



LUCIENE LIGNANI BITENCOURT

**SUBSTITUIÇÃO DE MILHO MOÍDO POR
MILHO REIDRATADO E ENSILADO OU
MELAÇO DE SOJA EM VACAS LEITEIRAS**

LAVRAS - MG

2012

LUCIENE LIGNANI BITENCOURT

**SUBSTITUIÇÃO DE MILHO MOÍDO POR MILHO REIDRATADO E
ENSILADO OU MELAÇO DE SOJA EM VACAS LEITEIRAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Nutrição e Produção de Ruminantes, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Marcos Neves Pereira

Coorientadores

Dra. Nadja Gomes Alves

Dra. Suely de Fátima Costa

LAVRAS - MG

2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Bitencourt, Luciene Lignani.

Substituição de milho moído por milho reidratado e ensilado ou
melaço de soja em vacas leiteiras / Luciene Lignani Bitencourt. –
Lavras : UFLA, 2012.

130 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Marcos Neves Pereira.

Bibliografia.

1. Extrusão. 2. Digestibilidade. 3. Eficiência. 4. Produção de
leite. 5. Subproduto. 6. Açúcar. 7. Grão duro. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 636.2142

LUCIENE LIGNANI BITENCOURT

**SUBSTITUIÇÃO DE MILHO MOÍDO POR MILHO REIDRATADO E
ENSILADO OU MELAÇO DE SOJA EM VACAS LEITEIRAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Nutrição e Produção de Ruminantes, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 23 de fevereiro de 2012.

Dr. Gustavo Augusto Andrade	IF Sul de Minas/Machado
Dra. Priscila Vieira e Rosa	UFLA
Dra. Renata Apocalypse Nogueira Pereira	EPAMIG/URESMA
Dra. Suely de Fátima Costa	UFLA

Dr. Marcos Neves Pereira
Orientador

LAVRAS - MG
2012

*Aos meus pais, José e Lúcia,
Ao meu irmão, Flávio, e
Ao meu sobrinho Mateus,*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me proporcionar a chance de atingir mais um objetivo nesta vida.

Aos meus pais, José e Lúcia, e ao meu irmão Flávio, por participarem comigo nesta preciosa caminhada, incentivando-me a prosseguir independente dos obstáculos.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento de parte deste trabalho.

Ao professor Marcos Neves Pereira, por me orientar durante todos esses anos, pela confiança em mim depositada e por impactar de forma positiva meu crescimento profissional com seus ensinamentos.

Aos professores Gustavo Augusto Andrade, Priscila Vieira e Rosa, Renata Apocalypse Nogueira Pereira e Suely de Fátima Costa, pela participação na banca examinadora e valiosas sugestões.

À professora Nadja Gomes Alves, pela coorientação, amizade, ensinamentos e oportunidades a mim oferecidas.

Aos integrantes do Grupo do Leite, em especial Vítor Silveira, Gil Pessoa Júnior, Naina Magalhães Lopes, Gustavo Salvati, Rafael Caputo, Sancho Síecola Júnior e Ronaldo Francisco Lima, pela imensa ajuda na condução do experimento e análises laboratoriais, sem a qual seria impossível a apresentação deste trabalho.

Aos amigos, Leandra Queiroz de Melo, Ozana de Fátima Zacaroni, José Ricardo Martins Silva, Fabiana Lana de Araújo, Gilson Sebastião Dias Júnior,

Fernanda Lopes e Junio Fabiano dos Santos, pela amizade, agradável convivência, colaboração durante o desenvolvimento deste trabalho e enriquecimento da minha formação pelas suas experiências.

Ao Instituto Federal do Espírito Santo, campus Itapina, em especial à Coordenadora Geral de Ensino Oscilene Simões Marques e ao professor Frederico de Castro Figueiredo, pela cooperação quando precisei me ausentar para conclusão deste trabalho.

Aos animais experimentais, pelos sacrifícios que lhe foram impostos sem, muitas vezes, compreender seu medo e sua dor.

A todos que, em algum momento e de alguma forma, torceram por mim e contribuíram com esta empreitada.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

Estratégias de manipulação do perfil de carboidratos dietéticos foram estudadas *in vivo*. No primeiro trabalho avaliou-se o efeito da reidratação e ensilagem do milho maduro sobre o desempenho e a digestibilidade de nutrientes em vacas leiteiras. Os tratamentos foram: milho com textura dura do endosperma finamente moído e reidratado a 43,7% de umidade na silagem (MHE), milho moído (MM) ou milho extrusado (MEx). Quinze vacas Holandês receberam os tratamentos em cinco quadrados latinos 3x3, conduzidos simultaneamente, com períodos de 21 dias e mensurações realizadas na terceira semana. O MEx deprimiu as secreções diárias de energia e gordura no leite e o consumo ($P<0,05$) e tendeu a aumentar o teor de proteína no leite ($P=0,09$). Houve tendência de aumento na digestibilidade da matéria orgânica ($P=0,10$) e de queda no teor de N-ureico no leite com MHE ($P<0,06$). Tanto MEx quanto MHE resultaram em pequeno aumento na relação entre a produção de leite e o consumo de matéria seca ($P<0,15$). O tempo diário de ruminação mais ingestão foi reduzido com MHE e MEx ($P<0,06$). O MEx e MHE reduziram o consumo por refeição ($P<0,02$). No segundo trabalho avaliou-se a substituição de milho reidratado e ensilado ou casca de soja por melação de soja em dois experimentos. No primeiro experimento, 24 vacas Holandês, blocadas por ordem de parto e produção de leite, foram alocadas a um de três tratamentos por 28 dias, após um período de padronização de sete dias. Os dados obtidos no final da padronização foram utilizados como covariável no modelo estatístico. A resposta aos tratamentos foi mensurada na quarta semana. Os tratamentos foram: Dieta controle com 21,5% de milho reidratado e ensilado, 4,5 % de melação de soja na MS em substituição ao milho reidratado e ensilado (M4,5) ou 9% de melação de soja (M9). A produção diária de proteína do leite foi 0,903 kg no controle, 0,871 kg para M4,5 e 0,772 kg para M9 ($P=0,01$ para o contraste linear de teor de melação) e a produção de leite foi 30,2, 27,7 e 26,9 kg, respectivamente ($P=0,04$ para contraste linear). O pH ruminal foi 6,2 no controle, 6,2 no M4,5 e 6,7 no M9 ($P=0,05$ para contraste linear). No segundo experimento foram utilizadas 24 vacas em delineamento idêntico ao do primeiro experimento. Os tratamentos foram: Controle com 11,7% de milho reidratado e ensilado e 11,6% de casca de soja ou 3,3% de melação de soja em substituição à casca de soja. As produções diárias de leite foram 27,6 kg no controle e 27,8 kg no melação ($P=0,91$). Houve tendência de aumento na excreção urinária de alantoína com a adição de melação de soja na dieta ($P<0,08$). Baseado na resposta em desempenho animal, a fermentabilidade do amido no grão reidratado e ensilado parece ser intermediária à dos milhos finamente moído e extrusado. A substituição parcial de casca de soja por melação de soja foi uma estratégia mais promissora que a substituição de amido de milho por melação de soja.

Palavras-chave: Extrusão. Digestibilidade. Produção de leite. Eficiência. Subproduto. Açúcar. Grão duro.

ABSTRACT

Strategies for manipulating the profile of dietary carbohydrates were studied *in vivo*. In the first study, the effect of rehydration and ensiling of mature corn on performance and nutrient digestibility of dairy cows was evaluated. Treatments were: corn flint endosperm type finely ground and rehydrated to 43.7% moisture at ensiling (REC), ground corn (GC) or extruded corn (ExC). Fifteen Holstein received the treatments in five 3x3 Latin Squares, conducted simultaneously, with 21-day periods and measurements performed on the third week. The ExC depressed daily secretion of milk energy and fat and intake ($P<0.05$) and tended to increase milk protein content ($P=0.09$). There was a tendency for increased organic matter digestibility ($P=0.10$) and decreased milk N-urea concentration with REC ($P=0.06$). Both ExC and REC resulted in a slight increase in the relationship between milk yield and dry matter intake ($P<0.15$). Daily time chewing was reduced with REC and ExC ($P<0.06$). The REC and ExC reduced intake per meal ($P<0.02$). The second study evaluated the replacement of rehydrated and ensiled corn or soy hulls by soy molasses in two trials. In trial one, 24 Holstein, blocked based on parity and yield, were assigned to one of three treatments for 28 days, following a standardization 7-day period. Data obtained at the end of the standardization was used as covariate in the statistical model. Treatments response was performed on the fourth week. Treatments were: control with 21.5% of rehydrated and ensiling corn, 4.5% of soy molasses replacing rehydrated and ensiled corn (SM4.5) or 9.5 SM (SM9.5). Daily milk protein yield was 0.903 for control, 0.871 for SM4.5 and 0.722 for SM9.5 ($P=0.04$ linear contrast content of molasses) and milk yield was 30.2, 27.2 and 26.9 kg, respectively ($P=0.01$ linear contrast). Ruminant pH was 6.2 for control, 6.2 for SM4.5 and 6.7 for SM9.5 ($P=0.05$ linear contrast). Trial two used 24 cows in an identical design to the first one. Treatments were: control with 11.7% of rehydrated and ensiling corn and 11.6% of soy hulls or 3.3% of soy molasses as a replacement for soy hulls. Daily milk yield was 27.2 kg for control and 27.8 kg for molasses ($P=0.91$). There was a tendency for increased allantoin excretion in urine with the addition of molasses in diet ($P<0.08$). Based on animal performance, the fermentability of starch in rehydrated and ensiled corn grain seems to be intermediate to that of the finely ground and extruded corn. The replacement of soy hulls by soy molasses was a more promising strategy than the replacement of corn starch by soy molasses.

Keywords: Extrusion. Digestibility. Milk yield. Efficiency. By-product. Sugar. Flint endosperm.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 Introdução geral	11
1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Milho na alimentação de ruminantes	14
2.1.1	Morfologia do grão de milho	14
2.1.2	Textura do grão de milho	15
2.1.3	Vitreosidade e degradação ruminal do amido	18
2.1.4	Processamento do grão de milho	21
2.1.4.1	Extrusão	24
2.1.4.2	Reidratação e ensilagem	26
2.1.5	Impacto do processamento sobre a digestão do amido	28
2.1.6	Efeito do processamento sobre o metabolismo ruminal de nitrogênio e a digestão da fibra	33
2.1.7	Efeito do processamento sobre o consumo de matéria seca	36
2.1.8	Respostas produtivas ao processamento do milho	41
2.2	Açúcares na alimentação de ruminantes	43
2.2.1	Definição	43
2.2.2	Melaço de soja: processo de obtenção e caracterização	43
2.2.3	Papel dos açúcares na fermentação ruminal	44
2.2.3.1	Perfil de ácidos graxos voláteis e pH ruminal	44
2.2.3.2	Síntese de proteína microbiana	49
2.2.4	Suplementação com açúcares e digestibilidade dos nutrientes	53
2.2.5	Efeito da suplementação com açúcares sobre o desempenho animal	56
	REFERÊNCIAS	60
	CAPÍTULO 2 Desempenho de vacas leiteiras alimentadas com milho maduro moído, extrusado ou reidratado e ensilado	74
1	INTRODUÇÃO	76
2	MATERIAL E MÉTODOS	79
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
4	CONCLUSÃO	95
	REFERÊNCIAS	96
	CAPÍTULO 3 Melaço de soja em substituição ao milho reidratado e ensilado ou à casca de soja na dieta de vacas leiteiras	102
1	INTRODUÇÃO	105
2	MATERIAL E MÉTODOS	108
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	116
4	CONCLUSÃO	126
	REFERÊNCIAS	127

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

Os carboidratos fibrosos e não fibrosos nos alimentos constituem aproximadamente 70% da matéria seca ingerida por vacas leiteiras. O perfil de carboidratos da dieta influencia a taxa de digestão e os produtos da fermentação ruminal, determinando a utilização de nutrientes e o desempenho animal.

Grãos de cereais, ricos em amido, como o milho, são o principal concentrado energético utilizado para vacas leiteiras. Entretanto, a opção da indústria nacional de híbridos de milho foi por grãos de textura dura, com alta vitreosidade do endosperma. Existem evidências de que quanto maior a vitreosidade do grão, menor a digestibilidade do amido no rúmen (CORRÊA et al., 2002; MCALLISTER et al., 1990; NGONYAMO-MAJEE et al., 2008; PHILIPPEAU; MONREDON; MICHALET-DOREAU, 1999; PHILIPPEAU; MICHALET-DOREAU, 1997; TAYLOR; ALLEN, 2005).

Além do tipo do híbrido, outros fatores podem determinar a digestibilidade do amido em grãos, como a composição da dieta e o método de processamento (OWENS; ZINN; KIM, 1986). A resposta do grão ao processamento parece ser inversamente proporcional à sua digestibilidade na forma original. Assim, grãos de milho duro, típicos do Brasil, podem responder mais ao processamento que grãos de endosperma farináceo (ANDRADE FILHO et al., 2010a; SODERLUND; OWENS, 2006).

Uma estratégia capaz de atuar positivamente sobre a degradabilidade ruminal do amido em milho de alta vitreosidade seria a colheita em estágio de maturação ao redor de linha negra e a indução de proteólise das prolaminas envolvendo os grânulos de amido por enzimas microbianas na silagem (BARON; STEVENSON; BUCHANAN-SMITH, 1986; HOFFMAN et al.,

2011). No entanto, a colheita neste estágio de maturação, quando o grão apresenta teor de umidade entre 35 e 40%, pode ser problemática. O pequeno intervalo para colheita, normalmente realizada no período chuvoso do ano, aumenta a chance de insucesso no processo, em virtude da maturação excessiva e à conseqüente perda de umidade dos grãos. Assim, uma alternativa para reduzir o risco na ensilagem de grãos úmidos de milho seria a prática da hidratação e ensilagem do grão colhido em estágio maduro de maturação.

A reidratação ou reconstituição do grão de milho consiste em devolver ao grão maduro a umidade adequada para que o mesmo seja fermentado na ensilagem (DEFOOR; BROWN; OWENS, 2006; GOODRICH; BYERS; MEISKE, 1975; TONROY; PERRY; BEESON, 1974). O uso desta técnica pode beneficiar produtores que não possuem equipamento para colheita do milho no ponto de maturação em torno da linha negra e aqueles que não possuem área suficiente para plantar milho para a colheita de grãos, pois podem comprar o milho grão e ensilá-lo na própria fazenda. Além disso, a reconstituição pode ser usada em casos de atraso na colheita, situação em que o teor de matéria seca ultrapassa o ótimo para o processo de ensilagem do grão úmido. A ensilagem do grão maduro moído e reidratado também propicia o armazenamento de milho na fazenda, sem a ocorrência de perdas e sem o custo de transporte e armazenagem em silos graneleiros, além de eliminar a necessidade de moagem contínua de grãos maduros para a inclusão em dietas.

Alternativamente à ensilagem de grãos maduros e reidratados na fazenda, a extrusão, um processamento industrial capaz de aumentar a digestibilidade do amido no rúmen e no trato digestivo total (SHABI et al., 1999), é uma opção para aumentar a digestão de grãos duros. Entretanto, o custo industrial desse processo requer a quantificação da resposta potencial em desempenho animal, necessária para dimensionar a resposta financeira ao uso do insumo.

O melaço de soja é um subproduto da produção de farelo de soja com proteína concentrada, obtido por extração de carboidratos não fibrosos do farelo de soja desengordurado por lavagem com água e álcool (BUSATO JÚNIOR, 2010). O uso do melaço de soja na alimentação animal é uma forma de utilização eficiente deste resíduo industrial (DROUILLARD et al., 1999). Os principais carboidratos não fibrosos no melaço de soja são glicose, frutose, sacarose, rafinose e estaquiose (CHAJUSS, 2004). Entretanto, açúcares são mais rapidamente fermentáveis no rúmen do que amido e fibra (SNIFFEN et al., 1992). A adição de sacarose à dieta pode afetar a ingestão de matéria seca, a produção de leite e de gordura (BRODERICK et al., 2008; BRODERICK; RADLOFF, 2004) e a síntese de proteína microbiana (KHALILI; HUHTANEN, 1991). A substituição de milho ou de subprodutos fibrosos por melaço de soja é uma estratégia capaz de reduzir o custo alimentar. Contudo, apesar de atrativa financeiramente, essa substituição requer avaliação do seu efeito sobre a digestão e o desempenho de vacas leiteiras.

Estratégias de manipulação do perfil dos carboidratos dietéticos foram avaliadas *in vivo*. Objetivou-se no primeiro experimento avaliar a resposta de vacas leiteiras em desempenho e digestibilidade à substituição de milho com textura dura do endosperma moído por milho reidratado e ensilado ou por milho extrusado. No segundo experimento avaliou-se a substituição de milho ou casca de soja por melaço de soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Milho na alimentação de ruminantes

2.1.1 Morfologia do grão de milho

Compreender a estrutura do grão de milho é pertinente já que os diferentes híbridos diferem em suas características físico-químicas, que pode influenciar no seu valor nutritivo (SODERLUN; OWENS, 2006). O grão de milho é composto por três partes principais: pericarpo, germe e endosperma. A camada externa ou pericarpo representa cerca de 5% do peso do grão, sendo pobre em amido e proteína, porém rica em fibra. O embrião ou germe representa 11% do peso do grão e é rico em lipídeos e proteína, mas pobre em amido. O endosperma representa mais de 80% do peso do grão e é a estrutura morfológica que contém o amido. Tipicamente o endosperma é constituído de 86% de amido, 10% de proteína e pequenas quantidades de cinzas e gordura (FORNASIERI FILHO, 1992).

O amido é formado por amilose e amilopectina. A amilose é um polímero linear de unidades de D-glicose, unidas por ligações tipo α -1,4, enquanto a amilopectina é um polímero ramificado, formado por uma cadeia linear de resíduos de glicose (α -1,4) com pontos de ramificação α -1,6 a cada 20 a 25 unidades (FRENCH, 1973). Dentro do endosperma, o amido está organizado na forma de grânulos nos quais amilose e amilopectina estão mantidas unidas por pontes de hidrogênio (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986). A proporção de amilose e amilopectina varia entre os cereais (THEURER, 1986). Os grânulos de amido são pseudocristais organizados em regiões amorfas (não organizada) e em regiões de alta e baixa cristalinidade (organizadas) (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986). A interação entre os grânulos de amido,

além de manter a estrutura granular, torna o amido insolúvel em água fria (FRENCH, 1973).

A fração proteica do endosperma é composta por proteínas de reserva divididas em frações zeínas (prolaminas) e não-zeínas (albumina, globulinas e glutelinas) (GIBBON; LARKINS, 2005), as primeiras de importância na nutrição de ruminantes. Prolaminas são proteínas associadas ao amido em todos os cereais, tendo nomes específicos como zeína no milho, gliadina no trigo e cafrina no sorgo. As zeínas do milho representam de 30 a 60% da proteína presente no grão (HAMAKER et al., 1995) e compreendem quatro grupos estruturalmente distintos: alfa, beta, gama e delta-zeínas (COLEMAN et al., 1996). As prolaminas são solúveis em álcool e sintetizadas no retículo endoplasmático rugoso de onde são transportadas para o citoplasma celular, passando a fazer parte dos corpos proteicos e localizando-se no exterior dos grânulos de amido (MU-FORSTER; WASSERMAN, 1998).

2.1.2 Textura do grão de milho

Com base na distribuição dos grânulos de amido e da matriz proteica, o endosperma é classificado em dois tipos: endosperma farináceo e endosperma vítreo. A periferia do grão normalmente contém o endosperma vítreo, de alta dureza. Grãos de milho usados na alimentação animal contêm proporções variadas dos dois tipos de endosperma. Milho farináceo, opaco e grãos imaturos contêm menos prolamina que milho duro e grãos maduros (DAVIDE, 2009). Teor de prolamina como porcentagem do amido acima de 10% é considerado extremamente alto, enquanto que teor abaixo de 2% é considerado muito baixo (HOFFMAN; SHAVER, 2010).

A proporção de endosperma vítreo e de farináceo, em relação ao endosperma total, chamada vitreosidade, é o principal fator de definição da

textura do grão (SHULL et al., 1990). A vitreosidade está relacionada com a composição química do endosperma (PAIVA et al., 1991) e as principais diferenças químicas relacionam-se à composição proteica (PAIVA et al., 1991; PHILIPPEAU; LANDRY; MICHALET-DOREAU, 2000). Embora os híbridos de milho variem minimamente na quantidade de amido, eles diferem consideravelmente em relação à sua vitreosidade (SZASZ et al., 2007).

No endosperma, os grânulos de amido estão envoltos em uma matriz proteica (DUVICK, 1961; WOLF et al., 1952), cuja densidade varia com a localização dos grânulos no grão. A matriz é esparsa e fragmentada e os grânulos de amido são esferas dispersas no endosperma farináceo, enquanto na região vítrea é densa e bem desenvolvida e os grânulos de amido são helicoidais e adensados (DAVIDE, 2009; PRATT et al., 1995).

