

Fontes protéicas e energéticas com diferentes degradabilidades ruminais para vacas em lactação

Éberson de Castilho Barnabé¹, Flávio Augusto Portela Santos^{2*}, Carla Maris Machado Bittar², Alexandre Vaz Pires², Hugo Imaizumi³ e Sérgio de Oliveira Juchem⁴

¹Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil. ²Departamento de Zootecnia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. ³Dukamp Saúde Animal, Monte Aprazível, São Paulo, Brasil. ⁴Department of Animal Science, UC/Davis, Davis, California, EUA. *Autor para correspondência. E-mail: fapsanto@esalq.usp.br

RESUMO. O objetivo deste trabalho foi avaliar a combinação de fontes de energia e proteína com diferentes degradabilidades ruminais. Foram utilizadas quatro vacas multíparas (23 kg leite dia⁻¹) em Quadrado Latino 4 x 4 com arranjo fatorial 2 x 2: duas fontes de proteína (soja crua ou tostada) e duas de energia (milho moído, grosso ou floculado). O tratamento com milho moído grosso e soja tostada resultou em maior consumo de matéria seca ($p < 0,11$). O fornecimento de milho floculado apresentou tendência ($p = 0,12$) de aumento da produção e diminuição do teor de gordura no leite. A tostagem do grão de soja não melhorou ($p > 0,05$) o desempenho lactacional. A tostagem da soja e a floculação do milho diminuíram ($p < 0,01$) as concentrações ruminais de N-amoniaco. Animais que receberam milho floculado apresentaram maiores concentrações totais de AGV ($p = 0,10$), mas não houve efeito no pH ruminal. Observou-se maior digestibilidade ruminal ($p = 0,06$) quando se forneceu soja crua.

Palavras-chave: proteína, amido, sincronização, produção de leite.

ABSTRACT. Protein (raw or roasted soybeans) and energy (coarsely ground or steam-flaked corn) sources with varying ruminal degradabilities for lactating cows. The objective of this trial was the evaluation of ruminal degradation synchrony of protein and energy sources. Four Holstein cows (23 kg day⁻¹) were used in a 4 x 4 Latin Square design and 2 x 2 factorial arrangement: two protein (raw *vs.* roasted soybeans) with two energy sources (coarsely ground *vs.* steam-flaked corn). Dry matter intake was higher for cows fed coarsely ground corn with roasted soybean ($p < 0.11$). Flaking of corn tended ($p = 0.12$) to increase milk yield and to decrease milk fat content. Roasted soybean did not improve lactational performance of mid lactating cows ($p > 0.05$). Rumen pH was not affected by treatments ($p > 0.05$). Both roasted soybeans and flaking of corn decreased rumen ammonia nitrogen ($p < 0.01$). Animal fed steam-flaked corn tended showed higher total VFA molar concentrations ($p = 0.10$), but there were no treatments effect on ruminal pH. A higher ($p = 0.06$) ruminal starch digestibility was observed for raw soybean treatment.

Key words: protein, starch, synchronization, milk yield.

Introdução

Devido ao alto custo de proteína na dieta de bovinos, sua eficiência de utilização tem sido tema de vários trabalhos conduzidos nos últimos 15 anos. A maioria desses trabalhos tem buscado determinar a adequação da relação entre proteína degradável e proteína não-degradável no rúmen (PNDR), a adequação de proteína metabolizável e o perfil ideal de aminoácidos na mesma e ainda a interação (sincronização) entre fontes de energia e fontes protéicas (Santos *et al.*, 1998).

A suplementação de proteína e amido resistentes à degradação ruminal passou a ser proposta como

uma técnica que permitiria aumentar o aporte de aminoácidos essenciais (AAE) e de glicose para o intestino delgado e, conseqüentemente, para a glândula mamária, refletindo em aumento de produção de leite. Entretanto, revisões sobre o assunto, publicadas no final da década de 1990 (Huntington, 1997; Santos *et al.*, 1998; Theurer *et al.*, 1999), indicam que a teoria da nutrição "bypass" apresenta inúmeros pontos falhos.

Segundo Santos *et al.* (1998), o uso de proteína resistente à degradação ruminal se justifica após a máxima exploração da síntese microbiana no rúmen, com o uso de fontes de PNDR de boa qualidade, capazes de complementar a proteína microbiana em

termos de AAE, com ênfase em uma adequada proporção de lisina e metionina na proteína metabolizável no intestino delgado, conforme sugerido por Sloan *et al.* (1999) e pelo NRC (2001).

Apesar da boa qualidade da proteína da soja, a sua fração de PNDR é baixa, quando comparada a fontes de proteína de origem animal. O tratamento térmico é um dos métodos físico-químicos que vêm sendo utilizados para se aumentar os teores de PNDR. O aquecimento no processo de tostagem facilita a reação de Maillard, responsável pela formação de um complexo de maior resistência à degradação ruminal. A tostagem do grão de soja tem propiciado alguns resultados positivos (Faldet e Satter, 1991) e pode vir a ser uma fonte protéica interessante em nosso meio devido à elevada disponibilidade de soja grão no Brasil.

