura}) \times 100\%$ e $(2,5 \times \% \text{ FDN da dieta}) \div (\% \text{ de ácidos graxos insaturados em relação à \% total de ácidos graxos no suplemento de gordura} \div \% \text{ total de ácidos graxos no suplemento de gordura}) \times 100\%$.

À medida que mais estudos forem conduzidos com suplementos de gordura adicionados a dietas à base de silagem de milho, equações mais apropriadas poderão ser desenvolvidas.

Usando as diretrizes das equações de Jenkins (1993), o nível máximo a ser fornecido de caroço de algodão é 8,9% quando as dietas contiverem a concentração mínima de fibra. O caroço integral de algodão contém 18% de gordura com 71% de ácidos graxos na forma insaturada. Desta forma, o cálculo é $= (6 \times 19) \div (71) \div 18 \times 100 = 8,9\%$. Os estudos na Figura 3 forneceram dietas contendo 10 a 15% de caroço de algodão. O padrão de depressão do teor de gordura no leite nestes estudos usando dietas de silagem de milho poderia ter sido evitado se o nível de inclusão de caroço de algodão tivesse sido reduzido. Palmquist (1984) recomendou que o consumo diário de gordura não deveria ser superior à produção de gordura do leite para evitar sua depressão.

RESUMO

- Uma série de fontes de gordura resultam em depressão dos teores de gordura no leite, inclusive sebo (2%), óleo reciclado de cozinha (5%), graxa branca (2%), óleo de soja hidrogenado (3,3%), oleaginosas extrusadas (17%) e óleo de peixe (0,75%) (em base de MS da dieta).
- Acredita-se que a depressão dos teores de gordura do leite seja causada por uma menor síntese de ácidos graxos de cadeia curta pela glândula mamária devido à formação de ácidos graxos trans (especialmente o trans-10 C18:1 e o CLA trans-10, cis-12), sintetizados pelos micróbios ruminais em um ambiente mais ácido e na presença de ácidos graxos mono- e/ou poli-insaturados.

- Vacas alimentadas com dietas em que a silagem de milho é a única ou a principal fonte de forragem parecem ser mais suscetíveis à depressão da gordura do leite quando recebem suplementação de gorduras insaturadas. A substituição parcial da silagem de milho por outra fonte de forragem como a alfafa pode atenuar este efeito negativo ao reduzir a acidez no rúmen. A manutenção do pH ruminal acima de 6,0 minimiza a formação de isômeros trans pelos micróbios ruminais.

REFERÊNCIAS

- AbuGhazaleh, A.A., and T.C. Jenkins. 2004. Disappearance of docosaheptaenoic and eicosaheptaenoic acids from cultures of mixed ruminal microorganisms. *J. Dairy Sci.* 87:645-651.
- AbuGhazaleh, A.A., M.B. Riley, E.E. Thies, and T.C. Jenkins. 2005. Dilution rate and pH effects on the conversion of oleic acid to Trans C18:1 positional isomers in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 88:4334-4341.
- Ackers, M.R. 2002. Page 95 in *Lactation and the Mammary Gland*. Iowa State Press. Ames, IA.
- Adams, A.L., B. Harris, Jr., H.H. Van Horn, and C.J. Wilcox. 1995. Effects of varying forage types on milk production responses to whole cottonseed, tallow, and yeast. *J. Dairy Sci.* 78:573-581.
- Arola, A., K.J. Shingfield, A. Vanhatalo, V. Toivonen, P. Hahtanen, and J.M. Griinari. Biohydrogenation shift and milk fat depression in lactating dairy cows fed increasing levels of fish oil. *J. Dairy Sci.* 85(Suppl. 1):143.
- Ashes, J.R., S.K. Gulati, and T.W. Scott. 1997. Potential to alter the content and composition of milk fat through nutrition. *J. Dairy Sci.* 80:2204-2212.
- Avila, C.D., E.J. DePeters, H. Perez-Monti, S.J. Taylor, and R.A. Zinn. 2000. Influence of saturation ratio of supplemental dietary fat on digestion and milk yield in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:1505-1519.
- Baker, J.G., J.E. Tomlinson, D.D. Johnson, and M.E. Boyd. 1989. Influence of two whole oilseed sources supplemented with Megalac on the performance and milk composition of early lactating cows. *J. Dairy Sci.* 72:483 (Abstr.).
- Bayourthe, C., F. Enjalbert, and R. Moncoulon. 2000. Effects of different forms of canola oil fatty acids plus canola meal on milk composition and physical properties of butter. *J. Dairy Sci.* 83:690-696.
- Bertrand, J.A., F.E. Pardue, and T.C. Jenkins. 1998. Effect of ruminally protected amino acids on milk yield and composition of Jersey cows fed whole cottonseed. *J. Dairy Sci.* 81:2215-2220.
- Bauman, D.E., L.H. Baumgard, B.A. Corl, and J.M. Griinari. 2000. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *Proc. Amer. Soc. Anim. Sci.* 1999. <http://www.asas.org/jas.symposium/proceedings/0937>
- Bauman, D.E., and J.M. Griinari. 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annu. Rev. Nutr.* 23:203-227.
- Chalupa, W., B. Vecchiarelli, A.E. Elser, D.S. Kronfeld, D. Sklan, and D.L. Palmquist. 1986. Ruminal fermentation in vivo as influenced by long-chain fatty acids. *J. Dairy Sci.* 69:1293-1301.
- Casper, D.P., D.J. Schingoethe, R.P. Muddaugh, and R.J. Baer. 1988. Lactational responses of dairy cows to diets containing regular and high oleic acid sunflower seeds. *J. Dairy Sci.* 71:1267-1274.
- Chik, A.B. 1987. Effects of dietary whole cottonseed on lactational performance and digestibility as related to roughage source, protein source and calcium treatment. Univ. of Florida. Ph.D. Dissertation.
- Chilliard, Yves, Anne Ferlay, and Michel Doreau. 2001. Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livestock Prod. Sci.* 70:31-48.
- Coppock, C.E., J.W. West, J.R. Moya, D.H. Nave, J.M. LaBore, K.G. Thompson, L.D. Rowe, Jr., and C.E. Gates. 1985. Effects of amount of whole cottonseed on intake, digestibility, and physiological responses