A estrutura física do endosperma depende do tipo de interação entre grânulos de amido e corpos proteicos, tendo as proteínas de reserva um papel importante na textura do grão maduro (DUVICK, 1961). Os corpos proteicos, constituídos principalmente por prolaminas, são responsáveis pela ligação entre o amido e a matriz do endosperma, por sua vez constituída principalmente por glutelinas. Os corpos proteicos são maiores e mais numerosos no endosperma vítreo que no farináceo (WOLF et al., 1952) e possuem maior conteúdo de alfa- e gama-zeínas (DOMBRINK-KURTZMAN; BIETZ, 1993; PAIVA et al., 1991). Philippeau, Landry e Michalet-Doreau (2000) reportaram uma correlação positiva entre a quantidade de zeínas (prolaminas) e a vitreosidade do grão determinada por dissecação manual do endosperma.

Visando conhecer melhor os mecanismos envolvidos com a textura do grão, Pereira et al. (2008) fizeram uma descrição estrutural e bioquímica de cultivares contrastantes para essa característica e qualidade proteica. Foram utilizadas cultivares que apresentavam endosperma duro e semiduro de baixo e alto valor proteico, respectivamente, e cultivares de endosperma farináceo com

baixo e alto valor proteico. Avaliações foram realizadas nos grãos de milho em desenvolvimento e nos grãos maduros. Os resultados indicaram que a maior dureza do grão de milho dos cultivares analisados pode estar associada ao alto teor de proteína do grão, alta síntese das zeínas de 27 kDa e à presença de corpos proteicos, permitindo um melhor empacotamento dos componentes do endosperma.

O endosperma exerce grande importância na determinação do valor econômico e nutricional do milho e, por esse motivo, é comum a classificação do milho em função das características desse componente do grão. Assim, os grãos de milho são classificados quanto à textura em amiláceo ou farináceo (*floury*), dentado (*dent*), duro ou cristalino (*flint*), pipoca (*popcorn*), doce (*sweet*) e ceroso (*waxy*) (WATSON, 1987).

Nos Estados Unidos, o milho cultivado é predominantemente farináceo (COORS; CARTER; HUNTER, 1994), enquanto o milho cultivado no Brasil é predominantemente duro em função das práticas entre a colheita e o armazenamento dos grãos (PEREIRA et al., 2004). O milho dentado possui endosperma duro nos lados e farináceo no centro do grão. O amido é mole e poroso e apresenta baixa densidade. O milho duro apresenta endosperma duro ou cristalino que ocupa quase todo seu volume, sendo a proporção farinácea reduzida.

A textura dos grãos tem sido avaliada pela indústria e empresas produtoras de sementes nacionais, considerando apenas o aspecto visual dos grãos. Assim, os grãos são classificados por meio do escore de indentação, isto é, a ausência de indentação (extremidade superior lisa e arredondada) caracteriza grão duro, enquanto grãos com indentação profunda (extremidade superior enrugada) são considerados dentados. Entretanto, essa avaliação visual tem sido questionada por observar apenas o pericarpo, não levando em conta que a dureza

do grão depende, também, da composição e da estrutura do endosperma (DAVIDE, 2009).

Nesse sentido, Davide et al. (2011) avaliaram progênies oriundas do cruzamento entre a variedade Cristal de grãos duros e a variedade Cunha de grãos dentados, previamente selecionados para a dureza dos grãos com relação ao escore de identação, por meio de uma escala visual de notas variando de 1 (duro) a 5 (mole). Os grãos foram cortados ao meio, pesados cinco gramas, colocados em saquinhos de tecido tipo “failet” e incubados no rúmen, por 24 horas, em três vacas portadoras de cânula ruminal. Foi observado que não houve relação entre escore de identação e digestibilidade *in situ* da matéria seca, pois houve presença de progênie com nota 1 na classe de maior digestibilidade e com nota 5, em menores valores de digestibilidade, indicando que a utilização do método de escore de identação, para determinar a textura do grão, não é eficiente. Isso porque o que se observa é o aspecto do pericarpo formado na fertilização, que corresponde à parede do ovário, nem sempre refletindo a verdadeira constituição do endosperma que é o responsável pela maior ou menor degradabilidade do grão.

2.1.3 Vitreosidade e degradação ruminal do amido

A estrutura e a composição do amido e sua interação física com a proteína do grão podem alterar sua digestibilidade (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986). Assim, a textura do endosperma é capaz de influenciar a degradação ruminal do amido do milho. Na porção farinácea os grânulos de amido estão mais acessíveis ao ataque enzimático, enquanto no endosperma vítreo a interação com a proteína pode limitar a susceptibilidade do amido a ação da amilase, reduzindo a sua digestibilidade (MCALLISTER et al., 1990).

Diversos trabalhos foram conduzidos com o intuito de avaliar a relação entre a degradabilidade ruminal *in situ* do amido e da matéria seca do milho e a vitreosidade do endosperma (CORREA et al., 2002; NGONYAMO-MAJEE et al., 2008; PEREIRA et al., 2004; PHILIPPEAU; MICHALET-DOUREAU, 1997; PHILIPPEAU; MONREDON; MICHALET-DOUREAU, 1999). Em todos os estudos observou-se uma correlação negativa entre a vitreosidade do endosperma e a degradabilidade do amido e da matéria seca do milho, demonstrando que, à medida que a vitreosidade aumenta, a degradabilidade diminui.

Correa et al. (2002) determinaram a relação entre vitreosidade do milho e degradação ruminal *in situ* do amido de cultivares de milho brasileiras e norte-americanas. A vitreosidade média dos cinco híbridos brasileiros no estágio maduro foi maior que a dos 14 híbridos americanos (73,1 e 48,2%, respectivamente). A vitreosidade e a densidade dos grãos foram negativamente correlacionadas à disponibilidade ruminal do amido (-0,93 e -0,87, respectivamente), podendo ser usadas como parâmetros para selecionar híbridos de milho com alta disponibilidade ruminal do amido. Neste estudo, o aumento da vitreosidade e da densidade dos híbridos, com o avançar da maturidade, foi acompanhado por redução na disponibilidade ruminal do amido.

Ngonyamo-Majee et al. (2008), também, avaliaram a degradabilidade *in situ* da matéria seca de 31 híbridos de milho diferindo em vitreosidade. Os grãos foram moídos em peneira com crivos de seis mm e incubados por 14 horas em novilhos canulados. Foi observada relação negativa (-0,73) entre a vitreosidade do endosperma e a degradabilidade *in situ* da matéria seca.

Pereira et al. (2004), ao avaliarem a degradabilidade ruminal de dois híbridos de milho dentados e dois duros, colhidos nos estádios dentado inicial, metade da linha do leite e linha negra, reportaram que a degradação ruminal da matéria seca em 24 horas foi 63,3% nos grãos dentados e 52,4% nos duros.

Conseqüentemente, o resíduo, após 72 horas de incubação, foi menor nos híbridos dentados (7,6%) do que nos duros (15,6%). A degradabilidade ruminal dos híbridos foi similar nos estádios dentado inicial e metade da linha do leite. Contudo, redução acentuada na degradabilidade ruminal ocorreu quando o híbrido passou do estágio de metade da linha do leite para o estágio de linha preta. O efeito negativo da maturidade sobre a degradabilidade ruminal foi mais acentuado nos híbridos duros, de maior vitreosidade.

Resultados semelhantes foram observados *in vivo* (ALLEN; LONGUSKI; YING, 2008; LOPES et al., 2009; TAYLOR; ALLEN, 2005). O efeito do tipo do endosperma sobre a digestão do amido foi avaliado em vacas leiteiras canuladas no rúmen e duodeno por Taylor e Allen (2005). A vitreosidade (% do endosperma) foi 3,0% para o milho farináceo e 67,2% para o milho vítreo. O tamanho médio de partícula foi 1377 e 1594 μm para os grãos farináceo e vítreo, respectivamente. A digestibilidade ruminal aparente do amido aumentou de 35,0 para 57,0% quando milho de endosperma vítreo foi substituído pelo grão com endosperma farináceo. O endosperma farináceo também aumentou a digestibilidade ruminal do amido (62,1 *versus* 46,3%). A digestibilidade pós-ruminal do amido (% do ingerido) foi 56,8% para o endosperma vítreo e 39,3% no farináceo. No entanto, como porcentagem do fluxo de amido para o duodeno, a digestibilidade foi menor para grão vítreo que para o farináceo (83,6 *versus* 90,8%), indicando que grãos de milho com endosperma vítreo são menos digestíveis tanto no rúmen quanto no intestino. Como a digestibilidade aparente no trato digestivo total foi apenas 5% menor no híbrido de maior vitreosidade (96,3 *versus* 91,7%), os autores sugerem que houve digestão compensatória nos intestinos.

Allen, Longuski e Ying (2008) avaliaram os efeitos da textura do endosperma (vítreo *versus* farináceo) e do tamanho de partícula na moagem (média ou fina) sobre a digestibilidade em vacas leiteiras com cânulas ruminal e

duodenal. A vitreosidade do endosperma foi 25 e 66% para o grão farináceo e vítreo, respectivamente. A fração do milho moído, passando pela peneira de 1,18 mm, foi 43% para moagem média do milho vítreo, 42% para moagem média do milho farináceo, 57% para moagem fina do milho vítreo e 62% para moagem fina do milho farináceo. A digestibilidade ruminal foi 53,7% no tratamento com endosperma farináceo e 24,6% no tratamento com endosperma vítreo e a digestibilidade do amido no trato digestivo total foi 92,2 e 85,1%, respectivamente. Similarmente ao encontrado por Taylor e Allen (2005), a digestibilidade pós-ruminal do amido, em % do amido ingerido, foi maior com endosperma vítreo (60,7 *versus* 38,4%).

2.1.4 Processamento do grão de milho

Os processamentos usados nos grãos ricos em amido visam principalmente disponibilizar o amido presente no endosperma à degradação microbiana (HALE, 1973). Alterações importantes que ocorrem durante os diferentes tipos de processamento e que parecem ser essencial para que ocorra maior degradação ruminal do amido, são a exposição do endosperma (MCALLISTER et al., 1990) e/ou o rompimento da matriz proteica que circunda o grânulo de amido (THEURER, 1986). Além disso, pode ocorrer ainda desorganização desses grânulos (THEURER et al., 1999).

Os principais métodos utilizados no processamento do grão de milho incluem tratamentos físicos ou físico-químicos. Nos tratamentos físicos, o objetivo primário é a redução no tamanho de partícula (moagem) pela força do impacto, compressão, corte ou atrito, resultando em aumento da superfície de contato, sem que haja alterações das propriedades químicas do material (MCKINNEY, 2006). Embora na moagem ocorra a quebra do pericarpo na parte externa do grão e exposição do endosperma, os grânulos de amido ainda

permanecem na matriz proteica (MCALLISTER et al., 1990). Os tratamentos físico-químicos envolvem a aplicação de calor e/ou vapor promovendo a gelatinização do amido (floculação, extrusão, micronização) (DEFOOR; BROWN; OWENS, 2006; NOCEK; TAMMINGA, 1991). Na gelatinização, os grânulos de amido absorvem água, incham e formam um gel, expandindo-se e rompendo a matriz proteica ao seu redor (KOTARSKI; WANISHA; THURN, 1992).

Outra forma de processamento do grão de milho envolve sua conversação por meio da ensilagem durante a qual ocorre degradação das prolaminas por ação das proteases microbianas (BARON; STEVENSON; BUCHANAN-SMITH, 1986; HOFFMAN et al., 2011). Segundo Theurer (1986), a união de dois ou mais métodos de processamento, redução do tamanho de partícula e aplicação de vapor, por exemplo, melhora ainda mais a eficiência da digestão dos alimentos processados pelos ruminantes.

Geralmente, a magnitude da alteração promovida pelo processamento é inversamente proporcional à digestibilidade do grão não processado. Assim, o grão que mais responde ao processamento é o de sorgo, seguido pelo de milho e depois pelos outros cereais como a aveia e, por último, a cevada que tem menor resposta por já ter a degradação alta na forma não processada (THEURER, 1986).

Estudos indicam que, dentro de textura de grãos, grãos de milho duro, típicos do Brasil, podem responder mais ao processamento que grãos dentados. Soderlund e Owens (2006), ao avaliarem amostras de 10 diferentes híbridos comerciais fornecidos moído, floculado ou na forma de silagem de grão úmido a novilhos, reportaram que a digestibilidade ruminal da matéria seca da dieta foi significativamente alterada pelo método de processamento com uma significativa interação entre híbrido e método de processamento. A digestibilidade da dieta foi maior para grão úmido do que para milho floculado,

e maior ainda para milho floculado comparativamente ao moído. Entretanto, a vantagem do processamento diferiu entre híbridos. Híbridos com textura macia tenderam a apresentar maior digestibilidade quando fornecidos moídos, enquanto em comparação com híbridos macios, os híbridos duros foram mais digestíveis quando floculados.

Szasz et al. (2007), usando silagem de milho úmido preparada a partir de híbridos dentados e duros, reportaram maior digestibilidade do amido tanto no rúmen quanto no trato digestivo total na silagem de grão úmido feita a partir de híbridos de milho duro. Ao contrário do observado para o milho seco moído, foi notado que o grão vítreo, quando moído úmido para posterior ensilagem, teve menor tamanho de partícula e superfície de contato calculada 15,7% maior que o grão farináceo. Segundo os autores, o milho farináceo, quando úmido, foi mais flexível e, por isso, foi menos danificado durante a moagem. Já o milho vítreo, quando úmido, foi mais quebradiço, resultando em partículas menores.

Andrade Filho et al. (2010a), ao avaliarem os efeitos da reconstituição e ensilagem na degradabilidade ruminal efetiva da matéria seca de grãos de milho de texturas diferentes, também, reportaram interação entre o tipo de híbrido e a ensilagem, mostrando que a ensilagem favoreceu mais a degradabilidade ruminal dos grãos *flint* (20,3 pontos percentuais) comparados com os grãos dentados (13,9 pontos percentuais).

Vale, ainda, ressaltar que grãos de milho colhidos no estágio maduro de maturação, normalmente utilizados para formular concentrados para vacas leiteiras tanto na fazenda quanto industrialmente, encontram-se no ponto de maturidade fisiológica de máxima vitreosidade e mínima digestibilidade (PEREIRA et al., 2004), fazendo com que medidas capazes de induzir aumento na degradabilidade ruminal do amido sejam ainda mais necessárias.

2.1.4.1 Extrusão

A extrusão é um processo termomecânico e contínuo de cozimento que mistura alta temperatura e curto espaço de tempo, sendo por isso denominado HTST (*high temperature short time*). Nesse processo, os grãos são forçados dentro de um cilindro chamado de matriz ou molde com uma pequena abertura final. Ao passar pelo orifício do cilindro, a diminuição súbita da pressão faz com que o grão se expanda e hidrate, causando a gelatinização do amido, a desnaturação de proteínas e a ruptura de pontes de hidrogênio (LAI; KOKINI, 1991).

O extrusor de alimentos tem sido descrito como um reator de fluxo contínuo que trabalha a altas temperaturas e pressões em combinação com a força de cisalhamento, capaz do processamento de biopolímeros e mistura de ingredientes (CHEN et al., 1991). É constituído de um cilindro encamisado, que permite a circulação de vapor de aquecimento ou água de resfriamento, e uma rosca no centro que impulsiona a mistura para frente. Uma vez no extrusor, os ingredientes são impulsionados por atrito, passando por câmaras de retenção, permanecendo em média 1 a 2 minutos e sofrem a ação de vapor, temperatura (130-180°C) e pressão (34 a 37 atm) responsáveis pela cocção final da mistura e pela gelatinização do amido. Além desses fatores químicos, há ainda a ação física do atrito no tubo de rosca sem fim, que auxilia na homogeneização da mistura, propiciando uma cocção uniforme de toda a massa (HARPER, 1979).

O parafuso do extrusor, também denominado rosca extrusora, possui três seções ou zonas características: de alimentação, de compressão e de cisalhamento ou cocção. O material a ser extrusado entra primeiro na seção de alimentação. Nesta fase ocorre a mistura do material alimentado, que é comprimido para preencher os espaços que circundam o parafuso e conduzido uniformemente, não havendo cozimento. Na zona de compressão e pressão, as

taxas de cisalhamento e a temperatura aumentam rapidamente e, no final, o material está com 100°C ou mais. Na última seção, as temperaturas geralmente continuam a aumentar. O parafuso comprime e mistura adicionalmente o produto, para assegurar que ele deixará a matriz homogeneamente. A rápida saída para temperatura ambiente e a queda da pressão causam evaporação da umidade do extrusado, expandindo o produto. A quantidade de água perdida, durante o processo varia, dependendo primariamente da temperatura da última seção e da geometria da matriz. Em geral, aproximadamente 7 a 8% de umidade são perdidas (FAUBION; HOSENEY; SEIB, 1982).

Existem basicamente dois tipos de extrusores, os de rosca simples (*single screw*) e os de rosca dupla (*twin screw*). Ambos são utilizados para produção de alimentos para consumo animal e humano. Os extrusores de rosca simples são utilizados em formulações ricas em carboidratos e pobres em gordura, com alta flexibilidade de expansão, apresentando boa estabilidade de processo. Já os extrusores de roscas duplas foram desenvolvidos para alimentos cujas formulações apresentem altos níveis de proteína e gordura, baixos níveis de carboidratos e de difícil processamento (KOKINI, 1993).

Quando aquecido em água quente (60°C), o amido tende a inchar, expandindo suas cadeias (SOEST, 1994). Esse inchaço é reversível após o resfriamento. Entretanto, se mais calor é aplicado (60 a 80°C), o inchaço torna-se irreversível e a estrutura do grânulo começa a se alterar significativamente, perdendo sua cristalinidade, ocorrendo a chamada gelatinização do amido (FRENCH, 1973). A gelatinização está primariamente associada com a região amorfa; no entanto, à medida que calor e umidade são adicionados, a região cristalina, também, é afetada (NOCEK; TAMMINGA, 1991). Após a gelatinização pode ocorrer a retrogradação das moléculas de amido, com o reestabelecimento das pontes de hidrogênio entre amilose e amilopectina,

embora essa retrogradação não recupere as características originais do amido (ROONEY; PFUGFELDER, 1986).

2.1.4.2 Reidratação e ensilagem

A reidratação ou reconstituição consiste em devolver ao grão já seco a umidade adequada para que o mesmo seja fermentado na ensilagem (DEFOOR; BROWN; OWENS, 2006; GOODRICH; BYERS; MEISKE, 1975; TONROY; PERRY; BEESON, 1974). O uso dessa técnica constitui uma alternativa para reduzir o risco na ensilagem de grãos úmidos de milho uma vez que a colheita do grão em estágio de maturação, em torno da linha negra, quando a planta apresenta teor de umidade entre 35 e 40%, pode ser problemática. O pequeno intervalo para colheita, normalmente realizada no período chuvoso do ano nas regiões centrais do Brasil, aumenta a chance de insucesso no processo, em virtude da maturação excessiva e à conseqüente perda de umidade dos grãos.

Além disso, a reidratação pode ser usada em casos de atraso na colheita, situação em que o teor de matéria seca ultrapassa o desejado para o processo de ensilagem do grão úmido. A ensilagem do milho grão na fazenda, além de potencialmente aumentar a digestibilidade do amido (ANDRADE FILHO et al., 2010a; HOFFMAN et al., 2011), também, concentra a operação de moagem, comparativamente à prática usual de moagem de pequenas quantidades à medida que mais grão é necessário para alimentar os animais. A reidratação e ensilagem, também, podem reduzir custos de transporte e armazenamento de grãos.

Um detalhe importante na confecção da silagem de grão reidratado é a homogeneização da água ao grão moído, pois caso sua incorporação ao milho ocorra por uma mistura não vigorosa, a hidratação do grão não será perfeita, podendo resultar em perda do material ensilado por crescimento de fungos (PEREIRA, 2011).

Com o objetivo de determinar o melhor nível de reconstituição (reidratação) de grãos de milho maduros e secos para a confecção de silagens, Andrade Filho et al. (2010b) avaliaram a incorporação de água ao milho maduro para obter teores de umidade na silagem de 20, 30 ou 40%. O pH final das silagens foi reduzido de forma quadrática com aumento do nível de reconstituição. O menor pH final é associado à inibição do crescimento microbiano e da fermentação. Não houve diferença no pH final das silagens entre os níveis de reconstituição 30% e 40%, sugerindo que teores de umidade do ensilado acima de 30% da matéria natural foram adequados.

Durante a ensilagem, ocorre proteólise da matriz proteica envolvendo os grânulos de amido por enzimas microbianas (BARON; STEVENSON; BUCHANAN-SMITH, 1986). Hoffman et al. (2011) monitoraram o destino da matriz proteica no grão de milho úmido ensilado durante um longo período de estocagem (240 dias). Duas amostras de milho úmido, contendo 25,5 e 29,3% de umidade foram moídas, ensiladas e estocadas por 0, 15, 30, 60, 120 e 240 dias. Nos dias 0 e 240, as α , γ , δ e β zeínas foram analisadas usando cromatografia líquida. A fermentação (0 *versus* 240 dias) reduziu todas as subunidades de α , γ , δ e β zeínas de 10 para 40%. A degradação das γ zeínas foi a mais extensiva, chegando a 60%. Como as γ zeínas estão localizadas na superfície e são as principais responsáveis pela ligação entre os grânulos de amido, sua degradação sugere que o agrupamento dos grânulos de amido se dissociou como resultado da fermentação, uma vez que a ligação que os mantinha unidos foi degradada. A microscopia eletrônica, após 240 dias, demonstrou que houve uma dissociação dos grânulos de amido resultando em grande número de grânulos individuais (e área superficial) para potencial ataque pelas bactérias ruminais.