Apesar das propostas teóricas sobre as vantagens da digestão intestinal do amido em relação à fermentação ruminal, dados de pesquisa, gerados principalmente na década de 1990, levaram Huntington (1997) a afirmar de forma conclusiva que a eficiência de utilização do amido é maior, quando digerido preferencialmente no rúmen. Isto se deve à maior produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) no rúmen e conseqüente maior aporte de energia para o animal, maior síntese de glicose hepática, devido à maior disponibilidade de propionato, e maior síntese de proteína microbiana no rúmen.

Trabalhos de pesquisa conduzidos nos últimos anos e sumariados por Theurer *et al.* (1999) têm indicado de forma consistente que, quando a degradabilidade ruminal do amido é aumentada por meio da floculação do milho ou sorgo, a produção de leite (5 a 10%) e de proteína do leite (12 a 16%) são incrementadas devido a uma maior disponibilidade de energia e proteína para a glândula mamária.

A tentativa de sincronismo da degradação ruminal entre energia e proteína propõe incrementar a utilização desses nutrientes, visando a um aumento na produção microbiana no rúmen e conseqüente aumento na disponibilidade de energia e proteína metabolizável para o animal (Hoover e Stokes, 1991). Casper *et al.* (1990) indicaram que a síntese de proteína microbiana no rúmen e a eficiência de utilização da proteína degradável no rúmen (PDR) podem ser maximizadas variando a fonte e a degradabilidade de carboidrato não-estrutural (CNE) em dietas de vacas em lactação. Aparentemente ocorre maior utilização da amônia ruminal para a síntese microbiana, quando a degradabilidade ruminal do amido é aumentada por meio do processamento do milho ou sorgo (Theurer *et al.*, 1999).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a tentativa de

sincronização da degradação ruminal de energia e proteína por meio da combinação entre fontes protéicas (soja crua ou tostada) e energéticas (milho moído fino ou floculado) com diferentes degradabilidades ruminiais, na produção e composição do leite, parâmetro sanguíneos e ruminiais e digestibilidade e fluxo de nutrientes para o duodeno de vacas em lactação.

Material e métodos

Foram utilizadas quatro vacas da raça Holandesas, múltiparas, providas de cânulas no rúmen e no duodeno, com produção média de leite de 23 kg dia⁻¹ e 130 dias de lactação, em delineamento do tipo quadrado latino, em arranjo fatorial 2 x 2. Os tratamentos consistiram de combinações de fontes energéticas e protéicas com diferentes degradabilidades, por meio do uso de dois tipos de processamento do milho (milho moído grosso e milho floculado a 360 g L⁻¹) e da soja (grão de soja tostado e grão de soja cru), sendo a composição da dieta em ingredientes e nutrientes (Tabela 1).

Tabela 1. Proporção dos ingredientes e composição média nutricional das dietas experimentais.

Table 1. Ingredients proportion and average nutritional composition of experimental diets.

	Tratamentos ¹			
	MF		MMG	
	SC	ST	SC	ST
	SF	TS	RS	CG
	RS	TS	RS	TS
Ingredientes			(% MS)	
<i>Ingredients</i>			(% DM)	
Silagem de milho	50	50	50	50
<i>Corn silage</i>				
Farelo de soja	4,5	4,5	4,5	4,5
<i>Soybean meal</i>				
Milho floculado (MF)	27,03	27,03	-	-
<i>Steam-flaked corn (SF)</i>				
Milho moído grosso (MMG)	-	-	27,03	27,03
<i>Coarsely ground corn (CG)</i>				
Soja crua (SC)	15	-	15	-
<i>Raw soybean (RS)</i>				
Soja tostada (ST)	-	15	-	15
<i>Toasted soybean (TS)</i>				
Minerais	3,47	3,47	3,47	3,47
<i>Minerals</i>				
Composição			(% MS)	
<i>Composition</i>			(% DM)	
Matéria seca (MS)	39,55	42,13	40,30	43,12
<i>Dry matter (DM)</i>				
Fibra em detergente neutro	28,37	28,25	27,56	29,25
<i>Neutral detergent fiber</i>				
Fibra em detergente ácido	16,89	17,10	17,73	16,79
<i>Acid detergent fiber</i>				
Cinzas	6,65	7,33	7,03	7,42
<i>Ashes</i>				
Proteína bruta	14,17	13,60	13,38	13,65
<i>Crude protein</i>				
Extrato etéreo	4,05	3,97	4,15	3,77
<i>Ether extract</i>				
Amido	28,99	29,62	30,79	31,55
<i>Starch</i>				

¹MF=milho floculado; MMG=milho moído grosso; SC=soja crua; ST=soja tostada.

²SF = steam-flaked corn; CG = coarsely ground corn; RS = raw soybean; TS = toasted soybean.

Cada período experimental teve duração de 14

dias, sendo a coleta de dados e amostras realizadas nos últimos 4 dias. Os animais foram alojados em baias individuais e alimentados com ração completa duas vezes ao dia *ad libitum*, permitindo uma sobra de 5%, pesada diariamente. Com base na média de consumo do período de adaptação, fixou-se a quantidade fornecida durante o período de coleta, sendo as eventuais sobras colocadas diretamente no rúmen dos animais, evitando-se assim a necessidade de análise bromatológica de sobras.

Do 4º a 14º dia de cada período, os animais foram submetidos à dosagens de cloreto de itérbio hexahidratado (1 mg dia⁻¹), para estimativa da digestibilidade da MS e de nutrientes, segundo metodologia proposta por Prigge *et al.* (1981).