- of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 68:2248-2258.
- Destailats, F., J.P. Trottier, J.m. Galvez, and P. Angers. 2005. Analysis of α -linolenic acid biohydrogenation intermediates in milk fat with emphasis on conjugated linolenic acids. *J. Dairy Sci.* 88:3231-3239.
- Faldet, M.A. and L.D. Satter. 1991. Feeding heat-treated full fat soybeans to cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 74:3047-3054.
- Focant, M., E. N. Mignolet, M. Marique, F. Clabots, T. Breyne, D. Dalemans, and Y. Larondelle. 1998. The effect of vitamin E supplementation of cow diets containing rapeseed and linseed on the prevention of milk fat oxidation. *J. Dairy Sci.* 81:1095-1101.
- Gonthier, C., A.F. Mustafa, D.R. Ouellet, P.Y. Chouinard, R. Berthiaume, and H.V. Petit. 2005. Feeding micronized and extruded flaxseed to dairy cows: Effects on blood parameters and milk fatty acid composition. *J. Dairy Sci.* 88:748-756.
- Griinari, J.M., D.A. Dwyer, M.A. McGuire, D.E. Bauman, D.L. Palmquist, and K.V.V. Nurmela. 1998. Trans-octadecenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:1251-1261.
- Harfoot, C.G. and Hazlewood, G.P. (1997) Lipid metabolism in the rumen. In *The Rumen Microbial Ecosystem*. P.N. Hobson. Ed. Elsevier Applied Science, London, p. 382-426.
- Jenkins, T.C. 1993. Strategies for including fat to dairy rations. Pages 14-25 in *Proc. Clemson Dairy Conf.*, Clemson, SC.
- Jenkins, T.C. and B.F. Jenny. 1989. Effect of hydrogenated fat on feed intake, nutrient digestion, and lactation performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72:2316-2324.
- Kalscheur, K.F., B.B. Teeter, L.S. Piperova, and R.A. Erdman. 1997. Effect of dietary forage concentration and buffer addition on duodenal flow of trans-C18:1 fatty acids and milk fat production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:2104-2114.
- Kennelly, J.J. 1996. The fatty acid composition of milk fat as influenced by feeding oilseeds. *Anim. Feed Sci. Tech.* 60:137-152.
- Kim, Y.K., D.J. Schingoethe, D.P. Casper, and F.C. Ludens. 1991. Lactation response of dairy cows to increased dietary crude protein with added fat. *J. Dairy Sci.* 74:3891-3899.
- Kim, Y.K., D.J. Schingoethe, D.P. Casper, and F.C. Ludens. 1993. Supplemental dietary fat from extruded soybeans and calcium soaps of fatty acids for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:197-204.
- Lubis, D., H.H. Van Horn, B. Harris, Jr., K.C. Bachman, and S.M. Emanuele. 1990. *J. Dairy Sci.* 73:3512 – 3925.
- Markus, S.B., K.M. Wittenberg, J.R. Ingalls, and M. Undi. 1996. Production responses by early lactation cows to whole sunflower seed or tallow supplementation of a diet based on barley. *J. Dairy Sci.* 79:1817-1825.
- Mosley, E.E., G.L. Powell, M.B. Riley, and T.C. Jenkins. 2002. Microbial biohydrogenation of oleic acid to trans isomers in vitro. *J. Lipid Res.* 43:290-296.
- National Cottonseed Products Assoc. 1995. *The Cottonseed Processing Industry Statistical Handbook*. Natl. Cottonseed Prod. Assoc., Inc. Memphis, TN.
- Onetti, S.G., R.D. Shaver, M.A. McGuire, and R.R. Grummer. 2001. Effect of type and level of dietary fat on rumen fermentation and performance of dairy cows fed corn silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 84:2751-2759.
- Onetti, S.G., R.D. Shaver, M.A. McGuire, D.L. Palmquist, and R.R. Grummer. 2002. Effect of supplemental tallow on performance of dairy cows fed diets with different corn silage:alfalfa silage ratios. *J. Dairy Sci.* 85:632- 641.
- Onetti, S.G., S.M. Reynal, and R.R. Grummer. 2004. Effect of alfalfa forage preservation method and particle length on performance of dairy cows fed corn silage-based diets and tallow. *J. Dairy Sci.* 87:652-664.