2.1.5 Impacto do processamento sobre a digestão do amido

Grãos variam na quantidade e solubilidade da matriz proteica que envolve os grânulos de amido e que interferem negativamente sobre a digestão ruminal do amido. O processamento quebra as barreiras recalcitrantes do grão, seja por gelatinização do amido ou proteólise da matriz proteica, e facilita tanto a adesão bacteriana aos grânulos (HUNTINGTON, 1997) como a ação das enzimas amilolíticas (NOCEK; TAMMINGA, 1991), aumentando a velocidade de digestão do amido e a eficiência digestiva. Segundo Huntington, Harmon e Richards (2006), pelo menos uma parte dessa maior eficiência, pode ser atribuída ao aumento na digestão intestinal do amido nos grãos processados.

O local de digestão do amido determina a quantidade e a natureza da energia disponível para vacas leiteiras e pode ser manipulado pelo método de processamento (NOCEK; TAMMINGA, 1991). O amido, que não é digerido no rúmen, chega ao intestino delgado onde será digerido de forma semelhante aos monogástricos. A digestibilidade intestinal do amido que chega ao duodeno pode variar de 17,3% a 84,9% (HARMON, 1992). O principal determinante da quantidade de amido que será digerido no intestino delgado é a quantidade de amido que ali chega (HARMON; MCLEOD, 2001). Dados publicados com vacas não lactantes foram sumarizados por Matthé et al. (2001) e mostraram que o aumento no fluxo de amido para o intestino delgado de 250 para 1800 g/d, diminuiu a digestibilidade de 80 para 50%. O processamento, ao aumentar a utilização do amido no rúmen, reduz a quantidade a ser digerida no intestino delgado, sendo um fator no aumento da digestibilidade do amido nesse segmento do trato digestivo (THEURER et al., 1999).

A digestão e absorção do amido no intestino delgado de ruminantes ocorrem em três fases distintas. A primeira envolve a secreção da enzima α -amilase produzida no pâncreas. Uma vez no lúmen intestinal, a α -amilase

hidrolisa amilose e amilopectina a oligossacarídeos com duas ou três unidades de glicose, tais como maltose, maltotriose e dextrinas limite que ocorrem como resultado das ramificações α -1,6 da amilopectina. O processo de digestão do amido iniciado pela α -amilase é terminado por oligossacaridasas localizadas na borda em escova do epitélio intestinal. Os ruminantes não têm atividade de sacarase mensurável e, portanto, dependem da atividade da maltase e isomaltase para produzirem glicose para absorção (HARMON, 1993). Por fim, a glicose produzida é absorvida para a corrente sanguínea por transporte ativo via transportador de glicose Na^+ -dependente (SGLT1) ou difusão simples pelos espaços intercelulares (HARMON, 2009).

A falta de uma resposta adaptativa do pâncreas ao aumento na concentração de amido na dieta (KREIKEMEIER et al., 1990; LARSEN; KRISTENSEN, 2009) tem levado a se especular que a amilase pancreática é o fator limitante da assimilação intestinal do amido (HUNTINGTON; JUNELL, 2010). Entretanto, Kreikemeier e Harmon (1995) analisaram a composição da digesta ileal de novilhos com infusão abomasal de glicose, dextrose e amido de milho e observaram acúmulo de α -glicosídeos na digesta ileal, composta em sua maioria por dissacarídeos com pouca glicose livre. Os autores concluíram que a digestão do amido poderia estar sendo limitada pela baixa atividade das dissacaridasas.

Estudos revisados por Harmon (2009) demonstraram que a ingestão de amido e de energia parece não influenciar a concentração das enzimas da borda em escova do epitélio intestinal em ovinos e bovinos. Os componentes que limitam a assimilação de amido no intestino delgado não são mutuamente exclusivos e, provavelmente, agem em conjunto (HUNTINGTON; JUNELL, 2010).

Tem sido postulado que a absorção e o metabolismo intestinal de glicose são energeticamente mais eficientes do que a fermentação e absorção de ácidos

orgânicos pelo rúmen (NOCEK; TAMMINGA, 1991), já que a fermentação ruminal do amido é acompanhada de perdas energéticas inevitáveis na forma de calor e metano (HUNGATE, 1966). Owens, Zinn e Kim (1986), avaliando a eficiência de uso do milho e do sorgo digerido no rúmen ou no intestino delgado de novilhos, por simulações com equações de regressão, obtidas de resultados de vários experimentos, concluíram que o amido digerido no intestino produz 42% mais energia do que o amido digerido no rúmen. Entretanto, um aumento na quantidade de amido que escapa da fermentação ruminal pode reduzir a quantidade de energia disponível para o crescimento microbiano. Assim, a perda potencial de proteína microbiana, proveniente da fermentação do amido no intestino grosso, deve ser considerada (NOCEK; TAMMINGA, 1991).

Outro aspecto importante a ser considerado na digestão do amido no intestino delgado é que diversos estudos têm demonstrado, de forma consistente, que o fluxo líquido de glicose no sistema porta é quase sempre nulo ou negativo nas mais variadas dietas e relações forragem:concentrado. Geralmente, a recuperação do amido purificado infundido no abomaso ou duodeno na veia porta varia de 25 a 50%. Uma recuperação de glicose abaixo do esperado nas infusões pós-ruminais de amido, deve-se, pelo menos em parte, a uma incompleta digestão do amido no intestino delgado. Este fato também pode ser interpretado como uma evidência da utilização de glicose pelos enterócitos durante a passagem da glicose absorvida do lúmen intestinal para a veia mesentérica (REYNOLDS, 2006). Os tecidos que compõem o sistema porta utilizam normalmente entre 20 a 30% da glicose total utilizada pelo organismo (BROCKMAN, 2005). Como os enterócitos representam uma pequena porção do dreno visceroportal, esse uso de glicose pelo dreno visceroportal representa extração de glicose do sangue arterial (REYNOLDS, 2006). Assim, a absorção de glicose pela veia porta é excedida pela utilização arterial de glicose pelos tecidos do dreno visceroportal. Portanto, ainda que a digestão intestinal do

amido seja mais eficiente do que a sua digestão ruminal, a energia absorvida nos enterócitos, na forma de glicose, parece não ser totalmente usada para a produção de leite, mas sim oxidada ou retida nos tecidos (ARIELI et al., 2001; KNOWLTON et al., 1998; LARSEN; KRISTENSEN, 2009; REYNOLDS et al., 2001).

O efeito do método de processamento sobre a digestão do amido no trato digestivo foi avaliado em vacas em estágio inicial da lactação canuladas no rúmen, duodeno e íleo (KNOWLTON; GLENN; ERDMAN, 1998). As vacas foram alimentadas com silagem de grão úmido de milho ou milho moído fino (40% de amido na matéria seca da dieta). O tamanho médio de partícula foi 618 e 489 μm para os milhos moído e úmido ensilado, respectivamente. A digestibilidade ruminal do amido foi 84% com grão úmido e 65% com milho moído e a digestibilidade *in vivo* do amido no trato digestivo total foi 97 e 83%, respectivamente. A perda fecal de amido foi 262 e 1432 gramas/dia com grão úmido e milho moído, respectivamente. O fluxo de amido para o duodeno foi menor no tratamento com milho úmido ensilado comparativamente ao milho moído (1138 *versus* 3109 g/d). As dietas, contendo milho úmido ensilado, promoveram menor fluxo de amido para o íleo e maior desaparecimento de amido no intestino delgado. No milho moído, 23% do amido consumido foram digeridos no intestino grosso.

Oba e Allen (2003c), também, avaliaram a substituição de milho moído por silagem de grão úmido em vacas leiteiras, em arranjo fatorial de tratamentos com duas concentrações de amido na dieta (32 e 21%). O tamanho médio de partícula foi 1863 e 885 μm para os milhos úmido e seco, respectivamente. A digestibilidade do amido no rúmen foi maior com milho moído comparativamente ao milho seco, entretanto, a digestibilidade do amido no trato digestivo total não diferiu entre tratamentos, possivelmente, em virtude da digestão compensatória no intestino. A diferença na digestibilidade ruminal do

amido foi maior nas dietas com 32% de amido (71,1 *versus* 46,9%) do que nas dietas com 21% (58,5 *versus* 45,9%). A matéria orgânica verdadeiramente digerida no rúmen, calculada pela diferença entre a ingestão de matéria orgânica e o fluxo duodenal de matéria orgânica não microbiana, foi 11,3 e 7,7 kg para os tratamentos com grão úmido e alto amido e com milho moído e baixo amido, respectivamente. Dentre as dietas com alto amido, grão úmido aumentou a matéria orgânica verdadeiramente digerida no rúmen (60,8 *versus* 50,7%), mas o aumento na digestibilidade da matéria orgânica no trato digestivo total foi de pequena magnitude (74,6 *versus* 70,7%). O fluxo de amido para o duodeno foi 4,2 kg/d no tratamento com milho moído e 2,2 kg/d no tratamento com milho úmido nas dietas com 32% de amido. A digestibilidade ruminal do amido foi maior com milho úmido ensilado do que com milho moído e a diferença foi maior nas dietas com alto amido (71,1 *versus* 46,9%) do que nas de baixo amido (58,5 *versus* 45,9%). A digestibilidade intestinal do amido (% do ingerido) foi 47,0% no tratamento com milho moído e 41% no milho úmido, enquanto a digestibilidade do amido no trato digestivo total não diferiu entre tratamentos, independente do nível de amido na dieta, evidenciando novamente que houve digestão compensatória nos intestinos.

Bradford e Allen (2007a), trabalhando com 32 vacas com produção diária de 44 kg de leite e alimentadas com milho moído seco ou milho úmido ensilado, em dietas com 32% de amido, observaram que o grão úmido aumentou a digestibilidade da matéria orgânica no trato digestivo total de 75,9 para 78,8% e a do amido de 94 para 98%.

A quantificação do amido fecal foi recentemente sugerida como estimativa da digestibilidade do amido e tem sido utilizada para avaliar grãos processados em confinamento de bovinos, uma vez que equações de regressão indicam existir uma correlação inversa entre a excreção de amido nas fezes e a digestibilidade do amido no trato digestivo total (OWENS; ZINN, 2005; ZINN;

OWENS; WARE, 2002). Corona et al. (2005) conduziram um experimento para avaliar quatro métodos de processamento comumente utilizados para bovinos em terminação. As dietas experimentais continham 75,3% de grãos e os tratamentos foram: milho inteiro, milho moído, milho laminado e milho floculado. O conteúdo de amido fecal foi 1,6, 19,6, 16,2 e 25,9% para os milhos floculado, laminado, moído e inteiro, respectivamente. A digestão do amido no trato digestivo total foi 98,8% para o milho floculado, 86,3% para o milho laminado, 92% para o milho moído e 76% para o milho inteiro. Resultados semelhantes foram encontrados por pesquisadores brasileiros, onde a porcentagem de amido nas fezes foi maior nos animais, alimentados com milho laminado, intermediária com milho moído e milho úmido ensilado e menor com milho floculado (CARARETO, 2011).

2.1.6 Efeito do processamento sobre o metabolismo ruminal de nitrogênio e a digestão da fibra

Fatores dietéticos que alteram a fermentabilidade da matéria orgânica afetam o metabolismo ruminal de nitrogênio (N) e a síntese de proteína microbiana (CLARK; KLUSMEYER; CAMERON, 1992). Theurer et al. (1999) relataram, em sua revisão, que o aumento na degradação ruminal do amido, por meio do processamento de grãos foi capaz de aumentar o fluxo de N microbiano para o duodeno.

Comparando dietas à base de milho moído com dietas compostas com milho extrusado, Shabi et al. (1999) encontraram redução na concentração ruminal de amônia e de ureia plasmática no tratamento com milho extrusado, que teve maior degradação do amido no rúmen. Similarmente, Santos et al. (1999) também reportaram que a maior degradação ruminal do amido, obtida pela floculação, reduziu a perda de amônia no rúmen.

O efeito da fermentabilidade da dieta sobre o metabolismo de N foi avaliado em vacas leiteiras canuladas no rúmen, duodeno e íleo e alimentadas com silagem de grão úmido de milho ou milho finamente moído, em dietas contendo 40% de amido na matéria seca (KNOWLTON; GLENN; ERDMAN, 1998). O fluxo de proteína microbiana para o duodeno não foi afetado pelos tratamentos, Entretanto, o tratamento com milho úmido diminuiu tanto o fluxo de N microbiano para o duodeno como a eficiência microbiana (g de N microbiano/kg de matéria orgânica verdadeiramente degradada no rúmen). Como a degradabilidade do amido no rúmen foi maior com milho úmido, os autores atribuíram esse resultado a uma possível assincronia entre a digestão ruminal de amido e proteína.

Resultados semelhantes foram observados por Oba e Allen (2003d) ao substituírem milho moído por milho úmido ensilado. A eficiência de síntese microbiana diminuiu à medida que a matéria orgânica verdadeiramente fermentada no rúmen aumentou, sugerindo que outros fatores, além da disponibilidade de energia, podem ter limitado essa eficiência. Os autores consideraram que a energia gerada pela fermentação da matéria orgânica pode ter sido desacoplada do crescimento microbiano e utilizada para outras funções dos microrganismos que não o crescimento (STROBEL; RUSSELL, 1986). Embora a concentração ruminal de amônia não tenha sido afetada pelos tratamentos, sua concentração foi relativamente baixa no tratamento com milho úmido (5,1 e 1,4 mg/dL para a concentração média e mínima, respectivamente), que poderia ter limitado a produção de N microbiano no rúmen. No entanto, não houve relação entre a eficiência de síntese microbiana e a concentração ruminal de amônia, descartando essa hipótese. Outra possibilidade para a baixa eficiência de síntese microbiana seria a deficiência na disponibilidade de aminoácidos e peptídeos para o crescimento dos microrganismos. Entretanto, os autores

acreditam que a dieta fornecida experimentalmente não falhou ao atender as exigências microbianas por aminoácidos e peptídeos.

A degradação ruminal do amido pode afetar ainda a digestão da fibra. Theurer et al. (1999) observaram que o processamento do milho diminuiu em 22 e 16% a digestibilidade da fibra no rúmen e no trato digestivo total, respectivamente. A substituição de milho moído por silagem de milho úmido também deprimiu a digestibilidade da fibra de 31,7 para 26,0% (KNOWLTON; GLENN; ERDMAN, 1998). Os efeitos do processamento do grão sobre a digestão da fibra estão provavelmente relacionados ao pH ruminal e a atividade das bactérias celulolíticas. Estudos realizados com vacas leiteiras e novilhos demonstraram que a maior degradação do amido no rúmen diminuiu o pH do fluido (BEAUCHEMIN; YANG; RODE, 2001; CORONA; OWENS; ZINN, 2006; DILORENZO et al., 2011; YANG; BEAUCHIMIN; RODE, 2001). Resultados *in vitro* indicam que o pH ótimo para a digestão de celulose é próximo de 6,5 e que a digestibilidade ruminal da fibra diminui à medida que o pH do fluido declina, particularmente abaixo de 6,0 (STROBEL; RUSSELL, 1986).

Entretanto, Oba e Allen (2003c), ao avaliarem a substituição de milho moído por silagem de grão úmido, em vacas leiteiras, em arranjo fatorial de tratamentos com duas concentrações de amido na dieta (32 e 21%), não observaram efeito de tratamento sobre a digestibilidade da fibra no rúmen ou trato digestivo total. Similarmente, Callison et al. (2001) também reportaram que o aumento na digestão do amido não afetou a digestibilidade da fibra. Já Plascencia e Zinn (1996), ao substituírem milho moído por milho floculado, na alimentação de vacas leiteiras, relataram depressão na digestão da fibra, porém sem efeito de tratamento sobre o pH ruminal. As variações entre experimentos na inibição da digestão da fibra pela digestão do amido independente do pH

sugerem que outros fatores, como acúmulo de produtos da fermentação, podem estar envolvidos nesse processo (TAYLOR; ALLEN, 2005).

Taylor e Allen (2005) verificaram uma correlação positiva entre a digestibilidade do amido e da fibra no rúmen ($r = 0,49$; $P < 0,007$). Ocorre vasta interação entre os microrganismos ruminais e é possível que essa relação positiva entre amido e digestão da fibra represente sinergismo microbiano e alimentação cruzada. Cultura mista de bactérias celulolíticas e não celulolíticas aumentou o desaparecimento *in vitro* da celulose mais do que a cultura pura das três espécies predominantes de bactérias celulolíticas ruminais (MOURINO; AKKARAWANGSA; WEIMER, 2001).

Em uma recente revisão, Tricarico, Johnston e Dawson (2008) reportaram que a adição de α -amilase na dieta, embora não tenha aumentado a digestão do amido no rúmen, melhorou a digestão da fibra. O autor hipotetizou que a enzima exógena hidrolisou o amido em oligossacarídeos que puderam ser utilizados como substrato por bactérias não amilolíticas, suportando a ideia de alimentação cruzada entre os microrganismos ruminais.

2.1.7 Efeito do processamento sobre o consumo de matéria seca

Para compreender o efeito do processamento do amido sobre o desempenho animal, é necessário entender como a disponibilidade ruminal de amido afeta o consumo de matéria seca em ruminantes. Em uma compilação de estudos, Allen (2000) comparou grãos de diversas digestibilidades do amido no rúmen-retículo e concluiu que o aumento na proporção do amido, sendo fermentado no rúmen, resultou em significativa depressão da ingestão. Oba e Allen (2003b) avaliaram dietas com 32% de amido, contendo milho úmido ensilado ou milho moído seco e, também, detectaram queda no consumo diário de matéria seca de 22,5 para 20,8 kg quando milho úmido substituiu milho

moído. O consumo de matéria seca é função tanto do tamanho como da frequência de refeições, determinados pela saciedade e fome, respectivamente (ALLEN, 2000). As vacas consumindo milho moído tiveram maior consumo por refeição comparativamente às alimentadas com milho úmido (2,3 *versus* 1,9 kg). Similarmente, Burkholder et al. (2004) e Shabi et al. (1999) também reportaram queda no consumo de alimentos, quando vacas leiteiras foram alimentadas com milho extrusado ou floculado, comparativamente àquelas consumindo amido mais resistente à fermentação ruminal (milho moído).

Segundo Allen, Bradford e Oba (2009), essa queda de consumo pode ser explicada pela Teoria da Oxidação Hepática (HOT. Hepatic Oxidation Theory). A maior fermentabilidade do amido da dieta aumenta a produção de ácidos graxos voláteis (AGV) por unidade de matéria orgânica fermentada no rúmen e a proporção de propionato dentre os AGV absorvidos. Propionato, assim como ácidos graxos não esterificados (AGNE) são substratos extensivamente utilizados pelo fígado de ruminantes (EMERY; LIESMAN; HERDT, 1992). A oxidação desses substratos regula a ingestão de alimentos por meio de sinais enviados do fígado para o cérebro (ALLEN; BRADFORD; OBA, 2009). Se o fluxo de propionato para o fígado ultrapassa a capacidade de gliconeogênese, o propionato será oxidado (BRADFORD; ALLEN, 2007b). O propionato pode ser oxidado no ciclo do ácido tricarbóxico (AIELLO; ARMENTANO, 1987), bem como estimular a oxidação de acetil-CoA derivado de outros metabólitos (ALLEN, 2000). A oxidação do propionato durante a ingestão aumenta o *status* energético hepático, gerando um sinal de saciedade para terminar a refeição (Figura 1) (ALLEN; BRADFORD; OBA, 2009).

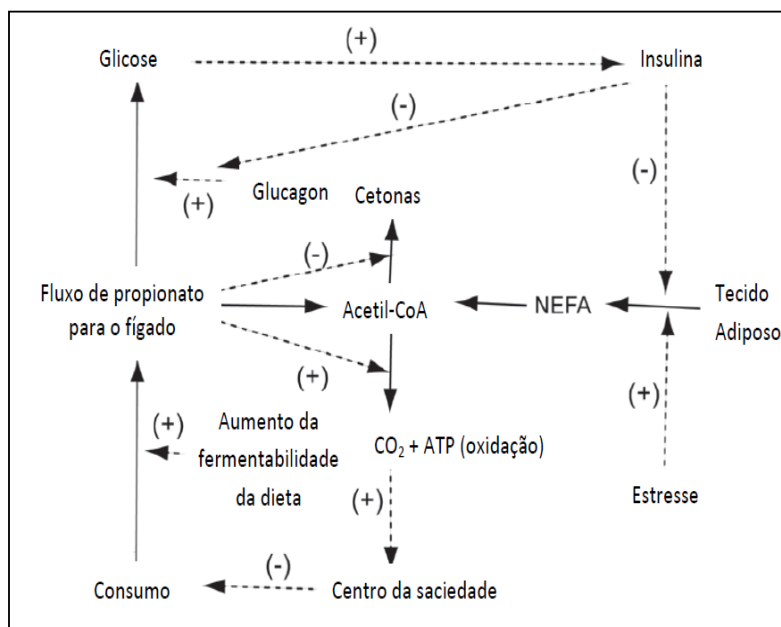


Figura 1 Regulação do consumo segundo a Teoria da Oxidação Hepática
 Fonte: adaptado de Allen, Bradford e Oba (2009)

Embora evidências sugiram de que o *status* energético do animal seja transmitido do fígado ao sistema nervoso central via nervo vago aferentes e eferentes (BERTHOUD, 2004), o mecanismo exato pelo qual o *status* energético dos hepatócitos afeta a taxa de descarga do nervo vago aferente ainda não está bem determinado (ALLEN; BRADFORD; OBA, 2009). Uma possibilidade é que a oxidação hepática de substratos aumenta durante a ingestão, aumentando o aporte energético aos hepatócitos e diminuindo a taxa de descarga do nervo vago aferente, causando saciedade e finalizando a refeição, possivelmente pelo aumento na atividade da bomba de sódio e potássio e hiperpolarização do potencial de membrana das células nervosas (ANIL; FORBES, 1988). Após a ingestão, a oxidação hepática é diminuída, aumentando assim a taxa de descarga

dos nervos, causando fome no animal (Figura 2) (ALLEN; BRADFORD; OBA, 2009).