As vacas foram ordenhadas duas vezes ao dia, às 6 e 18h, sendo a produção de leite registrada em cada ordenha durante os 4 dias de cada período de coleta. Também foram tomadas amostras de leite, sendo estas preservadas com 2-bromo-2-nitropropano-1-3-diol e compostas por dia, para análise de gordura, proteína, lactose, sólidos totais e contagem de células somáticas, de acordo com a rotina do Laboratório de Análises de Leite do Departamento de Zootecnia da Esalq/USP.

Durante os 4 dias do período de coleta, amostras da digesta duodenal foram coletadas a intervalos de 4 horas, atrasando-se 1 hora por dia, de modo a simular amostras obtidas a cada hora em um período de 24 horas. Amostras de fezes foram coletadas diretamente do reto dos animais, duas vezes ao dia (7 e 19h). Tanto as amostras de fezes quanto as amostras do conteúdo duodenal foram compostas por vaca e por período, sendo congeladas a -25°C e posteriormente secas a 55°C e moídas em peneira de 1 mm para análise subsequente de MS e PB, segundo AOAC (1990), amido pelo método descrito por Poore *et al.* (1989), FDN e FDA, de acordo com Van Soest *et al.* (1991).

No 11º dia de cada período, amostras de fluido ruminal foram coletadas em todas as porções do rúmen, com intervalo de 2 horas, durante 24 horas, sendo filtradas em pano de queijo. O pH foi determinado imediatamente após a coleta, através de leitura direta em potenciômetro (Digimed TE-902); as sub-amostras foram armazenadas a -25°C para posterior análise de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e nitrogênio amoniacal. As amostras foram descongeladas e centrifugadas a 11.000 g, a 4°C, durante 20 minutos. Uma alíquota de 40 µl foi transferida para tubo de ensaio para análise de N-amoniacal pelo método de Chaney e Marbach (1962), adaptado para placas de microtítulo e leitura em aparelho do tipo ELISA Reader (550 nm). Para

determinação de AGCC, as amostras sofreram nova centrifugação, sendo analisadas de acordo com Palmquist e Conrad (1971), em cromatógrafo líquido-gasoso (CLG) Hewlett Packard 5890, equipado com integrador HP, sendo utilizado como padrão interno o ácido 2-etilbutírico.

Amostras de sangue foram coletadas em tubos de ensaio com fluoreto de sódio como anticoagulante e oxalato de potássio como antiglicolítico. As coletas foram realizadas nos horários 0, 2, 4, 6, 8 e 12 horas após o fornecimento da dieta da manhã, no último dia de cada período. As amostras foram então centrifugadas a 1.100 g, durante 15 minutos, sendo o plasma armazenado a -25°C, para posterior determinação dos níveis de uréia plasmática, de acordo com Chaney e Marbach (1962), e a glicose por leitura direta (Biochemistry Analyzer YSI 2700, Yellow Spring, OH).

Os resultados foram avaliados por meio do PROC GLM do programa estatístico SAS (1990), à exceção dos parâmetros ruminiais e sanguíneos, que foram analisados como medidas repetidas no tempo através do PROC MIXED do mesmo programa estatístico. Para fins de discussão dos dados, determinou-se como diferença estatística valores de $p < 0,05$, e como tendência estatística, valores de $p < 0,15$.

Resultados e discussão

A combinação de fontes protéicas e energéticas, com diferentes degradabilidades ruminiais, apresentou tendência ($p = 0,106$) para a interação dos efeitos para consumo de matéria seca (Tabela 2). O maior valor para consumo ocorreu para o tratamento com milho moído grosso e soja tostada. Estudando combinações entre fontes protéicas e de carboidratos com diferentes degradabilidades ruminiais, Herrera-Saldana e Huber (1989) não observaram diferenças no consumo de matéria seca entre os tratamentos.

Não houve efeito significativo de tratamento quanto à produção de leite e LCG (Tabela 2). Entretanto, observou-se tendência ($p=0,12$) para maior produção de leite com milho floculado (MF) em comparação com o moído grosso (MMG). A tostagem da soja não resultou ($p > 0,05$) em melhor desempenho lactacional das vacas, assim como observado por Petit *et al.* (1997), que também não verificaram diferença na produção de leite quando compararam grãos de leguminosas crus com extrusados em dietas à base de silagem de capim. De acordo com Voss *et al.* (1988), o tratamento térmico de grãos de leguminosas tem pouco ou nenhum efeito na produção de leite quando a dieta contém

silagem de milho como principal volumoso.

Faldet e Satter (1991) obtiveram aumento de 4 kg dia⁻¹ de LCG nos tratamentos que continham soja tostada (ST) em comparação com a soja crua (SC), tendo como volumoso exclusivo a silagem de alfafa. Esses dados foram confirmados em um estudo posterior (Dhiman et al., 1997), no qual se obteve um incremento na produção de 2,3 kg dia⁻¹ de leite corrigido para 3,5% de gordura para vacas alimentadas com ST, quando comparadas àquelas alimentadas com SC, em uma dieta com 33% de silagem de alfafa e 17% de silagem de milho.

Tabela 2. Consumo de matéria seca, produção e composição do leite de vacas alimentadas com combinações de fontes energéticas e protéicas.

Table 2. Dry matter intake, milk production and composition of cows fed energy and protein sources combination.