- Palmquist, D.L. 1984. Use of fats in diets for lactating dairy cows. Chap. 18 in *Fats in Animal Nutrition*. J. Wiseman, ed. Butterworths, London, England.
- Pires, A.V., M.L. Eastridge, and J.L. Firkins. 1996. Roasted soybeans, blood meal, and tallow as sources of fat and ruminally undegradable protein in the diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 79:1603-1610.
- Piperova, L.S., J. Sampugna, B.B. Teter, K.F. Katscheur, M.P. Yurawecz, Y. Ku, K.M. Morehouse, and R.A. Erdman. 2002. Duodenal and milk Trans Octadecenoic acid and conjugated linoleic acid (CLA) isomers indicate that postabsorptive synthesis is the predominant source of cis-9-containing CLA in lactating dairy cows. *J. Nutr.* 132:1236-1241.
- Polan, C.E., J.J. McNeill, and S.B. Towe. 1964. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids by rumen bacteria. *J. Bacteriol.* 88:1056-1064.
- Proell, J.M., E.E. Mosley, G.L. Powell, and T.C. Jenkins. 2002. Isomerization of stable isotopically labeled elaidic acid to cis and trans monoenes by ruminal microbes. *J. Lipid Res.* 43:2072-2076.
- Ruppert, L.D., J.K. Drackley, D.R. Bremmer, and J.H. Clark. 2003. Effects of tallow in diets based on corn silage or alfalfa silage on digestion and nutrient use by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:593-609.
- Selberg, K.T., A.C. Lewis, C.R. Staples, N.D. Luchini, and L. Badinga. 2004. Production and metabolic responses of periparturient Holstein cows to dietary conjugated linoleic acid and trans-octadecenoic acids. *J. Dairy Sci.* 87:158-168.
- Smith, W.A., B. Harris, Jr., H.H. Van Horn, and C.J. Wilcox. 1993. Effects of forage type on production of dairy cows supplemented with whole cottonseed, tallow, and yeast. *J. Dairy Sci.* 76:205-215.
- Spain, J.N., C.E. Polan, and B.A. Watkins. 1995. Evaluating effects of fish meal on milk fat yield of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:1142-1153.
- Stegeman, G.A., D.P. Casper, D.J. Schingoethe, and R.J. Baer. 1992. Lactational responses of dairy cows fed unsaturated dietary fat and receiving bovine somatotropin. *J. Dairy Sci.* 75:1936-1945.
- Storry, J.E. 1988. The Effect of Dietary Fat on Milk Composition. Pages 111 – 1441 in *Recent Developments in Ruminant Nutrition 2*. Butterworths, London.
- Tackett, V.L., J.A. Bertrand, T.C. Jenkins, F.E. Pardue, and L.W. Grimes. 1996. Interaction of dietary fat and acid detergent fiber diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 79:270-275.
- Umphrey, J.E., B.R. Moss, C.J. Wilcox, and H.H. Van Horn. 2001. Interrelationships in lactating Holsteins of rectal and skin temperatures, milk yield and composition, dry matter intake, body weight, and feed efficiency in summer in Alabama. *J. Dairy Sci.* 2680-2685.
- Van Horn, H.H., B. Harris, Jr., M.J. Taylor, K.C. Bachman, and C.J. Wilcox. 1984. By-product feeds for lactating dairy cows: effects of cottonseed hulls, sunflower hulls, corrugated paper, peanut hulls, sugarcane bagasse, and whole cottonseed with additives of fat, sodium bicarbonate, and *Aspergillus oryzae* production milk production. *J. Dairy Sci.* 67:2922 - 2938.
- Weiss, W.P., and D.J. Wyatt. 2003. Effect of dietary fat and vitamin E on alpha-tocopherol in milk from dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:3582-3591.
- Wonsil, G.J., J.H. Herbein, and B.A. Watkins. 1994. Dietary and ruminally derived trans-18:1 fatty acids alter bovine milk lipids. *J. Nutr.* 124:556-565.