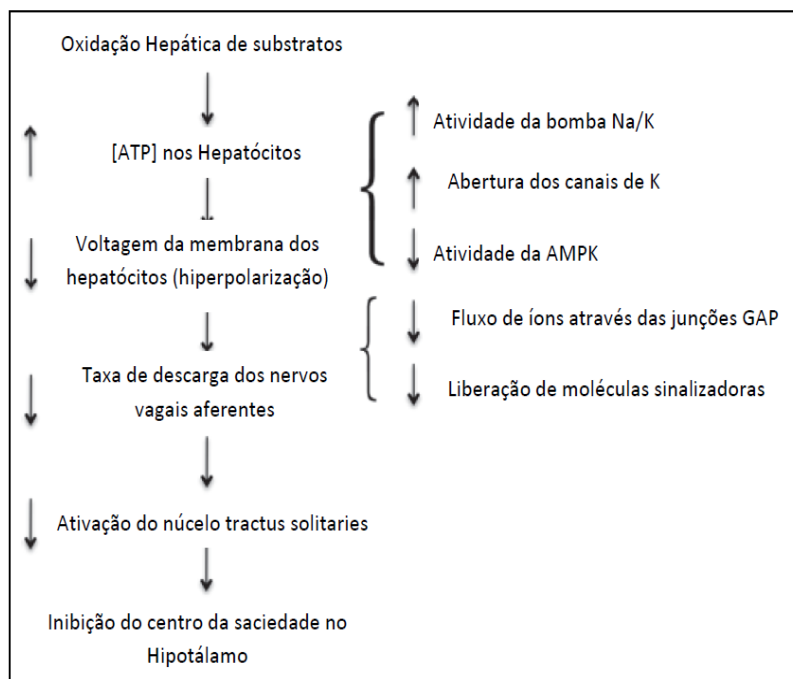


Figura 2 Mecanismo proposto para o controle da ingestão de alimentos pela oxidação hepática de substratos
Fonte: adaptado de Allen, Bradford e Oba (2009)

Para avaliar o efeito hipofágico do propionato, Bradford e Allen (2007b) infundiram propionato no rúmen de vacas leiteiras. Oito vacas com produção diária de 44 kg de leite receberam infusões intra-ruminais de 1,26 moles de propionato de sódio, ao longo de cinco (rápida) ou quinze minutos (lenta), no início de cada refeição espontânea por 24 horas. A infusão rápida reduziu o consumo de matéria seca em 23% e a infusão lenta reduziu em 20%. Infusões crescentes de propionato de sódio e, conseqüentemente decrescentes de acetato

de sódio, de 0 a 100% do total de AGV infundido no rúmen, diminuíram linearmente a ingestão de matéria seca e quadraticamente o tamanho das refeições em vacas em início de lactação e quadraticamente a ingestão de matéria seca e o tamanho de refeição naquelas em fase mediana da lactação (OBA; ALLEN, 2003a). Foi detectado aumento linear no intervalo entre refeições em resposta a aumento no volume de infusão apenas nas vacas em meio da lactação. Os autores especulam que esta resposta foi mediada pelo efeito dos tratamentos sobre o metabolismo oxidativo do fígado. Como a demanda estimada de glicose da glândula mamária era maior no início da lactação (3,0 *versus* 2,2 kg/d), pela maior produção de leite neste período (42 *versus* 30,8 kg/d), mais propionato seria utilizado para gliconeogênese nestes animais e menos do propionato disponível seria oxidado pelo fígado. A oxidação hepática de propionato reduziria a fome e aumentaria o intervalo entre refeições mais marcadamente em animais com menor demanda por glicose, comparativamente a animais em início da lactação com alta demanda por atividade gliconeogênica hepática a partir de propionato.

Além do mecanismo hepático, o propionato também pode ter efeito hipofágico por mecanismo ruminal. Baile (1971) propôs que receptores ruminais para propionato são capazes de regular a ingestão de alimentos, pois infusões ruminais de propionato em caprinos e ovinos reduziram o consumo, enquanto infusões na veia jugular não tiveram o mesmo efeito. Receptores químicos sensíveis a AGV estão presentes no epitélio do rúmen, sendo inibidores da motilidade ruminal (LEEK, 1986).

Entretanto, existem relatos na literatura nos quais o aumento na digestibilidade do amido no rúmen não necessariamente deprimiu o consumo (CALLISON et al., 2001; KNOWLTON; GLENN; ERDMAN, 1998; THEURER et al., 1999). Os efeitos inconsistentes da fermentação ruminal do amido sobre a ingestão de alimentos sugere que existe um limiar para o

propionato afetar o consumo. O comportamento alimentar parece ser controlado primariamente por um mecanismo relacionado à estimulação dos receptores de tensão, por meio do enchimento ruminal, antes do mecanismo ligado ao propionato se tornar dominante (OBA; ALLEN, 2003b).

2.1.8 Respostas produtivas ao processamento do milho

Em uma revisão que sumarizou 43 experimentos, nos quais o efeito do processamento por flocculação do milho ou sorgo foi avaliado em vacas em lactação, Theurer et al. (1999) concluíram que o processamento aumentou a produção de leite. Para os autores, o aumento no desempenho de vacas em lactação pela alimentação com grãos processados deve-se, pelo menos em parte, à alteração na proporção do amido digerida no rúmen e intestinos. O processamento aumentou a digestibilidade do amido no trato digestivo total, em virtude do aumento na proporção do amido dietético digerido no rúmen e aumento na digestibilidade da menor quantidade de amido que chegou ao intestino. O fornecimento de grãos processados promoveu maior degradação ruminal do amido, aumentou a quantidade de proteína microbiana que chegou ao intestino e o fornecimento de aminoácidos para a glândula mamária, resultando em aumento na produção de proteína no leite. Similarmente, Santos et al. (1999) também relataram que o consumo de grãos processados aumentou a produção de leite em 1,5 kg/d. O aumento da degradação ruminal do amido pela flocculação aumentou a produção de proteína no leite.

Oba e Allen (2003b) avaliaram os efeitos da substituição de milho moído por milho úmido ensilado sobre o desempenho de vacas leiteiras. Embora a substituição tenha deprimido o consumo de matéria seca, não houve efeito de tratamento sobre a produção de leite dos animais (38,6 kg/d), resultando em maior eficiência alimentar no tratamento com milho ensilado. A porcentagem de

gordura no leite foi 3,05% com milho úmido e 3,59% com milho moído. Não foi observado efeito de tratamento sobre a secreção de proteína e lactose no leite.

Os efeitos da fermentabilidade da dieta e o desempenho animal foram avaliados por Bradford e Allen (2004). Trinta e duas vacas Holandês, com produção média diária de 41 kg, foram alocadas a uma sequência de dois tratamentos por períodos de 14 dias. Os tratamentos foram milho moído fino ou silagem de milho úmido. A produção de leite e os componentes do leite não foram afetados pelos tratamentos, embora tenha havido uma tendência de queda na concentração de gordura no tratamento com milho úmido ensilado (3,50 vs. 3,20%). A silagem de milho úmido alterou o perfil de ácidos graxos no leite, diminuindo a concentração de ácidos graxos de cadeia média (C₁₀ a C₁₄) e aumentando a concentração de C₁₆ sem, contudo, afetar a concentração de ácidos graxos de cadeia longa. Milho úmido também aumentou o teor na gordura do leite de *trans*-10 C_{18:1} e *cis*-9, *trans*-11 C_{18:2} bem como a concentração total de ácidos graxos insaturados, sugerindo uma menor bio-hidrogenação ruminal nesse tratamento comparativamente ao milho moído.

Entretanto, Shabi et al. (1999) observaram que a substituição de milho moído por milho extrusado na alimentação de vacas leiteiras diminuiu em 3% a produção de leite (26,4 versus 25,6 kg/d) e atribuíram esse resultado ao menor consumo de matéria seca observado no milho extrusado. Já Knowlton, Glenn e Erdman (1998) não encontraram efeito sobre o desempenho animal, ao substituir milho moído por milho úmido ensilado, embora a digestibilidade do amido no rúmen e no trato digestivo total tenha sido maior para o tratamento com milho ensilado.

2.2 Açúcares na alimentação de ruminantes

2.2.1 Definição

Açúcares são definidos como carboidratos solúveis em água e incluem monossacarídeos, dissacarídeos e oligossacarídeos (HALL, 2003). Glicose e frutose são os açúcares simples mais comumente encontrados nas plantas. O dissacarídeo mais abundante nas plantas é a sacarose, formada pela ligação entre glicose e frutose. Oligossacarídeos são açúcares formados pela união de três a 20 monossacarídeos (SOEST, 1994). Estaquiose e rafinose são oligossacarídeos presentes na soja (CHAJUSS, 2004). De acordo com a União Internacional de Química Pura e Aplicada, rafinose é um trissacarídeo composto de frutose, glicose e galactose, enquanto a estaquiose consiste de duas unidades de galactose ligadas a uma molécula de glicose e outra de frutose.

Tipicamente, dietas para vacas em lactação contêm menos de 3% de açúcar em razão do baixo conteúdo de açúcares em grãos e silagens (CARVER, 2007). Amido e fibra são os principais carboidratos na alimentação de vacas leiteiras, entretanto, açúcares podem ser uma fonte de energia alternativa impactando tanto a fermentação ruminal quanto a produtividade animal (OBA, 2011).

2.2.2 Melaço de soja: processo de obtenção e caracterização

O melaço de soja é um subproduto do processo de fabricação do concentrado proteico de soja, obtido após a extração do óleo da soja, pela lavagem do farelo com água e álcool (BUSATO JÚNIOR, 2010). A mistura de água e álcool insolubiliza as proteínas e fibras da soja que são retiradas e, após a secagem, obtém-se o farelo concentrado de soja. A fração líquida da mistura

etanol e água contêm, na sua maior parte, os açúcares da soja que, após a recuperação do etanol por evaporação ou destilação, gera o melaço de soja. O melaço de soja é um líquido viscoso de coloração marrom e sabor agridoce, livre de álcool, constituído principalmente pelos açúcares glicose, frutose, sacarose, rafinose e estaquiase (CHAJUSS, 2004).

Para cada tonelada de soja, produz-se aproximadamente 156 kg de melaço de soja (BALLONI, 2012). Por se tratar de um resíduo agroindustrial com elevado volume de geração, o melaço de soja é um material de baixo custo comercial que impõe problemas de descarte ambiental. Assim, alternativas têm sido buscadas no intuito de minimizar esse problema, destinando o melaço para obtenção de etanol e geração de energia (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2011; IMCOPA, 2007; MACHADO, 1999; SIQUEIRA; KARP; CARVALHO, 2008) e dadas suas características nutricionais, tem-se proposto ainda sua utilização como ingrediente para alimentação animal (CHAJUSS, 2004).

2.2.3 Papel dos açúcares na fermentação ruminal

2.2.3.1 Perfil de ácidos graxos voláteis e pH ruminal

Os produtos gerados pela fermentação ruminal de carboidratos afetam a utilização de nutrientes pelos animais. Sendo assim, é importante entender como os açúcares alteram o perfil de AGV.

Estudos *in vitro* têm demonstrado que a fermentação de açúcares, relativamente à de amido, aumenta a produção de butirato no rúmen (HALL; WEIMER, 2007; HOOVER et al., 2006; STROBEL; RUSSELL, 1986; VALLIMONT et al., 2004). Propionato e butirato parecem ser mais estimuladores do crescimento papilar que o acetato (VAIR; WARD;

FRANDSON, 1960). No entanto, o efeito direto do butirato sobre o epitélio ruminal parece ser inibidor de mitose e indutor de diferenciação celular (STAIANO-COICO et al., 1990), que é indesejável do ponto de vista de integridade e atividade metabólica da parede ruminal.

Hoover et al. (2006) utilizaram um simulador da fermentação ruminal de fluxo contínuo para examinar os efeitos da substituição do amido por níveis crescentes de sacarose sobre o perfil de AGV. As dietas continham 240, 280 e 330 g de CNF/ kg de matéria seca. Em cada nível de CNF, as dietas continham 29, 63 e 95 g de sacarose/kg de matéria seca. A adição de quantidades crescentes de açúcar diminuiu a proporção de acetato e aumentou a de butirato, sem afetar a produção de propionato.

Resposta semelhante foi observada por Hall e Weimer (2007), ao avaliarem os efeitos de diferentes níveis de sacarose (65, 130 e 195 mg), fermentada com 130 mg de FDN isolado de gramínea (*Cynodon dactylum*). Os tubos, contendo fluido ruminal e os substratos, foram amostrados de quatro em quatro horas ao longo de 24 horas. A produção total de AGV aumentou linearmente com a adição de quantidades crescentes de sacarose após 24 horas de incubação. A proporção molar de acetato diminuiu linearmente, enquanto a de butirato e propionato aumentou linearmente com o aumento de sacarose. A concentração máxima de lactato foi detectada entre os tempos zero e quatro de incubação. O aparecimento de lactato observado no tempo zero de incubação evidenciou a rapidez na qual a sacarose foi fermentada. A produção de lactato tendeu a aumentar à medida que a quantidade de açúcar no meio aumentou. Com 8 horas de incubação, as concentrações de lactato declinaram, tornando-se indetectáveis.

Entretanto, os efeitos da adição de açúcares sobre a fermentação ruminal *in vivo* têm sido variável. A concentração de butirato no fluido ruminal aumentou (HELDT et al., 1999; KELLOG; OWEN, 1969; MARTEL et al.,

2011), não foi afetada (BRODERICK et al., 2008; PENNER; OBA, 2009; SANNES; MESSMAN; VAGNONI, 2002) ou tendeu a diminuir (MCCORMICK et al., 2001) quando grãos foram parcialmente substituídos por sacarose.

Kellog e Owen (1969) avaliaram a substituição de amido por níveis crescentes de sacarose (0, 3, 6 e 9% da matéria seca) em vacas leiteiras, em arranjo fatorial de tratamentos com duas concentrações dietéticas de grão (30 e 70%). A inclusão de sacarose resultou em decréscimo linear na proporção de propionato e aumento linear na proporção de butirato no fluido ruminal. Houve ainda maior proporção de ácidos cetogênicos no rúmen (acetato + butirato) relativamente ao propionato. Martel et al. (2011) observaram resultados semelhantes ao substituírem 5% do milho moído por melaço de cana. Houve queda na proporção de propionato e aumento na proporção de butirato no fluido ruminal. A concentração total de AGV foi 141 mM no tratamento controle e 133 mM com adição de melaço.

Penner e Oba (2009) investigaram os efeitos do fornecimento de dietas variando na concentração de sacarose sobre a fermentação ruminal de vacas leiteiras no pós-parto imediato. Vinte vacas Holandês foram blocadas considerando a data prevista de parição e alocadas a uma de duas dietas, contendo alto (8,4%) ou baixo (4,7%) teor de açúcar, imediatamente após o parto. A concentração total de AGV no fluido ruminal, bem como a proporção de cada ácido orgânico não foi afetada pelos tratamentos.

Pela rápida taxa de fermentação dos açúcares, comparativamente às outras frações de carboidratos (SNIFFEN et al., 1992), espera-se que o pH ruminal seja menor em dietas contendo açúcares. No entanto, os resultados encontrados na literatura mostram que o pH ruminal não foi afetado (BRODERICK et al., 2008; MCCORMICK et al., 2001) ou aumentou (HELDT et al., 1999; MARTEL et al., 2011; PENNER; GUAN; OBA, 2009; PENNER;

OBA, 2009) quando o amido da dieta foi parcialmente substituído por sacarose. Kellog (1969), por outro lado, observou que a substituição de milho por sacarose (5, 10 e 15% da matéria seca da dieta) diminuiu o pH do fluido ruminal, mensurado 30 minutos e 4 horas após a alimentação. Entretanto, esse resultado pode ser atribuído muito mais ao baixo teor de forragem (10% da MS) na dieta experimental utilizada do que à presença de açúcar.

Oba (2011) afirma existir pouca evidência de que o aumento na concentração dietética de açúcar diminua o pH do rúmen. Embora ainda não se saiba o mecanismo exato de como o açúcar, potencialmente, aumenta o pH ruminal, apesar de sua rápida fermentação, algumas teorias têm sido propostas. Uma delas sugere que açúcares fornecem menos carbono por unidade de massa para a produção de ácidos orgânicos, durante a fermentação, quando comparados ao amido (HALL; HEREJK, 2001).

Hall (2004) propõe que os carboidratos diferem do ponto de vista do balanço de massa. Considerando que os microrganismos dependem da quantidade de carbonos disponíveis ou de monossacarídeos para gerar produtos, a glicose, a sacarose e o amido disponibilizam, por unidade de massa, quantidades diferentes de monômeros. Quando um determinado número de moléculas se combina para formar o amido, o mesmo número de moléculas de água é liberado. Considerando que o peso molecular da água é 18, que representa em torno de 10% a mais do peso molecular de glicose (180), a hidrólise do amido vai representar em torno de 10% a mais em peso de glicose, pois uma molécula de água será acrescida ao monossacarídeo. No caso de um dissacarídeo, como ocorrerá perda de apenas uma molécula de água para as duas moléculas, a diferença seria em torno de 5%. Partindo dessa premissa, 1 kg de glicose representaria 1 kg de monossacarídeos, enquanto 1 kg de um dissacarídeo representaria 1,05 kg e 1 kg de amido representaria 1,11 kg de monossacarídeos.

Outra explicação plausível seria a conversão de sacarose em polissacarídeo de reserva (glicogênio microbiano) pelos microrganismos ruminais, como uma forma de estocagem de energia em curto prazo (HALL; HEREKJ, 2001), que temporariamente reduziria a produção de ácidos, durante a fermentação ruminal, possivelmente contribuindo para manutenção de um pH mais alto. Hall e Weimer (2007) incubaram *in vitro* 130 mg de FDN de gramínea (*Cynodon dactylon*) mais 65, 130 ou 195 mg de sacarose em cultura mista de microrganismos ruminais por 24 horas. Nas amostras colhidas no tempo zero de incubação, não foi detectada a presença de sacarose, evidenciado o seu rápido desaparecimento do meio. A presença de glicose e frutose no tempo zero foi atribuída à hidrólise da sacarose. Ambas as hexoses aumentaram linearmente no tempo zero à medida que aumentou a quantidade de sacarose incubada. Apenas traços de frutose foram detectados após 4 horas de incubação. As concentrações de glicose encontradas nos tempos de amostragem subsequentes foram o resultado da lise microbiana e hidrólise do glicogênio. As quantidades máximas de glicogênio foram reveladas nos tempos zero e quatro, declinando em todos os tratamentos após o pico.

Uma terceira possibilidade sugere que a maior produção de butirato no rúmen, ao se fornecer açúcar (HALL; WEIMER, 2007; HOOVER et al., 2006), poderia diminuir a produção de prótons por unidade de matéria orgânica degradada ruminalmente comparada à produção de acetato e propionato. Um mol de hexose fermentada gera um mol de butirato ou dois moles de propionato ou acetato (SOEST, 1994).

E, por fim, em alguns estudos foram demonstrados que a inclusão de açúcar resultou em aumento na taxa de passagem de sólido ou líquido do rúmen (ROOKE; LEE; ARMSTRONG, 1987; SUTOH; OBARA; MIYAMOTO, 1996), que diminuiu a quantidade de carboidrato fermentado podendo, assim, reduzir o acúmulo de ácidos gerados durante a fermentação.

2.2.3.2 Síntese de proteína microbiana

Mudanças no perfil de carboidratos da dieta afetam a síntese de proteína microbiana no rúmen. Hall e Herejk (2001) mensuraram a síntese de proteína microbiana *in vitro* por precipitação da proteína bruta com ácido tricloroacético. O crescimento microbiano foi induzido com amido, sacarose e pectina combinado com FDN de *Cynodon dactylon*, na proporção 40:60 e FDN puro da gramínea. Os substratos foram incubados por 24 horas em culturas mistas de microrganismos ruminais e amostrados nos tempos 0, 4, 8, 12, 16, 20 e 24 h. O pico de máxima produção microbiana, bem como a produção total de proteína microbiana, foi maior para o amido do que para pectina e sacarose. A produção máxima de proteína microbiana relativamente à produção com amido foi 0,75 para sacarose e 0,88 para a pectina. Novamente, o número de carbonos por unidade de peso molecular poderia explicar as diferenças na síntese proteica entre os substratos.