Variáveis Variables	MF ¹ SF ²		MMG CG		p= ³			
	SC RS	ST TS	SC RS	ST TS	EPM ² SEM ²	FE ⁴ ES ⁴	FP PS	FE*FP ES*PS
Consumo, kg dia ⁻¹ Intake, kg day ⁻¹	18,50	18,50	18,50	24,50	1,58	0,106	0,106	0,106
Produção, kg dia ⁻¹ Production, kg day ⁻¹	23,82	22,88	21,89	22,49	1,65	0,122	0,805	0,276
LCG ⁵ , kg dia ⁻¹	23,25	21,63	21,97	22,94	1,45	0,983	0,763	0,259
FCM5, kg dia ⁻¹								
Proteína, % Protein, %	3,32	3,03	2,93	3,36	0,07	0,874	0,716	0,089
Proteína, kg dia ⁻¹ Protein, kg day ⁻¹	0,79	0,68	0,64	0,74	0,04	0,396	0,986	0,077
Gordura, % Fat, %	3,35	3,17	3,53	3,65	0,08	0,120	0,900	0,437
Gordura, kg dia ⁻¹ Fat, kg day ⁻¹	0,79	0,72	0,77	0,81	0,05	0,555	0,773	0,299

¹MF= milho floculado; MMG=milho moído grosso; SC=soja crua; ST=soja tostada.

²Erro padrão da média. ³Probabilidade do teste F. ⁴FE=efeito da fonte energética; Fp=efeito da fonte protéica; FE*Fp=interação. ⁵LCG: leite corrigido para 3,5% de gordura.

SF= steam-flaked corn; CG= coarsely ground corn; RS=raw soybean; TS= toasted soybean. Standard error of mean, Test F probability, ES= energy source effect; PS= protein source effect; ES*PS=interaction effect, FCM: fat corrected milk for 3.5%.

Das fontes suplementares ricas em proteína não-degradável no rúmen (PNDR), a proteína da soja e da farinha de peixe são as que mais apresentam chances de aumentar a produção de leite de vacas de alta produção (Santos et al., 1998). Entretanto, as respostas são mais consistentes e mais expressivas em dietas contendo principalmente silagem de alfafa como volumoso, devido ao baixo teor de PNDR desse alimento. A maior produção de leite nas dietas com MF, observada neste estudo encontra forte respaldo na literatura. Em revisão sobre o assunto, Theurer et al. (1999) observaram aumento na produção de leite, quando fontes de amido mais degradáveis foram utilizadas.

Ao combinarem fontes protéicas e de amido com diferentes degradabilidades ruminais, Herrera-Saldana e Huber (1989) encontraram maior produção para o tratamento que continha fonte de amido e de proteína com maior degradabilidade ruminal, apesar dessa diferença não ter se repetido

para LCG. Nesse mesmo trabalho, a produção de leite corrigido para 3,5% de gordura foi menor, quando se forneceu fonte de amido de alta degradabilidade e fonte de proteína com baixa degradabilidade.

A composição do leite também não foi afetada significativamente pela combinação entre fontes protéicas e energéticas com diferentes degradabilidades ruminais; porém, houve uma tendência de interação ($p < 0,09$) entre fonte de energia e protéica para teor e produção de proteína do leite. Em presença de milho floculado, valores mais elevados de teor e produção de proteína foram observados com a suplementação de soja crua, enquanto que em presença de milho moído grosso, a suplementação com soja tostada resultou em valores mais elevados.

A literatura tem indicado de forma consistente maior teor e produção de proteína do leite quando se aumenta a degradabilidade ruminal das fontes de carboidratos não estruturais (Theurer et al., 1999). Santos et al. (2001) observaram maior teor e produção de proteína do leite de vacas que receberam milho floculado em comparação com milho moído grosso. Segundo Santos (1998), o aumento no teor e produção de proteína do leite com fontes de amido de alta degradabilidade ruminal se devem a um fator ou a uma combinação de fatores, dentre os quais podem ser citadas a maior disponibilidade de energia, maior liberação de insulina, devido à maior produção de propionato ruminal, e a um maior fluxo de proteína microbiana para o duodeno.

Santos et al. (1998), revisaram 21 comparações entre farelo de soja convencional e farelo tratado física ou quimicamente para elevar o teor de PNDR. As fontes ricas em PNDR reduziram o teor de proteína do leite em 8 e não afetaram nas 13 demais comparações. Em nenhuma comparação houve aumento no teor de proteína com a inclusão de PNDR.

A floculação do milho tendeu ($p = 0,12$) a reduzir os teores de gordura do leite; entretanto, devido à maior produção de leite, a produção de gordura não foi afetada ($p > 0,05$) pelo processamento mais intenso do grão de cereal, assim como observado em outros trabalhos sumariados por Theurer et al. (1999). A suplementação com uma fonte rica em PNDR não afetou ($p > 0,05$) o teor nem a produção de gordura do leite. Santos et al. (1999) também observaram menor teor de gordura no leite de vacas que receberam dietas similares às usadas no presente estudo, quando o milho floculado foi comparado com o moído grosso. O

menor teor de gordura no leite, observado nos tratamentos com fonte de amido de alta degradabilidade ruminal, pode ser explicado pelo pior ambiente ruminal em termos de pH, favorecendo o fluxo de ácidos graxos insaturados “trans” para a glândula mamária (Theurer *et al.*, 1999).

Entretanto, no presente estudo, os valores médios de pH ruminal não foram afetados ($p > 0,05$) pelos tratamentos (Tabela 3). A maior degradabilidade ruminal do amido de milho ou sorgo, processados na forma floculada ou como silagem de grãos úmidos, tem sido apontada como a principal responsável pelas reduções observadas nos valores de pH ruminal. Quanto maior a intensidade de processamento dos grãos de cereais, menor tem sido o pH ruminal observado, devido principalmente à maior produção de AGCC (Yang *et al.*, 2000).

Tabela 3. Parâmetros ruminiais e plasmáticos de vacas alimentadas com combinações de fontes energéticas e protéicas.

Table 3. Ruminant and plasma parameters of cows fed energy and protein sources combination.

Variáveis Variables	MF ¹ SF ²		MMG CG		EPM ² SEM ²	FE ⁴ ES ⁴	FP PS	FE*FP ES*PS	p= ³
	SC RS	ST TS	SC RS	ST TS					
Rúmen									
<i>Rumen</i>									
NH ₃ (mg dL ⁻¹)	10,72 ^a	8,50 ^b	10,62 ^a	9,21 ^b	0,25	0,013	0,001	0,003	
pH	6,11	6,23	6,21	6,14	0,03	0,960	0,808	0,287	
AGCC total (mM)	134,34	130,63	119,70	127,76	12,00	0,102	0,649	0,242	
Total SCFA (mM)									
Acetato (mM)	86,46	85,05	74,19	81,55	7,87	0,045	0,376	0,208	
Acetate (mM)									
Propionato (mM)	29,42	28,56	29,58	29,99	3,25	0,486	0,842	0,575	
Propionate (mM)									
Butirato (mM)	12,98	12,43	12,03	12,31	1,33	0,369	0,810	0,475	
Butirate (mM)									
Acetato:Propionato	2,97	3,16	2,63	2,87	0,14	0,042	0,127	0,834	
Acetate:propionate									
Plasma									
<i>Plasma</i>									
Glicose (mg dL ⁻¹)	50,23	49,96	47,88	50,78	2,92	0,526	0,288	0,212	
Glucose (mg dL ⁻¹)									
Uréia (mg dL ⁻¹)	11,05	11,83	11,27	11,86	0,51	0,816	0,227	0,860	
Urea (mg dL ⁻¹)									

¹MF = milho floculado; MMG = milho moído grosso; SC = soja crua; ST = soja tostada.

²Erro padrão da média. ³Probabilidade do teste F. ⁴FE = efeito da fonte energética; FP = efeito da fonte protéica; FE*FP = interação. ^aMédia na mesma linha seguidas de letras distintas diferem entre si a 5% de significância.

SF = steam-flaked corn; CG = coarsely ground corn; RS = raw soybean; TS = toasted soybean. Standard error of mean. Test F probability. ES = energy source effect; PS = protein source effect; ES*PS = interaction effect. Average at the same line followed by distinct letters differs at 5% significance.

A ausência de redução no pH ruminal com a floculação do milho, mesmo na presença de maior concentração molar de AGCC totais (Tabela 3), pode ser devido à adequação em FDN efetivo na dieta (23%, de acordo com o NRC). Entretanto, os teores de gordura no leite nas dietas com milho floculado foram baixos, inferiores a 3,4%. Isto sugere que, além da adequação de FDN efetivo, é necessário estabelecer-se também uma adequação em amido total na dieta e, principalmente, de amido

degradável no rúmen. Os teores de amido total nas dietas deste estudo variaram de 29 a 31,6% da MS.

Nos trabalhos revisados por Theurer *et al.* (1999), dietas com 28 a 31% de amido total, sendo 78% degradável no rúmen, o que representa ao redor de 21 a 24% de amido degradável no rúmen na dieta total, com feno de alfafa como volumoso exclusivo, resultaram em maior produção de leite do que dietas com menor teor de amido degradável (grãos laminados). Todavia, na maioria daqueles trabalhos, o teor de gordura do leite estava abaixo de 3,5%.

Quando se trabalha com silagem de milho, um volumoso menos eficiente do que o feno de alfafa para tamponar o pH ruminal, é de se esperar que os níveis adequados de amido total e de amido degradável no rúmen sejam inferiores aos relatados por Theurer *et al.* (1999). Os dados de Santos *et al.* (2001) confirmam essa hipótese. As dietas utilizadas também continham 50% de silagem de milho e ao redor de 28% de milho floculado ou moído grosso, com teores muito próximos de amido total ao do presente estudo. A substituição de 50% do milho por polpa cítrica peletizada melhorou a produção de leite corrigido para 3,5% de gordura, devido ao aumento no teor de gordura do leite. No trabalho em questão, para dietas contendo silagem de milho como volumoso exclusivo, são sugeridos teores máximos de amido total ao redor de 25% e de amido degradável no rúmen de 20% na MS da dieta, visando à alta produção de leite com bom teor de gordura.

Os dados resultantes da análise de concentração de N-amoniaco no rúmen (Tabela 3) indicam que tanto o aumento da degradabilidade ruminal do amido via floculação quanto a redução da degradabilidade ruminal da proteína via tostagem são mecanismos eficientes para reduzir a perda de amônia no rúmen. Tanto a floculação do milho como a tostagem da soja reduziram as concentrações de N-NH₃ no fluido ruminal ($p < 0,05$) (Tabela 3).