O crescimento microbiano nos estágios iniciais de incubação foi mais rápido para pectina e sacarose do que para amido. O pico de produção microbiana na sacarose ocorreu com 11 horas de incubação, enquanto no amido e na pectina ocorreu com 16 e 13 horas, respectivamente. Após o pico de produção microbiana, ocorreu queda na síntese proteica, entretanto, essa queda foi mais baixa na sacarose e a curva declinou mais lentamente neste carboidrato em comparação aos outros substratos, sugerindo que a sacarose foi mais estável após atingir o platô. Apesar da sacarose não ter resultado no máximo de produção microbiana, resultou em crescimento mais constante ao longo do tempo. Conforme já comentado anteriormente, as bactérias que fermentam sacarose podem armazenar glicogênio microbiano. Quando a concentração de sacarose declinou no meio de cultura, essas bactérias podem ter utilizado o glicogênio estocado para manutenção, mantendo a população de microrganismos,

sem, contudo, continuar apresentando o mesmo crescimento exponencial do início da fermentação.

Hall e Weimer (2007) avaliaram os efeitos da adição de níveis crescentes de sacarose sobre a síntese de proteína microbiana *in vitro*. Para quantificar a produção de proteína bruta microbiana ao longo do tempo, foi utilizado o ácido tricloroacético para precipitar proteínas e nitrogênio de macromoléculas provenientes da fermentação microbiana. Foram incubados, em cultura mista de microrganismos ruminais, 130 mg de FDN de *Cynodon dactylon* mais 65, 130 ou 195 mg de sacarose. A quantidade de proteína no meio foi mantida em quantidades fixas, assim a relação proteína:sacarose diminuiu com o aumento na quantidade de açúcar. Os tubos, contendo fluido ruminal e substrato, foram amostrados a cada 4 horas ao longo de 24 horas. A produção de proteína microbiana aumentou rapidamente, exibindo, em seguida, gradual declínio. A máxima produção de proteína microbiana aumentou linearmente com aumento na concentração de sacarose no meio. Entretanto, a produção de proteína microbiana por mg de sacarose foi 0,199, 0,171 e 0,161 para as incubações com 65, 130 e 195 mg de açúcar, respectivamente.

Quando o máximo de produção microbiana foi detectado, o carbono (C) nos produtos da fermentação como proporção do carbono da sacarose utilizada também foi mensurado. A tendência de queda na proporção de C na proteína microbiana e o decréscimo numérico na síntese microbiana a partir da sacarose, à medida que aumentou a quantidade de açúcar, podem estar relacionados a um aumento na quantidade de aminoácidos e peptídeos disponíveis no meio relativo à demanda de N microbiano impulsionado pela quantidade de açúcar fermentada. Estudos apontam aumento na síntese microbiana por unidade de carbono, quando a concentração de aminoácidos, peptídeos ou proteína hidrolisada do meio aumentou relativamente a quantidade de carboidratos (ARGYLE; BALDWIN, 1989; KESSEL; RUSSELL, 1996). Uma explicação

para essa diferença na produção microbiana seria a utilização de energia pelos microrganismos para outras funções que não o crescimento quando a quantidade de carboidrato excede a proteína disponível (STROBEL; RUSSELL, 1986). Se nutrientes específicos (peptídeos e aminoácidos) não forem suplementados em quantidade equivalentes entre os tratamentos, pode haver diferenças na produção microbiana como as relatadas neste trabalho. Isto significa que a produção microbiana pode mudar sobre uma gama de quantidades de carboidratos fermentáveis dependendo da concentração relativa e, talvez, do tipo de nutriente que se torna limitante.

Hall e Weimer (2007) relataram ainda que, além dos efeitos já mencionados da relação proteína:carboidrato, a queda na proporção de C do açúcar na proteína microbiana pode ter ocorrido, em consequência de uma ineficiência catabólica. O rápido crescimento de alguns microrganismos (*Streptococcus bovis*, *Selenomonas ruminantium*) em altos níveis de carboidratos rapidamente fermentáveis, resulta em mudanças na fermentação, diminuindo a produção de ATP por unidade de hexose consumida, apesar do aumento na taxa de síntese de ATP (ATP produzido por unidade de tempo), coerente com a maior produção de lactato observada com o aumento de açúcar no meio.

A inclusão dietética de açúcar pode não afetar a síntese microbiana se diluir o conteúdo de amido (OBA, 2011). Estudos *in vitro* dão suporte a essa ideia, uma vez que a produção de proteína microbiana foi maior, quando sacarose substituiu alfafa (RIBEIRO; KARNATI; EASTRIDGE, 2005), mas diminuiu (HALL; HEREJK, 2001) ou não foi afetada (VALLIMONT et al., 2004) quando em substituição ao amido.

O fornecimento de carboidratos rapidamente fermentáveis permite aos microrganismos utilizarem mais N degradável no rúmen (SNIFFEN et al., 1992). Alguns estudos têm reportado que a inclusão dietética de açúcar diminuiu a concentração de N-amoniaco no fluido ruminal (BRODERICK et al., 2008;

BRODERICK; RADLOFF, 2004; SANNES; MESSMAN; VAGNONI, 2002). Entretanto, em outros, a suplementação com açúcar não afetou a concentração ruminal de amônia (PENNER; GUAN; OBA, 2009; PENNER; OBA, 2009; VALLIMONT et al., 2004).

Broderick et al. (2008) suplementaram 0, 2,5, 5,0, e 7,5% de sacarose em substituição ao amido de silagem de milho úmido na dieta de vacas leiteiras por 8 semanas e observaram um decréscimo linear na concentração ruminal de amônia e na excreção de N-ureico e N total na urina, bem como na excreção urinária de N-ureico como proporção do N total, à medida que a concentração de açúcar na dieta aumentou. Entretanto, não houve efeito de tratamento sobre a síntese de proteína microbiana estimada, considerando o fluxo total de purina no omaso ou de derivados purínicos na urina. Em contrapartida, ao avaliarem a substituição de amido de milho por sacarose em dietas com alto (8,4% da MS da dieta) e baixo (4,7% da MS da dieta) teor açúcar para vacas leiteiras, no período periparto, Penner e Oba (2009) não observaram diferenças nas concentrações de amônia no rúmen e de N-ureico no leite (NUL).

Já Broderick e Radloff (2004) avaliaram os efeitos da adição de açúcar para vacas leiteiras em dietas contendo alta e baixa proteína. No experimento um, as dietas continham 0, 4, 8 ou 12% de melaço de cana seco em substituição à silagem de milho úmido e 18% de PB. O aumento no teor de açúcar promoveu uma redução linear na excreção de N urinário e a concentração de NUL foi numericamente menor na dieta com 4% de melaço. Houve efeito quadrático na concentração de amônia no rúmen, com menor valor sendo observado, também, com 4% de melaço seco na dieta. No experimento dois, foram fornecidas dietas contendo 0, 3, 6 e 9% de melaço líquido em substituição à silagem de milho úmido e 15,6% de PB. Houve efeito quadrático da concentração de açúcar sobre NUL, excreção de derivados purínicos na urina e amônia no rúmen. O menor teor de NUL foi observado no primeiro incremento de melaço na dieta, enquanto

a amônia ruminal foi menor com 3 e 6% de melaço líquido. As concentrações médias de amônia e NUL foram 15,5 e 14,9 mg/dL, respectivamente no experimento 1 com 18% de PB, e 7,6 mg/dL de amônia e 10,5 mg/dL de NUL no experimento 2 (15,6% de PB).

Para Oba (2011), a discrepância nos resultados encontrados sobre a utilização de amônia pode ser atribuída às diferenças na fermentabilidade da dieta basal. O fornecimento de dietas ricas em açúcares pode diminuir a concentração de amônia no fluido ruminal, se a produção de proteína microbiana estiver sendo limitada pela falta de carboidratos rapidamente fermentáveis no rúmen, mas os efeitos dessa suplementação sobre a amônia ruminal serão negligenciáveis se a dieta basal já apresentar alta fermentabilidade.

2.2.4 Suplementação com açúcares e digestibilidade dos nutrientes

Um simulador da fermentação ruminal de fluxo contínuo foi utilizado para avaliar os efeitos da substituição parcial de amido de milho por sacarose sobre a digestibilidade dos nutrientes (VALLIMONT et al., 2004). Os tratamentos foram 0, 2,5, 5,0 e 7,5% de sacarose e, respectivamente, 7,5, 5,0, 2,5 e 0% de amido de milho na dieta total contendo ainda 20% de silagem de milho e 40% de silagem de alfafa. Não houve efeito de tratamento sobre a digestibilidade da MS (46,8%). A digestibilidade aparente da FDN foi quadraticamente afetada pelo aumento no teor de sacarose na dieta. A inclusão de 7,5% de açúcar resultou no maior valor de digestibilidade da fibra quando comparada aos níveis de 2,5 e 5,0% de sacarose (66,1 *versus* 58,5 e 59,4%, respectivamente). Segundo os autores, a maior digestibilidade da fibra no nível mais alto de suplementação com sacarose, pode refletir mudanças na população microbiana ou no crescimento dos microrganismos presentes.

Heldt et al. (1999) avaliaram o impacto da suplementação de diferentes tipos de açúcares ou amido, em combinação com a suplementação de proteína degradável, sobre a utilização de forragem de baixa qualidade (feno de gramínea) em novilhos. Vinte novilhos Angus \times Hereford, com peso inicial de 448 e 450 kg nos experimentos um e dois, respectivamente, com cânulas ruminais, foram utilizados em dois experimentos consecutivos, em delineamento do tipo blocos casualizados. Os animais foram agrupados com base no peso vivo e, dentro de bloco, aleatoriamente distribuídos a um de cinco possíveis tratamentos. Os tratamentos foram: grupo controle (sem suplementação) ou suplementação com glicose, frutose, sacarose ou amido (0,30% do peso vivo/d). Os animais suplementados com carboidratos também receberam suplementação de proteína degradável (0,031 e 0,122% do peso vivo/d nos experimentos 1 e 2, respectivamente). Em ambos os experimentos os animais tiveram livre acesso a forragem e os suplementos foram administrados intra-ruminalmente uma vez ao dia. No experimento um não houve efeito de tratamento sobre a digestibilidade da matéria orgânica no rúmen. A digestibilidade da fibra diminuiu com a suplementação, mas não houve diferença entre as fontes de carboidrato. No experimento dois, o amido reduziu a digestão ruminal da FDN mais do que os açúcares. Dentre os açúcares, a sacarose deprimiu a digestibilidade da FDN mais do que os monossacarídeos, enquanto glicose e frutose não diferiram em seus efeitos.

Como o pH ruminal foi mantido ao redor de 6,3 e 6,2 nos experimentos 1 e 2, respectivamente, os autores afirmam ser possível que as diferentes quantidades de proteína degradável suplementada nos dois experimentos tenham afetado a resposta à fonte de carboidrato. O efeito negativo da suplementação sobre a digestibilidade da FDN pode ter ocorrido por causa de uma depleção do N disponível no rúmen pelos microrganismos fermentadores de carboidratos de rápida degradação. Além disso, a disponibilidade de carboidratos rapidamente

fermentáveis, na presença de quantidades inadequadas de N, pode ter levado à competição entre as bactérias celulolíticas e as fermentadoras de carboidratos não fibrosos, inibindo as primeiras. De fato, a produção de gás da fermentação *in vitro* de 65, 130 e 195 mg de sacarose mais 130 mg de FDN de gramínea sugere que, quando o nitrogênio não é limitante e não há mudanças no pH, a sacarose parece ter pouco efeito sobre a digestão da fibra (HALL; WEIMER, 2007).

Entretanto, Penner, Guan e Oba (2009), ao avaliarem os efeitos da adição de Fermenten® (Church & Dwight Inc., Princeton, NJ) um produto rico em aminoácidos e oligopeptídeos, com ou sem a adição de açúcares na dieta, não encontraram efeito de tratamento sobre a digestibilidade dos nutrientes (matéria seca, matéria orgânica, FDN e amido) no trato digestivo total de vacas leiteiras. As dietas experimentais foram formuladas com e sem Fermenten® (zero *versus* 3,3% da MS) em duas concentrações dietéticas de açúcares (2,8 *versus* 5,7%).

O efeito da inclusão de níveis crescentes de sacarose (zero, 2,5, 5,0 e 7,5% da MS), em substituição ao amido de milho na dieta de vacas leiteiras sobre a digestibilidade dos nutrientes no rúmen, foi avaliada por Broderick et al. (2008). A digestibilidade aparente da matéria seca no rúmen foi, em média, 26,2% e a da matéria orgânica, 40,0%. Houve efeito quadrático da adição de açúcar sobre a digestão da fibra, com o valor máximo de digestão observado com 5% de sacarose na dieta.

Já o fornecimento de dietas contendo 4,7% ou 8,4% de sacarose na MS da dieta, para vacas leiteiras no pós-parto imediato, não afetou a digestibilidade aparente dos nutrientes no trato digestivo total (PENNER; OBA, 2009). A digestibilidade da matéria seca, da matéria orgânica, da FDN e do amido foi, em média, 63,3, 65,2, 43,2 e 93,5%, respectivamente.

2.2.5 Efeito da suplementação com açúcares sobre o desempenho animal

Vinte e quatro vacas Holandês, com produção diária de leite de 41 kg/d, formaram seis grupos, considerando os dias em lactação e, dentro de bloco, foram aleatoriamente alocadas a uma sequência de quatro tratamentos, por um período de oito semanas (BRODERICK et al., 2008). Os tratamentos foram: 7,5% de amido de milho e 0% de sacarose, 5,0% de amido de milho e 2,5% de sacarose, 2,5% de amido de milho e 5,0% de sacarose e 0% de amido de milho e 7,5% de sacarose. A dieta basal continha (% da MS): 39 de silagem de alfafa, 21 de silagem de milho, 21 de milho úmido ensilado, 9 de farelo de soja, 2 de sal de cálcio, 1 de suplemento mineral-vitamínico, 31,5 de CNF, 16,7 de PB e 30 de FDN. Houve aumento linear em resposta à sacarose no consumo de matéria seca e no teor e produção de gordura no leite, enquanto a produção de leite não foi alterada. A eficiência alimentar, mensurada como energia no leite dividida pela ingestão de matéria seca, apresentou decréscimo linear em função do nível de suplementação de sacarose. O efeito positivo da sacarose sobre a secreção de gordura foi atribuído ao aumento no suprimento de energia em virtude do maior consumo observado nos animais alimentados com açúcar. Os autores atribuíram a maior ingestão de alimentos, em parte, à maior palatabilidade da dieta e, em parte, ao efeito quadrático observado sobre a digestão ruminal da fibra.

Broderick e Radloff (2004) realizaram dois experimentos para avaliar o efeito da substituição de amido por sacarose sobre o desempenho de vacas leiteiras. Em cada um dos dois estudos, 48 vacas Holandês blocadas baseando-se nos dias em lactação, formaram 12 grupos de quatro animais. Os animais foram aleatoriamente distribuídos entre as dietas à base de silagem de alfafa contendo quatro níveis de inclusão de melaço de cana seco (experimento um) ou líquido (experimento dois). No experimento um, as dietas continham 18% de PB e 0, 4, 8 ou 12% de melaço seco, em substituição ao milho úmido ensilado,

correspondendo a 2,6, 4,2, 5,6 ou 7,2% de açúcar total. Houve aumento linear no consumo de matéria seca e resposta quadrática sobre produção e teor de gordura no leite com o incremento de açúcar na dieta. Apesar do maior consumo, não foi observado efeito sobre a produção de leite. No experimento dois, as dietas continham 15,6% de PB e 0, 3, 6, ou 9% de melaço de cana líquido com 2,6, 4,9, 7,4 e 10% de açúcar total, respectivamente. Foi observado efeito quadrático sobre consumo, produção de leite e de proteína. Não houve efeito de tratamento sobre teor e produção de gordura. Como mono e dissacarídeos contêm, respectivamente, 90 e 95% da energia utilizável do amido, em razão das diferenças no balanço de massa (HALL, 2004), os autores propuseram que a energia na dieta foi diluída, quando melaço substituiu silagem de milho úmido, que poderia explicar parte do efeito negativo observado nos maiores incrementos de melaço. Em equações de regressão, baseadas na produção de leite e seus componentes, foram sugeridos que o nível ótimo de açúcar dietético seria ao redor de 5,0%, obtido com a adição de 2,4% de melaço seco ou líquido em dietas basais contendo 2,6% de açúcar.

Sannes, Messman e Vagnoni (2002) observaram que a adição de 3% de sacarose, em substituição ao milho moído a dietas com 17 e 18,5% de PB, não afetou o consumo de matéria seca, mas deprimiram as produções de leite, gordura, proteína e lactose, independente do nível proteico. A produção de proteína microbiana foi 2091 g/d na dieta sem sacarose e 1981 g/d com adição de açúcar. O menor desempenho observado nos animais que receberam dietas acrescidas de sacarose foi atribuído à menor síntese de proteína microbiana observada nesse tratamento.

Cinquenta e duas vacas Holandês, sendo 28 primíparas e 24 múltiparas, foram aleatoriamente alocadas a uma de duas dietas, diferindo na concentração de sacarose, logo após o parto, por um período de quatro semanas (PENNER; OBA, 2009). As dietas continham 8,4 ou 4,7% de açúcar na MS. O consumo de

matéria seca foi maior na dieta com alta inclusão de açúcar comparativamente à com baixa inclusão (18,3 *versus* 17,2 kg/d), sugerindo novamente um efeito positivo da sacarose sobre a palatabilidade da dieta ou, ainda, aumento na taxa de passagem da digesta (SUTOH; OBARA; MIYAMOTO, 1996). A produção diária de leite não diferiu entre tratamentos (33 kg/d), possivelmente porque o teor de açúcar na dieta com alto açúcar foi superior ao nível ótimo de 5,0% sugerido por Broderick e Radloff (2004). A produção de gordura tendeu a aumentar na dieta com alto teor de açúcar (1,44 *versus* 1,35 kg/d). Os autores observaram que as vacas no tratamento com 8,4% de açúcar apresentaram maiores concentrações de β -hidroxibutirato (BHBA, 17,5 *versus* 10,5 mg/dL), e AGNE (344 *versus* 280 μ Eq/L), sugerindo maior mobilização de gordura, e que a correlação entre BHBA e produção de gordura no leite foi positiva ($r=0,308$, $P<0,001$), assim como a correlação entre NEFA e produção de gordura ($r=0,384$, $P<0,001$).

Em um estudo no qual vacas leiteiras foram alimentadas com dietas cujo principal volumoso foi azevém fresco, a substituição de milho moído por 5% de sacarose não afetou o consumo de matéria seca (22,8 kg/d), nem a produção de leite (39,1 kg/d) e de seus constituintes (MCCORMICK et al., 2001). Entretanto, a produção de leite diminuiu quando as dietas contendo açúcar foram suplementadas com 7,5% de proteína não degradável no rúmen (PND), comparativamente àquelas suplementadas com 5,5% de PND (37,5 *versus* 39,8 kg/d), sugerindo que a degradabilidade ruminal da proteína pode influenciar na resposta à suplementação com sacarose.

Martel et al. (2011) substituíram milho moído por 0, 2,5 ou 5 % da MS dietética por melaço de cana. Doze vacas Holandês, com 134 ± 37 dias em lactação, receberam os tratamentos em quatro quadrados latinos 3x3 conduzidos simultaneamente. O aumento na inclusão de açúcar aumentou o teor de gordura no leite, mas deprimiu a produção de leite e proteína. Esses mesmos

pesquisadores conduziram um segundo experimento, utilizando sete vacas Holandês (220 ± 18 dias em lactação), em delineamento do tipo reversão simples. Os tratamentos foram zero ou 5% de melaço de cana na dieta em substituição ao milho moído. A adição de melaço aumentou o teor de gordura no leite (2,71 e 2,94%, respectivamente), mas não afetou o consumo, a produção de leite e de proteína.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução autorizativa nº 2781**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/atrea20112781.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2011.
- AIELLO, R. J.; ARMENTANO, L. E. Gluconeogenesis in goat hepatocytes is affected by calcium, ammonia and other key metabolites but not primarily through cytosolic redox state. **Comparative Biochemistry and Physiology**, New York, v. 88B, n. 1, p. 193-201, Feb. 1987.
- ALLEN, M. S. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, n. 7, p. 1598-1624, July 2000.
- ALLEN, M. S.; BRADFORD, B. J.; OBA, M. Board-invited review: the hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, n. 5, p. 3317-3334, May 2009.
- ALLEN, M. S.; LONGUSKI, R. A.; YING, Y. Endosperm type of dry ground corn grain affects ruminal and total tract digestion of starch in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 1, p. 529, 2008. Abstract.
- ANDRADE FILHO, R. et al. Degradabilidade ruminal *in situ* de grãos de milho maduros do tipo *flint* ou dentado, secos ou reconstituídos e ensilados. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47., 2010, Salvador. **Anais...** Salvador: SBZ, 2010a. 1 CD-ROM.
- _____. Reconstituição, inoculação e ensilagem de grãos de milho maduros. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47., 2010, Salvador. **Anais...** Salvador: SBZ, 2010b. 1 CD-ROM.
- ANIL, M. H.; FORBES, J. M. The roles of hepatic nerves in the reduction of food intake as a consequence of intraportal sodium propionate administration in sheep. **Quarterly Journal of Experimental Physiology**, Cambridge, v. 73, n. 4, p. 539-546, Jan. 1988.
- ARGYLE, J. L.; BALDWIN, R. L. Effects of amino acids and peptides on rumen microbial growth yields. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 72, n. 8, p. 2017-2027, Aug. 1989.