Yang *et al.* (2000) observaram drástico declínio na concentração de amônia no fluido ruminal, quando se aumentou o grau de processamento da fonte de amido, enquanto Shabi *et al.* (1998) constataram alta concentração de amônia ruminal, quando a fonte de proteína era de alta e a fonte de amido de baixa degradabilidade ruminal.

A combinação de fontes de energia e proteína com diferentes degradabilidades ruminiais não afetou significativamente a concentração molar de AGV total, acetato, propionato ou butirato (Tabela 3). Entretanto, houve tendência ($p = 0,10$) de uma maior concentração molar de AGCC para os animais que receberam milho floculado em comparação com o

milho moído grosso. Não se observou diferença nas concentrações totais de AGCC entre os tratamentos com soja grão crua e soja grão tostada, fato este também relatado por Scott *et al.* (1991). Arieli *et al.* (1996) concluíram que a concentração de AGCC no líquido ruminal sofre maior influência da degradabilidade ruminal da matéria orgânica do que da proteína.

A concentração molar de acetato no fluído ruminal e a razão acetato/propionato foram maiores ($p < 0,05$) nas dietas contendo milho floculado em comparação com o moído grosso. Contudo, quando se substituiu soja grão crua pela tostada, não se observaram diferenças entre as concentrações molares de acetato nem de propionato, discordando dos valores encontrados por Scott *et al.* (1991), que verificaram maior valor para os tratamentos com soja grão tostada. Segundo os autores, também foi observada diminuição nos valores de propionato com o uso da soja grão tostada, o que não ocorreu no presente experimento.

As concentrações de glicose e de uréia plasmática (Tabela 3) não foram afetadas pelos tratamentos ($p > 0,05$). Os dados resultantes da análise de uréia plasmática não apresentaram efeito significativo ($p > 0,05$) entre as dietas, o que pode ser explicado pela pequena variação entre os valores de amônia ruminal nos diferentes tratamentos. O teor de proteína bruta das dietas, ao redor de 14%, também pode não ter sido suficiente para causar variações significativas nos teores de uréia plasmática.

A concentração de uréia plasmática não é influenciada apenas pela fonte de proteína, mas também pela concentração protéica da dieta, que pode resultar em um alto catabolismo de aminoácidos para compensar um déficit na energia ou glicose ou devido a um balanço inadequado de aminoácidos que chega ao intestino delgado (Abdelgadir *et al.*, 1996).

As digestibilidades da matéria seca e dos nutrientes (Tabela 4), tanto no rúmen como no trato digestivo total, não diferiram entre os tratamentos ($p > 0,05$). No entanto, maiores ($p = 0,06$) digestibilidades de amido foram observadas quando a fonte protéica da dieta era soja crua. A utilização de fonte protéica com maior degradabilidade ruminal deve ter estimulado fermentação ruminal com o fornecimento de aminoácidos e amônia, resultando em maior digestibilidade do amido disponível. Também houve uma tendência ($p = 0,12$) de efeito de fonte de proteína na digestibilidade desse nutriente no trato digestivo total, sendo os maiores valores observados para a soja tostada.

Esperava-se uma diferença significativa na digestibilidade do amido (Tabela 4), tanto no rúmen como no trato digestivo total, entre as formas de processamento do grão de milho, conforme relatado de forma consistente na literatura por Theurer *et al.* (1999). Os valores para digestibilidade ruminal do amido nas dietas contendo milho floculado, da ordem de 70 a 76%, estão abaixo dos relatados por Huntington (1997) e Theurer *et al.* (1999). Nos dados revisados por esses autores, a quase totalidade do amido das dietas era proveniente de grãos floculados, uma vez que o volumoso era normalmente feno ou silagem de alfafa. No presente estudo, entre 35 a 45% do amido da dieta é proveniente da silagem de milho. É possível que esse amido seja menos digestível do que o do grão floculado, explicando os valores de digestibilidade obtidos neste trabalho.

Tabela 4. Digestibilidade dos nutrientes no rúmen e no trato total (% MS).

Table 4. Rumen and total tract nutrients digestibility (%DM).

Digestibilidade Digestibility	MF ¹ SF ¹		MMG CG		EPM ² SEM ²	p= ³		
	SC	ST	SC	ST		FE ⁴ ES ⁴	FP PS	FE*FP ES*PS
	RS	TS	RS	TS				
Ruminal Ruminal								
Matéria seca Dry matter	48,85	41,10	45,29	48,69	0,05	0,670	0,646	0,262
Proteína bruta Crude protein	34,87	37,12	37,01	35,00	0,06	0,998	0,985	0,739
Amido Starch	75,95	69,83	74,25	71,93	0,02	0,916	0,061	0,340
Fibra em detergente neutro Neutral detergent fiber	57,53	45,51	52,91	53,88	0,04	0,680	0,251	0,185
Fibra em detergente ácido Acid detergent fiber	66,43	53,30	63,45	70,77	0,04	0,116	0,489	0,041
Trato Total Total tract								
Matéria seca Dry matter	68,00	64,69	64,19	70,60	0,03	0,754	0,647	0,180
Proteína bruta Crude protein	77,32	79,48	76,82	81,47	0,02	0,708	0,125	0,538
Amido Starch	93,77	92,81	93,16	93,94	0,01	0,663	0,873	0,164
Fibra em detergente neutro Neutral detergent fiber	76,34	71,62	74,01	79,53	0,03	0,454	0,912	0,192
Fibra em detergente ácido Acid detergent fiber	70,49	69,06	75,30	76,99	0,05	0,223	0,978	0,750

¹MF = milho floculado; MMG = milho moído grosso; SC = soja crua; ST = soja tostada.
²Erro padrão da média. ³Probabilidade do teste F. ⁴FE = efeito da fonte energética; FP = efeito da fonte protéica; FE*FP = interação.