ARIELI, A. et al. Effect of site and source of energy supplementation on milk yield in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 2, p. 462-470, Feb. 2001.

BAILE, C. A. Metabolites as feedbacks for control of feed intake and receptor sites in goats and sheep. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 7, p. 819-826, 1971.

BALLONI, O. **Produção de bio-etanol a partir do melaço de soja**. Disponível em:

<http://www.oleosegorduras.org.br/imagens/file/Producao_bioetanol_mela%C3%A7o_soja_Saccharomyces_cerevisae.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2012.

BARON, V. S.; STEVENSON, K. R.; BUCHANAN-SMITH, J. G. Proteolysis and fermentation of grain-corn ensiled at several moisture levels and under several simulated storage methods. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 66, n. 2, p. 451-461, June 1986.

BEAUCHEMIN, K. A.; YANG, W. Z.; RODE, L. M. Effects of grain processing on the site and extent of digestion of beef feedlot finishing diets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 79, n. 7, p. 1925-1936, June 2001.

BERTHOUD, H. R. Anatomy and function of sensory hepatic nerves. **Anatomical Record**, New York, v. 280A, n. 1, p. 827-835, Aug. 2004.

BRADFORD, B. J.; ALLEN, M. S. Depression in feed intake by a highly fermentable diet is related to plasma insulin concentration and insulin response to glucose infusion. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 8, p. 3838-3845, Aug. 2007a.

_____. Milk fat responses to a change in diet fermentability vary by production level in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, n. 11, p. 3800-3807, Nov. 2004.

_____. Short communication: rate of propionate infusion within meals does not influence feeding behavior. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 5, p. 2305-2308, May 2007b.

BROCKMAN, R. P. Glucose and short-chain fatty acid metabolism. In: DIJKSTRA, J.; FORBES, J. M.; FRANCE, J. (Ed.). **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. 2nd ed. Cambridge: CABI, 2005. p. 291-310.

BRODERICK, G. A. et al. Effect on production of replacing dietary starch with sucrose in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 12, p. 4801-4810, Dec. 2008.

BRODERICK, G. A.; RADLOFF, W. J. Effect of molasses supplementation on production of lactating dairy cows fed diets based on alfafa and corn silage. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, n. 9, p. 2997-3009, Sept. 2004.

BURKHOLDER, K. M. et al. The effect of steam flaked or dry ground corn and supplemental phytic acid on nitrogen partitioning in lactating cows and ammonia emission from manure. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, n. 8, p. 2546-2553, Aug. 2004.

BUSATO JÚNIOR, F. J. **Processo industrial de produção do farelo concentrado de soja e melaço de soja**. Disponível em: <<http://www.patentesonline.com.br/processo-industrial-de-producao-do-farelo-concentrado-de-soja-e-melaco-de-soja-202950.html>>. Acesso em: 25 jan. 2010.

CALLISON, S. L. et al. Site of nutrient digestion by dairy cows fed corn of different particle size or steam-rolled. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 6, p. 1459-1467, June 2001.

CARARETO, R. **Fontes de nitrogênio, níveis de forragem e métodos de processamento de milho em rações para tourinhos da raça nelore terminados em confinamento**. 2011. 104 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2011.

CARVER, L. A. Sugar aids lactating dairy cattle production. **Feedstuffs**, Minnetonka, v. 79, n. 1, p. 1-4, 2007.

CHAJUSS, D. Soy Molasses: processing and utilization as a functional food. In: LIU, K. (Ed.). **Soybeans as functional foods and ingredients**. Missouri: AOCS, 2004. p. 132-144.

CHEN, J. et al. Effects of extrusion condition on sensory properties of corn meal extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 53, n. 1, p. 84-89, Jan. 1991.

CLARK, J. H.; KLUSMEYER, T. H.; CAMERON, M. R. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 75, n. 8, p. 2304-2323, Aug. 1992.

- COLEMAN, C. E. et al. The maize γ -zeins sequesters α -zeins and stabilizes its accumulation in protein bodies of transgenic tobacco endosperm. **The Plant Cell**, Rockville, v. 8, n. 12, p. 2335-2345, Dec. 1996.
- COORS, J. G.; CARTER, P. R.; HUNTER, R. B. Silage corn. In: HALLAUER, A. R. (Ed.). **Specialty corns**. Boca Raton: CRC, 1994. p. 305-340.
- CORONA, F. N.; OWENS, F. N.; ZINN, R. A. Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, n. 11, p. 3020-3031, Nov. 2006.
- CORONA, L. et al. Comparative effects of whole, ground, dry-rolled and steam-flaked corn on digestion and growth performance in feedlot cattle. **The Professional Animal Scientist**, Illinois, v. 21, n. 3, p. 200-206, June 2005.
- CORREA, C. E. S. et al. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, n. 11, p. 3008-3012, Nov. 2002.
- DAVIDE, M. C. **Controle genético de caracteres associados à dureza dos grãos e à degradabilidade ruminal de milhos tropicais**. 2009. 88 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- DAVIDE, M. C. et al. Assessment of genetic parameters of degradability in maize grains presenting different indentation scores. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 3, p. 347-352, May/June 2011.
- DEFOOR, P. J.; BROWN, M. S.; OWENS, F. N. Reconstitution of grain sorghum for ruminants. In: CATTLE GRAIN PROCESSING SYMPOSIUM, 1., 2006, Oklahoma. **Proceedings...** Oklahoma: CGP, 2006. p. 93-98.
- DILORENZO, N. et al. Effects of grain processing and supplementation with exogenous amylase on nutriente digestibility in fedlot diets. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 137, n. 1, p. 178-1884, Jan. 2011.
- DOMBRINK-KURTZMAN, M. A.; BIETZ, J. A. Zein composition in hard and soft endosperm of maize. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 70, n. 1, p. 105-108, Mar. 1993.
- DROUILLARD, J. S. et al. Soy molasses as a feed ingredient for finishing cattle. **Cattlemen's Day**, Dodge City, v. 5, n. 1, p. 89-92, 1999.

DUVICK, D. N. Protein granules of maize endosperm cells. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 5, p. 1337-1348, 1961.

EMERY, R. S.; LIESMAN, J. M.; HERDT, T. H. Metabolism of long chain fatty acids by ruminant liver. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 122, n. 3, p. 832-837, Mar. 1992.

FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C.; SEIB, P. A. Functionality of grain components in extrusion. **Cereal Foods World**, Minneapolis, v. 27, n. 10, p. 212-216, Oct. 1982.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273 p.

FRENCH, D. Chemical and physical properties of starch. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 37, p. 1048-1057, 1973.

GIBBON, B.; LARKINS, B. A. Molecular genetic approaches to developing quality protein maize. **Trends in Genetics**, London, v. 4, n. 4, p. 227-233, Apr. 2005.

GOODRICH, R. D.; BYERS, F. M.; MEISKE, J. C. Influence of moisture content, processing and reconstitution on the fermentation of corn grain. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 41, p. 876-881, 1975.

HALE, W. H. Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 37, p. 1075-1084, 1973.

HALL, M. B. Feeding sugar to ruminants. **Alternative Feeds for Livestock and Poultry**, London, v. 4, n. 1, p. 66-76, 2003.

_____. Terra incognita: updates on feeding nonfiber carbohydrates to dairy cows: yes, it does matter. In: FLORIDA RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM, 1., 2004, Los Angeles. **Proceedings...** Los Angeles: FRN, 2004. p. 1-8.

HALL, M. B.; HEREJK, C. Differences in yields of microbial crude protein from *in vitro* fermentation of carbohydrates. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 11, p. 2486-2493, Nov. 2001.

HALL, M. B.; WEIMER, P. J. Sucrose concentration alters fermentation kinetics, products, and carbon fates during in vitro fermentation with mixed ruminal microbes. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, n. 6, p. 1467-1478, June 2007.

HAMAKER, B. R. et al. Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 72, n. 5, p. 583-588, May 1995.

HARMON, D. L. Dietary influences on carbohydrases and small intestinal starch hydrolysis capacity in ruminants. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 122, n. 1, p. 203-210, Jan. 1992.

_____. Nutritional regulation of postruminal digestive enzymes in ruminants. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 76, n. 7, p. 2102-2111, July 1993.

_____. Understanding starch utilization in the small intestine of cattle. **Asian-Australian Journal of Animal Science**, Seoul, v. 22, n. 7, p. 915-922, July 2009.

HARMON, D. L.; MCLEOD, K. R. Glucose uptake and regulation by intestinal tissues: implications and whole-body energetics. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 79, n. 1, p. E59-E72, Jan. 2001.

HARPER, J. M. Extrusion of foods. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 11, p. 155-215, 1979.

HELDT, J. S. et al. Effects of different supplemental sugars and starch fed in combination with degradable intake protein on low-quality forage use by beef steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 10, p. 2793-2802, Oct. 1999.

HOFFMAN, P. C. et al. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, n. 5, p. 2465-2474, May 2011.

HOFFMAN, P. C.; SHAVER, R. D. **A guide to understanding prolamin**. Disponível em: <<http://www.das.psu.edu/research-extension/dairy/nutrition/pdf/shaver-prolamin-guide-2009.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2010.

- HOOVER, W. H. et al. Effects of nonstructural carbohydrate level and starch: sugar ratio on microbial metabolism in continuous culture of rumen contents. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 128, n. 3/4, p. 307-315, June 2006.
- HUNGATE, R. E. **The rumen and its microbes**. New York: Academic, 1966. 533 p.
- HUNTINGTON, G.; JUNELL, B. Starch digestion, glucose absorption and metabolism in beef cattle. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 3., 2010, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2010. p. 1-22.
- HUNTINGTON, G. B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, n. 3, p. 852-867, Mar. 1997.
- HUNTINGTON, G. B.; HARMON, D. L.; RICHARDS, C. J. Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, n. 1, p. E14-E24, Jan. 2006.
- IMCOPA. **Produção de etanol a partir de melaço de soja**: informações técnicas sobre o processamento e a composição do melaço de soja. Araucária, 2007. 22 p.
- KELLOG, D. W. Influence of sucrose on rumen fermentation pattern and milk fat content of cows fed a high-grain ration. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 52, p. 1601-1604, 1969.
- KELLOG, D. W.; OWEN, F. G. Relation of ration of sucrose level and grain content to lactation performance and rumen fermentation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 52, p. 657-662, 1969.
- KESSEL, J. S. van; RUSSELL, J. B. The effect of amino nitrogen on the energetics of ruminal bacteria and its impact on energy spilling. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 79, n. 7, p. 1237-1243, July 1996.
- KHALILI, H.; HUHTANEN, P. Sucrose supplementation in cattle given grass silage-based diet 1: digestion of organic matter and nitrogen. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 33, n. 3/4, p. 247-262, June 1991.

KNOWLTON, K. F. et al. Glucose metabolism and milk yield of cows infused abomasally or ruminally with starch. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 81, n. 12, p. 3248-3258, Dec. 1998.

KNOWLTON, K. F.; GLENN, B. P.; ERDMAN, R. A. Performance, ruminal fermentation, and site of starch digestion in early lactation cows fed corn grain harvested and processed differently. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 81, n. 12, p. 1972-1984, Dec. 1998.

KOKINI, J. L. The effect of processing history on chemical changes in single- and twin-screw extruders. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 4, n. 10, p. 324-329, Oct. 1993.

KOTARSKI, K. K.; WANISHA, R. D.; THURN, K. K. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 122, n. 1, p. 178-190, Jan. 1992.

KREIKEMEIER, K. K. et al. Influence of dietary forage and feed intake on carbohydrase activities and small intestinal morphology of calves. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, n. 9, p. 2916-2929, Sept. 1990.

KREIKEMEIER, K. K.; HARMON, D. L. Abomasal glucose, maize starch and maize dextrin infusions in cattle: small-intestinal disappearance, net portal glucose flux and ileal oligosaccharide flow. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 73, n. 5, p. 763-772, May 1995.

LAI, L. S.; KOKINI, J. L. Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion: a review. **Biotechnology Progress**, New York, v. 7, n. 3, p. 251-266, May/June 1991.

LARSEN, M.; KRISTENSEN, N. B. Effect of abomasal glucose infusion on splanchnic and whole-body glucose metabolism in periparturient dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, n. 3, p. 1071-1083, Mar. 2009.

LEEK, B. F. Sensory receptors in the ruminant alimentary tract. In: MILLIGAN, L. P.; GROVUM, W. L.; DOBSON, A. (Ed.). **Control of digestion and metabolism in ruminants**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1986. p. 3-18.

LOPES, J. C. et al. Type of corn endosperm influences nutrient digestibility in lactating dairy cow. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, n. 9, p. 4541-4548, Sept. 2009.

MACHADO, R. P. **Produção de etanol a partir do melaço de soja**. 1999. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

MARTEL, C. A. et al. Dietary molasses increases ruminal pH and enhances ruminal biohydrogenation during milk fat depression. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, n. 8, p. 3995-4004, Aug. 2011.

MATTHÉ, A. et al. Effect of starch application into the proximal duodenum of ruminants on starch digestibility in the small and total intestine. **Archives of Animal Nutrition**, Montreux, v. 55, n. 4, p. 351-369, Apr. 2001.

MCALLISTER, T. A. et al. Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, n. 2, p. 571-579, June 1990.

MCCORMICK, M. E. et al. Effect of protein source and soluble carbohydrate addition on rumen fermentation and lactation performance of Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 7, p. 1686-1697, July 2001.

MCKINNEY, L. J. Grain processing: particle size reduction methods. In: CATTLE GRAIN PROCESSING SYMPOSIUM, 1., 2006, Oklahoma. **Proceedings...** Oklahoma: CGP, 2006. p. 42-45.

MOURINO, F.; AKKARAWONGSA, R.; WEIMER, J. Initial pH as a determinant of cellulose digestion rate by mixed ruminal microorganisms *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 4, p. 848-859, Apr. 2001.

MU-FORSTER, C.; WASSERMAN, B. P. Surface localization of zein storage proteins in starch granules from maize endosperm: proteolytic removal by thermolysin and *in vitro* cross-linkage of granule-associated polypeptides. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 116, n. 4, p. 1563-1571, Apr. 1998.

NGONYAMO-MAJEE, D. et al. Relationship between kernel vitreousness and dry matter degradability for diverse corn germplasm: II., ruminal and post-ruminal degradabilities. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 142, n. 3/4, p. 259-274, May 2008.

NOCEK, J. E.; TAMMINGA, S. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 3/4, p. 3598-3629, May 1991.

OBA, M. Review: effects of feeding sugars on productivity of lactating cows. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 91, n. 1, p. 37-46, Jan. 2011.

OBA, M.; ALLEN, M. S. Dose-response effects of intraruminal infusion of propionate on feeding behavior of lactating cows in early or midlactation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 9, p. 2922-2931, Sept. 2003a.

_____. Effect of corn grain conservation method on feeding behavior and productivity of lactating dairy cow at two dietary starch concentration. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 1, p. 174-183, Jan. 2003b.

_____. Effects of corn grain conservation method on ruminal digestion kinetics for lactating dairy cows at two dietary starch concentration. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 1, p. 184-194, Jan. 2003c.

_____. Effects of diet fermentability on efficiency of microbial nitrogen production in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 1, p. 195-207, Jan. 2003d.

OWENS, F. N.; ZINN, R. A. Corn grain for cattle: influence of processing on site and extent of digestion. In: SOUTHWEST NUTRITION CONFERENCE, 21., 2005, Tucson. **Proceedings...** Tucson: SNC, 2005. p. 86-112.

OWENS, F. N.; ZINN, R. A.; KIM, Y. K. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 63, n. 5, p. 1634-1648, Nov. 1986.

PAIVA, E. et al. Quantitation and distribution of γ -zein in the endosperm of maize kernels. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, n. 3, p. 276-279, Mar. 1991.

PENNER, G. B.; GUAN, L. L.; OBA, M. Effect of feeding Fermenten on ruminal fermentation in lactating Holstein cows fed two dietary sugar concentrations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, n. 4, p. 1725-1733, Apr. 2009.

PENNER, G. B.; OBA, M. Increasing dietary sugar concentration may improve dry matter intake, ruminal fermentation, and productivity of dairy cows in the postpartum phase of the transition period. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, n. 7, p. 3341-3353, July 2009.

- PEREIRA, M. N. **Milho reidratado e ensilado na alimentação de vacas leiteiras**. Disponível em: <[http://www.grupodoleite.com.br/site/arquivos/Milho%20reidratado%20\(b%C3%A1sico\).pdf](http://www.grupodoleite.com.br/site/arquivos/Milho%20reidratado%20(b%C3%A1sico).pdf)>. Acesso em: 30 jun. 2011.
- PEREIRA, M. N. et al. Ruminal degradability of hard or soft texture corn grain at three maturity stages. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 4, p. 358-363, Apr. 2004.
- PEREIRA, R. C. et al. Relationship between structural and biochemical characteristics and texture of corn grain. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 7, n. 2, p. 498-508, Feb. 2008.
- PHILIPPEAU, C.; LANDRY, J.; MICHALET-DOREAU, B. Influence of the protein distribution of maize endosperm on ruminal starch degradability. **Journal of the Science Food and Agriculture**, London, v. 80, n. 3, p. 404-408, Feb. 2000.
- PHILIPPEAU, C.; MICHALET-DOREAU, B. Influence of genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 68, n. 1, p. 25-35, Feb. 1997.
- PHILIPPEAU, C.; MONREDON, F. Le D. de; MICHALET-DOREAU, B. Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 3, p. 238-243, Feb. 1999.
- PLASCENCIA, A.; ZINN, R. A. Influence of the flake density on the feeding value of steam-processed corn in diets for lactating cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 2, p. 310-316, Feb. 1996.
- PRATT, R. C. et al. Association of zein classes with maize kernel hardness. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 72, n. 1, p. 162-167, Feb. 1995.
- REYNOLDS, C. K. Production and metabolic effects of site of starch digestion in dairy cattle. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 130, n. 1, p. 78-94, Jan. 2006.
- REYNOLDS, C. K. et al. Effects of post-rumen starch infusion on milk production and energy metabolism in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 10, p. 2250-2259, Oct. 2001.

- RIBEIRO, C. V. D. M.; KARNATI, S. K. R.; EASTRIDGE, M. L. Biohydrogenation of fatty acids and digestibility of fresh alfafa or alfafa hay plus sucrose in continuous culture. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 11, p. 4007-4017, Nov. 2005.
- ROOKE, J. A.; LEE, N. H.; ARMSTRONG, D. G. The effects of intraruminal infusions of urea, casein, glucose syrup and a mixture of casein and glucose syrup on nitrogen digestion in the rumen of cattle receiving grass-silage diets. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 57, n. 1, p. 89-98, Mar. 1987.
- ROONEY, L. W.; PFLUGFELDER, R. L. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 63, n. 5, p. 1607-1623, Nov. 1986.
- SANNES, R. A.; MESSMAN, M. A.; VAGNONI, D. B. Form of rumen-degradable carbohydrate and nitrogen on microbial protein synthesis and protein efficiency of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, n. 4, p. 900-908, Apr. 2002.
- 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. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 82, n. 4, p. 728-737, Apr. 1999.
- SHABI, Z. et al. Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, nutrient digestibility and milk yield and composition in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 82, n. 6, p. 1252-1260, June 1999.
- SHULL, J. M. et al. Development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) endosperm in varieties of varying hardness. **Food Structure**, Chicago, v. 9, n. 3, p. 253-267, Mar. 1990.
- SIQUEIRA, P. F.; KARP, S. G.; CARVALHO, J. C. Production of bio-ethanol from soybean molasses by *Saccharomyces cerevisiae* at laboratory, pilot and industrial scales. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 17, p. 8156-8163, Nov. 2008.
- SNIFFEN, C. J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II., carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, n. 11, p. 3562-3577, Nov. 1992.

- SODERLUND, S.; OWENS, F. Corn hybrid by processing method considerations. In: CATTLE GRAIN PROCESSING SYMPOSIUM, 1., 2006, Oklahoma. **Proceedings...** Oklahoma: CGP, 2006. p. 62-72.
- SOEST, P. J. van. **Nutritional ecology of ruminant**. 2nd ed. Ithaca: Cornell University, 1994. 476 p.
- STAIANO-COICO, L. et al. TGF-alpha and TGF-beta expression during sodium-Nbutyrate- induced differentiation of human keratinocytes: evidence for subpopulations-specific up-regulation of TGFbeta mRNA in suprabasal cells. **Experimental Cell Research**, Estocolmo, v. 191, n. 2, p. 286-291, Dec. 1990.
- STROBEL, H. J.; RUSSELL, J. B. Effect of pH and energy spilling on bacterial protein synthesis by carbohydrate-limited cultures of mixed rumen bacteria. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 69, n. 11, p. 2941-2947, Nov. 1986.
- SUTOH, M.; OBARA, Y.; MIYAMOTO, S. The effect of sucrose supplementation on kinetics of nitrogen, ruminal propionate and plasma glucose in sheep. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 126, n. 1, p. 99-105, Jan. 1996.
- SZASZ, J. I. et al. Influence of endosperm vitreousness and kernel moisture at harvest on site and extent of digestion of high-moisture corn by feedlot steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, n. 9, p. 2214-2221, Sept. 2007.
- TAYLOR, C. C.; ALLEN, M. S. Corn grain endosperm type and brown midrib 3 corn silage: site of digestion and ruminal digestion kinetics in lactating cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 4, p. 1413-1424, Apr. 2005.
- THEURER, C. B. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 63, n. 5, p. 1649-1662, Nov. 1986.
- THEURER, C. B. et al. Invited review: summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 82, n. 9, p. 1950-1959, Sept. 1999.
- TONROY, B. R.; PERRY, T. W.; BEESON, W. M. Dry, ensiled high moisture, ensiled reconstituted high moisture and volatile fatty acid treated high moisture corn for growing finishing beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 39, p. 931-936, 1974.

TRICARICO, J. M.; JOHNSTON, J. D.; DAWSON, K. A. Dietary supplementation of ruminal diets with an *Aspergillus oryzae* α -amylase. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 145, n. 1, p. 136-150, Jan. 2008.

VAIR, C.; WARD, G. M.; FRANDSON, R. D. Influence of sodium salts of volatile fatty acids on rumen development in the young calf. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 43, p. 890-902, 1960.

VALLIMONT, J. E. et al. Effects of replacing dietary starch with sucrose on ruminal fermentation and nitrogen metabolism in continuous culture. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, n. 12, p. 4221-4229, Dec. 2004.

WATSON, S. A. Structure and composition. In: WATSON, S. A.; RAMSTAD, E. R. (Ed.). **Corn: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1987. p. 52-83.

WOLF, M. J. et al. Structure of the mature corn kernel: III., microscopic structure of the endosperm of dent corn. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 29, p. 349-361, 1952.

YANG, W. Z.; BEAUCHEMIN, K. A.; RODE, L. M. Effects of grain processing, forage to concentrate ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 10, p. 2203-2216, Oct. 2001.

ZINN, R. A.; OWENS, F. A.; WARE, R. A. Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, n. 5, p. 1145-1156, May 2002.

CAPÍTULO 2

DESEMPENHO DE VACAS LEITEIRAS ALIMENTADAS COM MILHO MADURO MOÍDO, EXTRUSADO OU REIDRATADO E ENSILADO

RESUMO

O milho utilizado no Brasil origina-se de grãos de textura dura do endosperma, cuja digestibilidade é baixa. A proteólise e o aumento no teor de umidade do grão de milho durante a ensilagem pode aumentar a digestibilidade. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o efeito da reidratação e ensilagem do milho maduro sobre o desempenho e a digestibilidade de nutrientes em vaca leiteiras. Um híbrido de milho com textura dura (AG 2040) foi finamente moído e reidratado a 43,7% de umidade na ensilagem (MRE). Os outros tratamentos foram o mesmo híbrido moído no mesmo tamanho de partícula do ensilado (MM) ou extrusado (MEx). Quinze vacas Holandês receberam os tratamentos em cinco quadrados latinos 3x3 conduzidos simultaneamente, com períodos de 21 dias e mensurações realizadas na terceira semana de cada período. Dois contrastes pré-planejados foram avaliados: 1) MM *versus* MEx. 2) MM *versus* MRE. A composição da dieta (em % da MS) foi: silagem de milho (41,5), farelo de soja (21,5), polpa cítrica (17,5), PB (17,3), FDN (30,9), CNF (39,1). O teor de milho e amido foi de 17,0 e 27,2% da MS, respectivamente. O MEx deprimiu as secreções diárias de energia e gordura no leite e o consumo ($P<0,05$) e tendeu a aumentar o teor de proteína no leite ($P=0,09$). Houve tendência de aumento na digestibilidade da matéria orgânica ($P=0,10$) e de queda no teor de N-ureico no leite com MRE ($P=0,06$). Tanto MEx quanto MRE resultaram em um pequeno aumento na conversão do alimento ingerido em leite ($P<0,15$). O tempo diário de mastigação foi reduzido com MRE e MEx ($P<0,06$), enquanto o tempo de ingestão por unidade de dieta consumida tendeu a ser maior nesses tratamentos ($P<0,14$). O MEx e MRE reduziram o consumo por refeição ($P<0,02$). Baseado na resposta em desempenho animal, a fermentabilidade do amido no grão reidratado e ensilado parece ser intermediária à do milho maduro finamente moído e à do extrusado.

Palavras-chave: Processamento do milho. Eficiência alimentar. Produção de Leite. Comportamento ingestivo. Milho duro.

Formatado: Português (Brasil)

ABSTRACT

The corn used in Brazil comes from grains of hard endosperm texture, which digestibility is low. Proteolysis and the increase in moisture content of corn during ensiling can increase digestibility. The aim of this study was to evaluate the effect of rehydration and ensiling of mature corn on performance and nutrient digestibility of dairy cows. A hybrid corn with hard texture (AG 2040) was finely ground and rehydrated to 43.7% moisture at ensiling (REC). The other treatments were the same hybrid ground in the same particle size of the ensiled (CG) or extruded (ExC). Fifteen Holstein cows received treatments in five 3x3 Latin squares, conducted simultaneously, with 21-day periods and the measurements performed on the third week of each period. Two preplanned contrasts were evaluated: 1) CG *versus* ExC. 2) CG *versus* REC. Diet composition (% of DM) was: corn silage (41.5), soybean (21.5), citrus pulp (17.5), CP (17.3), NDF (30.9), NFC (39.1). The content of corn and starch were 17.0 and 27.2% DM, respectively. The ExC depressed daily secretion of milk energy and fat and intake ($P<0.05$) and tended to increase milk protein content ($P=0.09$). There was a tendency for increased organic matter digestibility ($P=0.10$) and decreased milk N-urea concentration with REC. Both ExC and REC resulted in a slight increase in the conversion of ingested feed into milk ($P<0.15$). Daily time chewing was reduced with ExC and ExC ($P<0.06$), while the ingestion time per unit of consumed diet tended to be higher in these treatments ($P<0.14$). REC and ExC reduced intake per meal ($P<0.02$). Based on animal performance, the fermentability of starch in rehydrated and ensiled corn seems to be intermediate to that of the finely ground mature corn and the extruded.

Keywords: Corn processing. Feed efficiency. Milk production. Feeding behavior. Flint corn.

Formatado: Inglês (EUA)

1 INTRODUÇÃO

Grãos de cereais, como o milho, são o principal concentrado energético utilizado para vacas leiteiras. Neste alimento a energia é predominantemente proveniente de amido, digerido tanto no rúmen quanto nos intestinos. Prover amido degradável no rúmen é necessário para maximizar a síntese de proteína microbiana e reduzir a perda ruminal de amônia (CLARK; KLUSMEYER; CAMERON, 1992), enquanto a redução na perda fecal de amido aumenta a eficiência digestiva de vacas leiteiras. A proporção do amido digerido no rúmen ou no intestino pode ser manipulada pelo método de processamento do milho (THEURER et al., 1999). Maior digestão ruminal do amido pode aumentar a secreção de proteína no leite (SANTOS et al., 1999), mas pode deprimir o consumo por alteração do comportamento ingestivo (ALLEN, 2000), aumentar a propensão à acidose ruminal e deprimir o teor de gordura do leite (OBA; ALLEN, 2003b). A resposta em desempenho de vacas leiteiras ao processamento do milho é variável e dependente, dentre outros fatores, da demanda energética do animal (OBA; ALLEN, 2003a), do tipo de processamento e da composição da dieta formulada (OWENS; ZINN; KIM, 1986).

A opção da indústria brasileira de híbridos de milho foi por grãos de textura dura, com alta vitreosidade do endosperma. Grãos de alta vitreosidade têm alta proporção de endosperma vítreo, em relação ao endosperma farináceo, resultado do maior conteúdo de prolamina (zeína) envolvendo os grânulos de amido. Quanto maior a vitreosidade do grão, menor a digestibilidade do amido no rúmen (CORREA et al., 2002; MCALLISTER et al., 1990; PHILIPPEAU; MICHALET-DOREAU, 1997; PHILIPPEAU; MOREDON; MICHALET-DOREAU, 1999; NGONYAMO-MAJEE et al., 2008; TAYLOR; ALLEN, 2005). Além do efeito direto da vitreosidade sobre a solubilidade e o acesso

enzimático ao amido no grão (MCALLISTER et al., 1990), maior fluxo intestinal de amido não degradável no rúmen em dietas, contendo milho duro, pode exceder a capacidade digestora de amido do intestino delgado (MATTHÉ et al., 2001), resultando em queda na digestibilidade do amido no intestino e no trato digestivo total (ALLEN; LONGUSKI; YING, 2008; TAYLOR; ALLEN, 2005), especialmente para grãos duros em estágio maduro de maturação (PEREIRA et al., 2004). A resposta do grão ao processamento parece ser inversamente proporcional à sua digestibilidade na forma original (THEURER, 1986). Assim, grãos de milho duro, típicos do Brasil, podem responder mais a processamento que grãos de endosperma farináceo (ANDRADE FILHO et al., 2010a; SODERLUND; OWENS, 2006).

A ensilagem de grãos pode melhorar a digestibilidade ruminal de milho maduro finamente moído (ANDRADE FILHO et al., 2010a). Durante a ensilagem ocorre proteólise por enzimas microbianas da matriz proteica envolvendo os grânulos de amido, capazes de atuar positivamente sobre a digestibilidade do amido em grãos de alta vitreosidade (BARON; STEVESON; BUCHANAN-SMITH, 1986; HOFFMAN et al., 2011). Na ensilagem de grãos maduros é necessária a reconstituição para obter teor de umidade superior a 30% da matéria natural (ANDRADE FILHO et al., 2010b), propiciando o armazenamento e posterior uso na alimentação animal (DEFOOR; BROWN; OWENS, 2006; GOODRICH; BYERS; MEISKE, 1975; TONROY; PERRY; BEESON, 1974). Esta técnica propicia a compra ou a colheita de milho maduro para armazenamento na fazenda, eliminando os custos de transporte e armazenamento em silos graneleiros e de mão de obra para moagem do grão ao longo do ano, associando vantagens operacionais e econômicas ao ganho potencial em digestibilidade.

Alternativamente, a extrusão (LAI; KOKINI, 1991), um processamento industrial, pode aumentar a digestibilidade do amido no rúmen e no trato

digestivo total. Shabi et al. (1999) observaram que a substituição de milho moído por milho extrusado induziu ganho em digestibilidade e reduziu os teores de amônia no rúmen e ureia no plasma de vacas leiteiras, mas induziu depressão do consumo e da produção de leite. O alto custo industrial deste processo requer a quantificação da resposta em desempenho animal, necessária para dimensionar a resposta financeira ao uso do insumo.

Ojetivou-se, neste trabalho, avaliar a resposta de vacas leiteiras em desempenho, digestibilidade e comportamento alimentar à substituição de milho de textura dura do endosperma colhido em estágio maduro de maturação e finamente moído pelo mesmo híbrido reidratado e ensilado ou milho extrusado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Quinze vacas Holandês, com 160 ± 84 dias em lactação no início do período experimental, formaram cinco grupos de três animais com base na ordem de parto e produção de leite. Dentro de cada grupo, os animais foram aleatoriamente alocados a uma sequência de três tratamentos, em delineamento do tipo Quadrado Latino 3x3, conduzidos simultaneamente, com períodos de 22 dias. Os tratamentos foram: milho finamente moído (MM), milho reidratado e ensilado (MRE) e milho extrusado (MEx).

Um híbrido de milho com textura dura do endosperma (AG2040. Agroceres Sementes, Rio Claro, SP) foi colhido em estágio maduro de maturação (menos de 15% de umidade do grão). Parte do milho *in natura* foi finamente moído em peneira de dois mm em moinho do tipo martelo durante o período experimental de coleta de dados. O mesmo procedimento de moagem foi utilizado em outra fração da mesma partida de milho, que foi reidratada e ensilada com inoculante bacteriano (Biomax HMC. Chr Hansen Biosystems, Milwaukee, EUA) por 358 dias. O teor de umidade da silagem utilizada durante o experimento foi 43,7% da matéria natural. O milho extrusado foi produzido industrialmente (D’Vita Rações, Bom Despacho, MG).

As vacas foram alimentadas individualmente em confinamento total do tipo *tie stall* com camas de areia e foram ordenhadas três vezes por dia. A mistura de todos os ingredientes dietéticos foi realizada duas vezes por dia para fornecimento da dieta total em quantidade suficiente para prover pelo menos 15% do oferecido como sobra diária. O teor de matéria seca da silagem e do milho reidratado e ensilado foi monitorado semanalmente e, se necessário, a inclusão de matéria natural de cada ingrediente foi ajustada para manter constância na proporção dos mesmos na matéria seca dietética.

A produção diária de leite e o consumo de matéria seca entre os dias 15 e 18 de cada período foi utilizada para comparar tratamentos. Amostras do leite de cada ordenha foram obtidas nos dias 15, 16 e 17 de cada período. Nas amostras diárias foram analisados os teores de proteína, gordura, lactose, sólidos totais e N-ureico (Programa de Análise de Rebanhos Leiteiros do Paraná, Curitiba, PR). A secreção diária de energia no leite foi calculada pela equação: $[(0,0929 \times \% \text{gordura}) + (0,0547 \times \% \text{de proteína}) + (0,0395 \times \% \text{de lactose})] \times \text{kg de leite}$ (NUTRIENT..., 2001).

Entre os dias 16 e 20 de cada período experimental, amostras da silagem de milho, de cada ingrediente concentrado e das sobras alimentares de cada vaca foram coletadas e congeladas para composição de amostras compostas por período, por mistura de quantidades idênticas de matéria natural das amostras diárias. As amostras compostas foram pré-secas em estufa ventilada por 72 horas a 55°C, trituradas em peneira de 1 mm em moinho do tipo Thomas-Willey, e uma sub-amostra foi desidratada a 100°C por 24 horas para determinação do teor de matéria seca. A proteína bruta foi analisada por um destilador a vapor do tipo Microkjeldhal (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS - AOAC, 1975). As análises de extrato etéreo foram realizadas segundo a AOAC (1990). As cinzas foram determinadas por incineração da amostra a 550°C por 8 horas. O teor de FDN foi analisado em um determinador de fibra (TE-149, Tecnal, Piracicaba, SP), usando amilase e sulfito de sódio. O teor de amido foi determinado pelo método de Back Knudsen modificado (HALL, 2009).

A ingestão de nutrientes foi calculada pela multiplicação do teor de nutrientes nos compostos experimentais pelo oferecido de cada ingrediente, seguido da subtração da quantidade de nutrientes presentes nas sobras alimentares. O teor de nutrientes na dieta consumida foi calculado dividindo o consumo total de nutrientes pelos animais no tratamento pelo consumo de matéria seca (CMS) total no mesmo tratamento (Tabela 1).

Tabela 1 Composição das dietas oferecidas em ingredientes e das dietas consumidas em nutrientes nos tratamentos milho reidratado e ensilado (MRE), moído (MM) ou extrusado (MEx)

	MRE	MM	MEx
	% da matéria seca		
Silagem de milho	41,8	41,3	41,3
Farelo de Soja	21,6	21,5	21,3
Polpa de citros	17,6	17,5	17,4
Milho reidratado e ensilado	16,7		
Milho moído fino		17,4	
Milho extrusado			17,7
Óxido de magnésio	0,2	0,2	0,2
Bicarbonato de sódio	0,8	0,8	0,8
Calcário calcítico	0,7	0,7	0,7
NaCl	0,3	0,3	0,3
Minerais e vitaminas ¹	0,3	0,3	0,3
Proteína bruta	17,0	17,3	17,6
FDN total ²	30,6	31,2	30,8
FDN de silagem de milho	18,7	18,7	18,4
Extrato etéreo	5,1	5,1	5,1
Cinzas	7,3	7,2	7,6
Carboidratos não fibrosos ²	39,7	38,9	38,8
Amido	26,2	27,6	27,6
	% da matéria natural		
Matéria seca	49,8	50,6	48,1

¹ Minerais e Vitaminas: 18,5% de Ca; 15% de P; 3,0% de Mg; 3,0% de S; 240 ppm de Co; 3000 ppm de Cu; 8000 ppm de Mn; 12000 ppm de Zn; 90 ppm de Se; 180 ppm de I; 1.000.000 UI/kg Vit. A; 250.000 UI/kg Vit. D; 6.250 UI/kg Vit E

² FDN = Fibra em detergente neutro. CNF = Carboidratos não fibrosos = 100 – (PB + FDN + EE + Cinzas)

O peso vivo e a condição corporal de cada vaca foram mensurados no dia 20 de cada período com o intuito de descrever as unidades experimentais. A condição corporal foi avaliada visualmente em escala de 1 a 5, sendo 1 representativo de magra e 5 representativo de gorda (WILDMAN et al., 1982). A condição corporal foi avaliada por três avaliadores independentes e o escore médio de cada vaca foi calculado.

A digestibilidade aparente no trato digestivo total da matéria seca, da material orgânica, da FDN, da matéria orgânica não-FDN e do amido foi

determinada por mensuração da produção fecal por coleta total de fezes realizada por 8 horas ininterruptas nos dias 18 a 20 de cada período. A coleta de fezes em cada dia foi iniciada com 8 horas de atraso com relação ao dia anterior. As fezes de cada vaca foram imediatamente congeladas durante a coleta e formaram uma amostra composta ao final de cada período. Os compostos fecais foram desidratados, e os teores de FDN, amido e cinzas determinados como previamente descrito. O consumo diário de matéria orgânica digestível (CMOD) foi calculado multiplicando o consumo de matéria orgânica mensurado entre os dias 15 a 18 pela digestibilidade da matéria orgânica mensurada entre os dias 18 a 20. As seguintes eficiências alimentares foram calculadas: relação entre a produção de leite e o CMS (Eficiência 1) e as relações entre a secreção diária de energia no leite e o CMS (Eficiência 2) e o CMOD (Eficiência 3).

Simultaneamente à coleta de fezes, foi realizada coleta total de urina para estimativa da excreção diária de alantoína, utilizada como medida relativa da síntese diária de proteína microbiana no rúmen. Toda a urina foi inserida em galões contendo 200 ml de solução de ácido sulfúrico a 10%. O volume urinário foi mensurado, uma amostra foi formada por vaca, sendo esta então congelada a -20°C após diluição em quatro partes de água destilada. O teor de alantoína foi mensurado segundo Chen e Gomes (1995). A excreção diária de alantoína dividida pelo CMOD foi utilizada como estimativa da eficiência de síntese de proteína microbiana no rúmen.

No dia 21 de cada período foi avaliada a atividade mastigatória por observação visual da atividade bucal de cada animal a cada cinco minutos do dia por 24 horas contínuas. As atividades bucais consideradas foram de ingestão de alimento, de ingestão de água, de ruminação e de ócio. O tempo de mastigação foi definido como a soma dos tempos de ingestão de alimento e de ruminação. Os tempos de mastigação, ingestão e ruminação por unidade de matéria seca consumida foram calculados utilizando-se o CMS mensurado no dia da

determinação da atividade mastigatória. O tempo da primeira refeição após o fornecimento matinal de alimentos (refeição condicionada) foi cronometrado. O número de refeições diárias e o CMS por refeição foram calculados.

No dia 22 de cada período, o teor de nitrogênio ureico no plasma (NUP) foi mensurado em amostras obtidas nos tempos 0, 2, 4, 6, 9, 12, 15, 18, 21 e 24 após a alimentação matinal. O sangue, colhido em tubos de vacutainer contendo EDTA, foi centrifugado a $2.118 \times g$ por 10 minutos, para obtenção do plasma, que foi armazenado a -20°C até a análise. O teor de NUP foi determinado por método colorimétrico-enzimático utilizando kit comercial (Ureia 500, Doles Reagentes e Equipamentos para Laboratórios LTDA, Goiânia, GO).

Análises estatísticas

Os dados foram analisados pelo procedimento GLM do Statistical Analysis System Institute - SAS Institute (1985) com o seguinte modelo: $Y_{ijklm} = \mu + Q_i + V_{j(i)} + P_k + T_l + \varepsilon_{ijkl}$, onde: μ = Média geral; Q_i = Efeito de quadrado ($i = 1$ a 5); $V_{j(i)}$ = Efeito de vaca dentro de quadrado ($j = 1$ a 15); P_k = Efeito de período ($k = 1$ a 3); T_l = Efeito de tratamento ($l = \text{MM, MRE, MEx}$); ε_{ijkl} = erro residual assumindo independentemente e identicamente distribuído em uma distribuição normal com média 0 e variância σ^2 .

Dois contrastes pré-planejados foram avaliados: MM *versus* MRE e MM *versus* MEx. Valores de probabilidade para os contrastes abaixo de 0,15 foram considerados como tendência fraca, abaixo de 0,10 como tendência e abaixo de 0,05 como significativos.