SF = steam-flaked corn; CG = coarsely ground corn; RS = raw soybean; TS = toasted soybean. Standard error of mean. Test F probability. ES = energy source effect; PS = protein source effect; ES*PS = interaction effect.

A digestibilidade do amido no trato total, ao redor de 93% para ambos os tipos de milho, pode ser considerada alta para o milho moído grosso, quando comparada aos dados de Santos *et al.* (2001). Entretanto, para o milho floculado, esse valor está bem abaixo do relatado na literatura (Theurer *et al.*, 1999; Huntington, 1997).

A ausência de efeito negativo da floculação na digestão de fibra no trato digestivo total tem sido relatada em diversos trabalhos (Theurer *et al.*, 1999).

Isto se explica pela compensação que ocorre no intestino grosso. A menor digestibilidade ruminal do FDN, em observada geralmente em dietas com milho floculado (Theurer *et al.*, 1999), não ocorreu no presente estudo, talvez pela ausência de diferença na degradabilidade ruminal do amido.

A inclusão de soja tostada, tanto em dietas com milho moído como com floculado, aumentou de forma significativa ($p < 0,03$) o fluxo de amido do rúmen para o duodeno (Tabela 5), o que deve ter reduzido a digestibilidade do amido no rúmen, como foi observado na Tabela 4. Houve menor ($p = 0,09$) fluxo de amido para o milho floculado (Tabela 5), muito embora a digestibilidade deste no rúmen não tenha sido superior a do milho moído grosso. Também foi observado maior ($p = 0,06$) fluxo de proteína para o duodeno com o fornecimento de milho moído grosso associado à soja tostada, provavelmente devido ao alto consumo observado nesse tratamento.

Tabela 5. Fluxo de nutrientes para o duodeno.

Table 5. Duodenal flux of nutrients.

Digestibilidade Digestibility	MF ¹		MMG		p= ³			
	SF ¹		CG		EPM ²	FE ⁴	FP	FE*FP
	SC	ST	SC	ST				
Amido								
Starch								
Consumo, kg dia ⁻¹	5,89	5,39	5,74	7,14	0,52	0,177	0,420	0,1172
Intake, kg day ⁻¹								
Fluxo, kg dia ⁻¹	1,40	1,57	1,47	1,96	0,11	0,091	0,026	0,202
Flux, kg day ⁻¹								
Proteína bruta								
Crude protein								
Consumo, g dia ⁻¹	2934	2956	2946	3918	0,25	0,102	0,097	0,109
Intake, g day ⁻¹								
Fluxo, g dia ⁻¹	1910	1775	1845	2479	0,17	0,107	0,189	0,063
Flux, g day ⁻¹								
Aminoácido essencial, g dia ⁻¹								
Essential aminoacids, g day ⁻¹								
Metionina	27,72	29,65	25,07	34,80	6,45	0,908	0,940	0,660
Methionine								
Lisina	195,02	181,37	168,60	185,15	37,92	0,672	0,956	0,575
Lysine								
Arginina	184,65	175,94	163,70	189,20	39,68	0,889	0,762	0,543
Arginine								
Leucina	295,28	296,21	270,28	327,90	53,05	0,919	0,391	0,405
Leucine								
Isoleucina	157,68	147,35	141,09	165,39	25,18	0,970	0,722	0,390
Isoleucine								
Valina	184,09	165,76	158,14	183,08	31,94	0,847	0,882	0,351
Valine								
Histidina	75,41	69,21	67,25	80,70	13,41	0,850	0,683	0,290
Histidine								
Fenilalanina	163,12	149,76	146,11	177,46	27,44	0,772	0,628	0,251
Phenylalanine								
Treonina	161,67	145,04	145,24	152,74	27,26	0,83190	0,8245	0,5626
Threonine								

¹MF=milho floculado; MMG=milho moído grosso; SC=soja crua; ST=soja tostada. ² Erro padrão da média. ³ Probabilidade do teste F. ⁴ FE=efeito da fonte energética; FP=efeito da fonte protéica; FE*FP=interação.

SF = steam-flaked corn; CG = coarsely ground corn; RS=raw soybean; TS= toasted soybean. Standard error of mean. Test F probability. ES = energy source effect; PS = protein source effect; ES*PS=interaction effect.

Não houve efeito de tratamento ($p > 0,05$) ou da fonte de energia ou proteína da dieta no fluxo duodenal dos aminoácidos essenciais (AAE) (Tabela 5). A hipótese de maior fluxo duodenal de AAE com

a suplementação de uma fonte de amido de maior degradabilidade ruminal ou de uma fonte protéica com menor degradabilidade não se confirmou neste estudo (Tabela 5).

Conclusão

A utilização de fontes de amido de alta degradabilidade ruminal, como o milho floculado, aumentou a produção de leite em dietas contendo silagem de milho como volumoso exclusivo, independentemente do suplemento protéico utilizado.

Apesar da maior produção de leite com milho floculado, os baixos teores de gordura no leite nessas dietas sugerem que, quando a silagem de milho é o volumoso exclusivo, o teor de amido total ao redor de 30% da MS da dieta é excessivo.

Não há vantagem em aumentar o teor de PNDR das dietas por meio da tostagem do grão de soja para vacas que produzem em torno de 21 a 24 kg leite dia⁻¹.

Agradecimentos

À Fapesp pela concessão da bolsa de estudos ao primeiro autor e auxílio financeiro para a condução deste experimento.

Referências

- AOAC-Association of Official Analytical Chemists. *Official methods of analysis*. 15. ed. Washington, D.C.: AOAC International, 1990.
- ABDELGADIR, I.E. *et al.* Effect of roasted soybeans and corn on performance and ruminal and blood metabolites of dairy calves. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 79, p. 465-474, 1996.
- ARIELI, A. *et al.* Effect of degradation of organic matter and crude protein on ruminal fermentation in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 79, p. 1774-1780, 1996.
- CASPER, D.P. *et al.* Response of early lactation dairy cows fed diets varying in source of nonstructural carbohydrate and crude protein. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 73, p. 1039-1050, 1990.
- CHANEY, A.L.; MARBACH, E.P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.*, Washington, D.C., v. 8, n. 2, p. 130-137, 1962.
- DHIMAN, T.R. *et al.* Particle size of roasted soybeans and the effect on milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 80, p. 1722-1727, 1997.
- FALDET, M.A.; SATTER, L.D. Feeding heat-treated full fat soybeans to cows in early lactation. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 74, p. 3047-3054, 1991.
- HERRERA-SALDANA, R.; HUBER, J.T. Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 72, p. 1477-1483, 1989.
- HOOVER, W.H.; STOKES, S.R. Balancing

- carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 74, p. 3630-3644, 1991.
- HUNTINGTON, G.B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.*, Savoy, v. 75, p. 852-867, 1997.
- MABJEESH, S.J. et al. The effect of roasting nonlinted whole cottonseed on milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 83, p. 2557-2563, 2000.
- NRC-National Research Council. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7. ed. Washington: National Academy Press, 2001. 408p.
- PALMQUIST, D.L.; CONRAD, H.R. Origin of plasma fatty acids in lactating cows fed high grain fat diets. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 54, n. 4, p. 1025-1030, 1971.
- PETIT, H.V. et al. Milk production and intake of lactating cows fed raw or extruded peas. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 80, p. 3377-3385, 1997.
- POORE, M.H. et al. Total starch and relative starch availability of feed grain. In: BIENNIAL CONFERENCE ON RUMEN FUNCTION, 20., Chicago, 1989. *Proceedings*. Chicago: USDA, 1989. p. 23-45.
- PRIGGE, E.C. et al. Comparison of ytterbium chloride and chromium sesquioxide as fecal indicators. *J. Anim. Sci.*, Savoy, v. 53, p. 1629-1633, 1981.
- SANTOS, F.A.P. *Efeito de fontes protéicas e processamento de grãos no desempenho de vacas de leite e digestibilidade dos nutrientes*. 1998. Tese (Livre-Docência em Agronomia – Ciência Animal e Pastagens)-Escola Superior de gricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- SANTOS, F.A.P. et al. Effects of rumen-undegradable protein on dairy cow performance: a 12-year literature review. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 81, p. 3182-3213, 1998.
- SANTOS, J.E.P. et al. Response of lactating dairy cows to steam-flaked sorghum, steam-flaked corn, or steam-rolled corn and protein sources of differing degradability. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 82, p. 728-737, 1999.
- SANTOS, F.A.P. et al. Processamento de grão de milho e sua substituição parcial por polpa de citros peletizada sobre o desempenho, digestibilidade de nutrientes e parâmetros sanguíneos em vacas leiteiras. *Acta Sci. Anim. Sci.*, Maringá, v. 23, n. 4, p. 923-931, 2001.
- SAS Institute. *STAT: user's guide*, version 6. Cary, 1990.
- SCOTT, T.A. et al. Effects of roasting, extrusion, and particle size on the feeding value of soybeans for dairy cows. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 74, p. 2555-2562, 1991.
- SHABI, Z. et al. Effect of the synchronization of the degradation of dietary crude protein and organic matter and feeding frequency on ruminal fermentation and flow of digesta in the abomasum of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 81, p. 1991-2000, 1998.
- SLOAN, B.K. et al. Fine-tuning sub-model may optimize production. *Feedstuffs*, Minnetonka, v. 71, p. 11-15, 1999.
- THEURER, C.B. et al. Invited review: Summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 82, p. 1950-1959, 1999.
- VAN SOEST, P.J. et al. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 74, n. 10, p. 3583-3591, 1991.
- VOSS, V.L. et al. Feeding lactating dairy cows proteins resistant to ruminal degradation. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 71, p. 2428-2439, 1988.
- YANG, W.Z. et al. Effects of barley grain processing on extent of digestion and milk production of lactating cows. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 83, p. 554-568, 2000.

Received on April 04, 2006.

Accepted on May 04, 2007.