O teor de NUP mensurado ao longo do tempo foi analisado como medidas repetidas pelo procedimento MIXED do SAS Institute (LITTELL; HENRY; AMMERMAN, 1998). Ao modelo anteriormente descrito foram acrescentados os efeitos de tempo de amostragem (0, 2, 4, 6, 9, 12, 15, 18, 21 e 24) e sua

interação com tratamento. O quadrado médio para interação entre vaca, período e tratamento foi utilizado como medida de erro para testar o efeito de tratamento, enquanto o efeito de tempo e sua interação com tratamento foram testados usando o erro residual. A estrutura de covariância foi definida pelo critério de Akaike.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A substituição de milho maduro finamente moído por milho extrusado reduziu o consumo sem deprimir a produção de leite, resultando em tendência fraca de ganho na relação entre o leite e o consumo (Tabela 2), nestas vacas em fase mediana da lactação. A “Teoria da Oxidação Hepática” seria uma explicação plausível para a queda no consumo em resposta ao método de processamento do amido (ALLEN; BRADFORD; OBA, 2009). A maior fermentabilidade ruminal do amido no tratamento ME pode ter aumentado o fluxo de AGV do rúmen para o sangue e a proporção de propionato dentre os AGV absorvidos. O propionato em excesso à capacidade gliconeogênica do fígado seria oxidado, gerando ATP capaz de induzir saciedade por estímulo cerebral mediado pelo vago (BRADFORD; ALLEN, 2007b). A resposta negativa em consumo a aumento na fermentabilidade ruminal do amido, sem queda simultânea na produção de leite, tem sido observada experimentalmente (BRADFORD; ALLEN, 2004; OBA; ALLEN, 2003b).

Tabela 2 Desempenho de vacas leiteiras nos tratamentos milho reidratado e ensilado (MRE), milho moído (MM) e milho extrusado (MEx)

	MRE	MM	MEx	EPM ¹	P ²		
		kg/d			Trat	1	2
CMS ³	21,6	22,1	21,1	0,38	0,14	0,30	0,05
CMO ³	20,0	20,5	19,4	0,34	0,09	0,30	0,03
CMOD ³	15,4	15,3	15,0	0,45	0,85	0,86	0,70
CAMIDO ³	5,7	6,5	5,8	0,12	0,01	0,01	0,02
Leite	33,4	33,0	33,5	0,30	0,63	0,60	0,34
Gordura	1,006	1,030	0,920	0,0274	0,02	0,55	0,01
Proteína	1,044	1,027	1,052	0,0125	0,44	0,34	0,77
Lactose	1,528	1,516	1,478	0,0196	0,19	0,67	0,17
Sólidos totais	3,867	3,900	3,723	0,0467	0,03	0,62	0,01
		%					
Gordura	2,99	3,11	2,82	0,069	0,02	0,25	0,01
Proteína	3,15	3,11	3,17	0,026	0,22	0,29	0,09
Lactose	4,56	4,55	4,53	0,022	0,61	0,83	0,46
Sólidos totais	11,57	11,75	11,46	0,083	0,06	0,14	0,01
		kg					
Peso vivo	652	653	651	2,1	0,91	0,87	0,91
		1 a 5					
Condição corporal	3,8	3,8	3,8	0,03	0,70	0,53	0,49
		Mcal/d					
Energia no leite	21,0	21,0	19,9	0,34	0,04	0,95	0,03
		mg/dL					
N-ureico no leite	15,2	16,2	17,1	0,35	0,01	0,06	0,06
		Mcal/kg					
Eficiência 1 ⁴	1,55	1,49	1,55	0,027	0,23	0,12	0,15
Eficiência 2 ⁴	0,97	0,95	0,95	0,020	0,61	0,45	0,83
Eficiência 3 ⁴	1,38	1,36	1,36	0,038	0,91	0,98	0,71

¹EPM=Erro padrão das médias

²P=Valor de probabilidade para o efeito de tratamento (Trat) e para os contrastes: 1) MM vs. MRE e 2) MM vs. MEx

³CMS=Consumo de matéria seca. CMO=Consumo de matéria orgânica. CMOD=Consumo de matéria orgânica digestível. CAMIDO=Consumo de amido

⁴Eficiência 1=Leite/CMS. Eficiência 2=Energia no leite/CMS. Eficiência 3=Energia no leite/CMOD

O tratamento MRE, apesar de ter induzido queda numérica no CMS, não foi capaz de induzir queda tão acentuada no consumo quanto o MEx, apesar da resposta similar na relação entre o leite e o consumo (Tabela 2). Os dois processamentos reduziram similarmente a ingestão diária de amido relativamente

ao MM. Esse fato sugere que a hidratação e ensilagem do milho foi intermediária à moagem fina e à extrusão como forma de processamento do grão. A resposta em produção e teor de gordura do leite é coerente a esta dedução (Tabela 2). A maior taxa de fermentação do amido no MEx pode ter reduzido o pH do fluido ruminal (BEAUCHEMIN; YANG; RODE, 2001; CORONA; OWEN; ZINN, 2006; DILORENZO et al., 2011; YANG; BEAUCHEMIN; RODE, 2001), induzindo maior acúmulo de intermediários da bio-hidrogenação de ácidos graxos de cadeia longa, capazes de inibir a expressão gênica de enzimas envolvidas na síntese mamária de gordura (BAUMAN; GRIINARI, 2003; BRADFORD; ALLEN, 2004). A secreção diária de energia e de sólidos totais do leite foi menor no MEx, em decorrência da queda na secreção de gordura.

A resposta em comportamento ingestivo (Tabela 3) teve tendência semelhante à resposta em CMS. A massa ingerida por refeição foi em média menor no MRE e MEx, resultado do menor CMS (Tabela 2) em tempo diário de ingestão similar (Tabela 3). Similarmente, Oba e Allen (2003b) observaram que vacas consumindo milho maduro moído tiveram maior consumo por refeição comparativamente às alimentadas com milho imaturo ensilado. Este resultado também sugere que o amido no MM foi menos fermentado no rúmen que o amido nos tratamentos MRE e MEx.

Nas dietas experimentais objetivaram-se representar formulações utilizadas em confinamentos de vacas leiteiras na região Sudeste do Brasil, onde a substituição de milho por subprodutos fibrosos, como a polpa cítrica, é normalmente vantajosa financeiramente (SALVADOR et al., 2008), e onde não é incomum a adoção de silagem de milho como forrageira única. A inferência a estes dados deve ser a dietas com cerca de 27% de amido e contendo apenas silagem de milho como forrageira (Tabela 1), uma justificativa plausível para o baixo teor de gordura do leite (Tabela 2) (ONETTI; GRUMMER, 2004). Apesar do baixo teor de gordura do leite e da depressão de consumo em resposta a

amido mais fermentável, não ocorreram atonias ruminais ao longo do período experimental, as dietas não induziram acidose ruminal clínica.

Tabela 3 Atividade mastigatória de vacas leiteiras nos tratamentos milho reidratado e ensilado (MRE), milho moído (MM) e milho extrusado (MEx)

	MRE	MM	MEx	EPM ¹	P ²		
					Trat	1	2
		min/d					
Ingestão	287	284	277	7,0	0,56	0,81	0,43
Ruminação	408	461	433	12,6	0,02	<0,01	0,12
Mastigação ³	695	745	710	13,0	0,03	0,01	0,06
		min/kg de CMS					
Ingestão	14,4	12,6	13,6	0,473	0,04	0,01	0,14
Ruminação	20,7	20,4	21,2	0,641	0,66	0,77	0,38
Mastigação	35,1	33,1	34,8	0,877	0,21	0,11	0,16
R cond ⁴	29,5	Min 33,2	33,0	3,5	0,71	0,51	0,92
Consumo/refeição	1,41	Kg 1,58	1,44	0,043	0,02	0,01	0,02
N ref/dia ⁵	14,8	14,6	14,8	0,42	0,95	0,83	0,75

¹EPM=Erro padrão das médias

²P=Valor de probabilidade para o efeito de tratamento (Trat) e para os contrastes: 1) MM vs. MRE e 2) MM vs. MEx

³Mastigação=Ruminação+Ingestão

⁵R cond=Refeição condicionada (primeira refeição após o oferecimento matinal da dieta)

⁶N ref/dia=Número de refeições por dia

Houve tendência de queda no NUL no MRE (Tabela 2), sugerindo que houve maior sincronismo entre a degradação ruminal do nitrogênio dietético e a degradação de carboidratos neste tratamento (KNOWLTON; GLENN; ERDMAN, 1998). Curiosamente, o teor de NUL foi mais alto no MEx. A se julgar pelo teor de NUL, obter taxa de degradação ruminal do amido intermediária no MRE foi mais vantajoso que taxas lenta ou rápida, de ocorrência provável nos tratamentos MM e MEx, respectivamente. Assumindo que a perda de nitrogênio como NUL pode se correlacionar positivamente com a perda urinária de nitrogênio, MRE foi ambientalmente mais desejável.

Entretanto, não foi detectado efeito de tratamento sobre o NUP ao longo do dia (Gráfico 1). Houve tendência de queda no NUP no MRE apenas no tempo 18 após alimentação, enquanto houve tendência fraca de maior NUP no MEx imediatamente antes da oferta matinal de alimentos (Tabela 4), semelhante à tendência da resposta em NUL a estes tratamentos (Tabela 2). Apesar da resposta em NUP e NUL ter sido sutil, os dados sugerem que pode ter faltado carboidratos de lenta fermentabilidade ruminal no tratamento MEx, enquanto MRE foi mais efetivo em suprir carboidratos fermentáveis sincronicamente à degradação ruminal da proteína oriunda do farelo de soja, a fonte prevalente de nitrogênio dietético (Tabela 1).

Tabela 4 Concentração de nitrogênio ureico no plasma nos tempos após o oferecimento matinal de alimentos de vacas leiteiras nos tratamentos milho Reidratado e ensilado (MRE), milho moído (MM) e milho extrusado (MEx)

tempo	MRE	MM	MEx	EPM ¹	Trat	P ²	
	mg/dL					1	2
0	17,3	17,9	20,5	1,25	0,17	0,74	0,15
2	18,9	17,7	19,2	0,92	0,48	0,36	0,26
4	16,1	15,3	16,1	0,76	0,69	0,48	0,46
6	17,5	17,4	16,0	0,94	0,46	0,93	0,30
9	15,2	17,0	15,6	1,00	0,44	0,24	0,32
12	14,8	14,0	14,9	0,84	0,70	0,49	0,45
15	14,7	14,9	15,7	0,79	0,62	0,88	0,44
18	15,6	17,1	17,0	0,64	0,14	0,08	0,94
21	19,0	18,5	18,4	0,80	0,87	0,68	0,92
24	16,4	18,1	19,4	1,06	0,16	0,26	0,40

¹EPM=Erro padrão das médias

²P=Valor de probabilidade para o efeito de tratamento (Trat) e para os contrastes: 1) MM vs. MRE e 2) MM vs. MEx

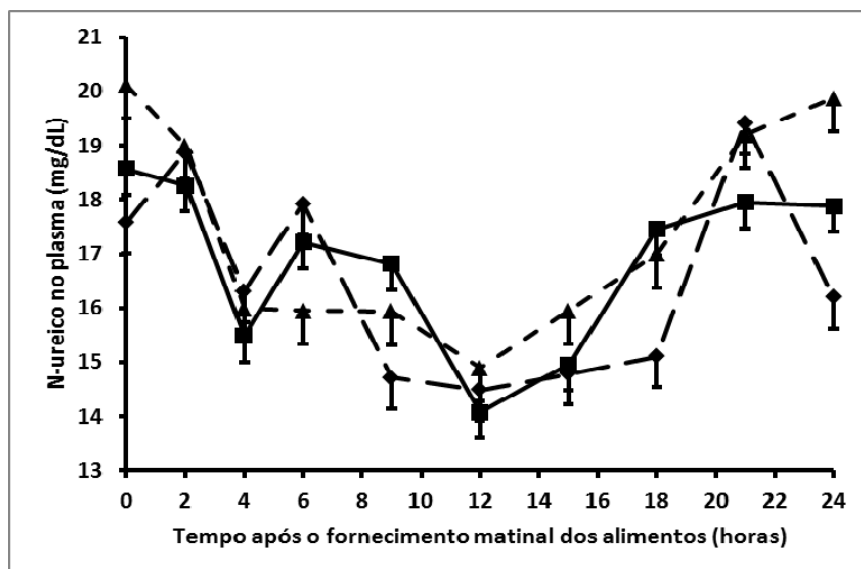


Gráfico 1 Nitrogênio ureico no plasma de vacas leiteiras segundo os tratamentos milho reidratado e ensilado (—♦—), milho moído (—■—) ou milho extrusado (--▲--). Os animais foram alimentados nos tempos 0 e 10. $P=0,31$ para o efeito de tratamento; $P<0,01$ para o efeito de tempo; $P=0,54$ para a interação entre tratamento e tempo

O método de processamento do milho não induziu diferença detectável na síntese relativa de proteína microbiana no rúmen, apesar do maior valor numérico para a excreção diária de alantoína e para a relação entre alantoína e CMOD no MRE (Tabela 5). O mecanismo para a tendência de maior teor proteico no leite no MEx (Tabela 2) não foi a maior síntese de proteína microbiana no rúmen. A energia oriunda da fermentação de carboidratos no rúmen pode ter sido utilizada para outras funções que não o crescimento microbiano neste tratamento (STROBEL; RUSSELL, 1986). Maior fluxo de propionato para o fígado no ME, pode ter poupado aminoácidos gliconeogênicos, aumentando a disponibilidade de aminoácidos metabolizáveis para a glândula mamária (ARIELI et al., 1996), que explicaria, pelo menos em

parte, o leve aumento no teor de proteína no leite nesse tratamento. O uso de mais de uma forma de milho processado pode resultar em resposta animal distinta da obtida neste experimento, onde cada dieta adotou apenas um tipo de processamento, sendo uma estratégia de avaliação pertinente em futuras pesquisas.

Tabela 5 Excreção de alantoína na urina de vacas leiteiras nos tratamentos milho reidratado e ensilado (MRE), milho moído (MM) e milho extrusado (MEx)

	MRE	MM	MEx	EPM ¹	P ²		
					Trat	1	2
Alantoína	76,1	66,6	67,6	5,47	0,42	0,23	0,89
Alantoína/CMOD ³	5,0	4,6	4,3	0,36	0,41	0,18	0,58

¹EPM=Erro padrão das médias

²P=Valor de probabilidade para o efeito de tratamento (Trat) e para os contrastes: 1) MM vs. MRE e 2) MM vs. MEx

³Alantoína/CMOD=Excreção diária de alantoína na urina por consumo diário de matéria orgânica digestível

Houve tendência de aumento na digestibilidade aparente da matéria orgânica no trato digestivo total no MRE, aparentemente mediado pela tendência de ganho na digestibilidade da FDN nesse tratamento (Tabela 6). A redução no tempo diário de ruminação também sugere que a digestão da fibra respondeu positivamente à reidratação e ensilagem do milho com textura dura do endosperma (Tabela 3). O aumento na fermentabilidade ruminal do amido poderia reduzir a digestão da fibra (KNOWLTON; GLENN; ERDMAN, 1998; THEURER et al., 1999) em função do menor pH (BEAUCHEMIN; YANG; RODE, 2001; CORONA; OWENS; ZINN, 2006; DILORENZO et al., 2011; YANG; BEAUCHEMIN; RODE, 2001), sabidamente depressor da atividade fibrolítica (STROBEL; RUSSELL, 1986). Entretanto, queda na digestão ruminal da fibra em resposta a aumento na fermentabilidade ruminal do amido não tem

sendo um achado unânime (CALLISON et al., 2001; OBA; ALLEN, 2003c), coerente ao observado neste experimento.

Tabela 6 Digestibilidade aparente de nutrientes no trato digestivo total e teor de amido nas fezes de vacas leiteiras nos tratamentos milho reidratado e ensilado (MRE), milho moído (MM) e milho extrusado (MEx)

	MRE	MM	MEx	EPM ¹	Trat	P ²	
	% do ingerido					1	2
DMS ³	74,3	72,1	74,0	1,02	0,27	0,14	0,19
DMO	76,6	74,4	76,1	0,93	0,22	0,10	0,19
DFDN	44,2	38,4	42,4	2,67	0,30	0,14	0,28
DMOnFDN	86,1	85,7	86,4	0,72	0,77	0,66	0,48
DAMIDO	94,7	95,6	94,8	0,50	0,32	0,25	0,28
	% da matéria seca						
Amido fecal	4,4	5,8	5,0	0,62	0,28	0,11	0,50

¹EPM=Erro padrão das médias

²P=Valor de probabilidade para o efeito de tratamento (Trat) e para os contrastes: 1) MM vs. MRE e 2) MM vs. MEx

³DMS=Digestibilidade da matéria seca. DMO=Digestibilidade da matéria orgânica. DFDN=Digestibilidade da FDN. DMOnFDN=Digestibilidade da matéria orgânica não-FDN. DAMIDO=Digestibilidade do amido

Taylor e Allen (2005) detectaram correlação positiva entre a digestibilidade do amido e a da fibra no rúmen ($r=0,49$; $P<0,01$). A possibilidade de alimentação cruzada entre os microrganismos ruminais pode explicar a maior digestibilidade da FDN no MHE (TRICARICO; JOHNSTON; DAWSON, 2008). A hidrólise do amido no rúmen produz maltodextrinas que podem ser utilizadas por bactérias não amilolíticas (COTTA, 1992). O cultivo misto de bactérias celulolíticas e não celulolíticas resultou em maior desaparecimento *in vitro* da celulose do que quando este substrato foi acrescido a meio contendo culturas puras de bactérias celulolíticas (MOURINO; AKKARAWONGSA; WEIMER, 2001). A adição de amilase exógena a dietas com 21% de amido induziu aumento na digestibilidade da fibra em vacas leiteiras (GENCOGLU et al., 2010). O valor numericamente intermediário para a digestibilidade da matéria orgânica e da fibra no MEx (Tabela 6) pode ter decorrido da interação

entre o efeito favorável da maior disponibilidade de maltodextrinas e o efeito desfavorável do baixo pH ruminal nesta dieta com amido rapidamente fermentável. Mecanismo semelhante também seria uma explicação plausível para a ausência de resposta numérica em excreção de alantoína na urina no MEX (Tabela 5). Ter amido fermentável no rúmen, sem a queda simultânea no pH ruminal, seria desejável para maximizar a síntese de proteína microbiana e a digestibilidade da fibra em vacas leiteiras. O uso simultâneo de grãos variando na taxa de fermentação do amido pode ser um caminho para obter tal meta.

Não foi evidenciado efeito do método de processamento do milho sobre a digestibilidade do amido e da matéria orgânica não-FDN no trato digestivo total (Tabela 6). Esse resultado sugere que a digestão intestinal compensou a menor fermentabilidade do amido nas dietas com amido mais resistente à degradação ruminal. Entretanto, observa-se que a quantidade de amido chegando ao intestino pode afetar a digestibilidade nesta porção do trato digestivo (MATTHÉ et al., 2001) O teor de amido dietético neste experimento foi ao redor de 27% (Tabela 1). Knowlton, Glenn e Erdman (1998) observaram que, em dietas com 40% de amido, a digestibilidade ruminal do amido foi 84% com milho imaturo ensilado e 65% com milho maduro moído, e a digestibilidade no trato digestivo total foi 97 e 83%, respectivamente. Em dietas com 32% de amido a substituição de milho maduro moído por silagem de milho imaturo aumentou a matéria orgânica verdadeiramente digerida no rúmen de 50,7% para 60,8% do ingerido, mas a digestibilidade da matéria orgânica no trato digestivo total foi 70,7% e 74,6%, evidenciando que a digestão intestinal compensou parcialmente a menor digestibilidade ruminal (OBA; ALLEN, 2003c). Bradford e Allen (2007a), também, observaram que a substituição de milho moído por imaturo ensilado, em dietas com 32% de amido, induziu aumento na digestibilidade da matéria orgânica no trato digestivo total de 75,9 para 78,8% e na do amido de 94 para 98%. Costa et al. (2012) observaram que o aumento no

teor de milho imaturo ensilado de 9 para 18% da matéria seca, o teor mais alto semelhante nutricionalmente à dieta adotada neste experimento, aumentou a digestibilidade da matéria orgânica não-FDN em vacas leiteiras. O efeito do processamento sobre a digestibilidade de milho com textura dura do endosperma em inclusões dietéticas mais altas que a adotada neste trabalho requer avaliação.

A porcentagem de amido nas fezes tendeu a ser menor para o milho reidratado e ensilado em comparação ao milho moído (Tabela 4). Corona, Owens e Zinn (2006), também, observaram uma maior porcentagem de amido fecal no tratamento com milho moído comparativamente a outros métodos de processamento (floculação e laminação).

Assumindo que a relação entre a secreção de energia no leite e o CMOD é uma medida indireta da proporção da energia digerida perdida como metano, o método de processamento do milho não determinou a eficiência de utilização energética (Tabela 2). A validade deste indicador energético se baseia no fato do incremento calórico, oriundo do metabolismo ruminal e do metabolismo intermediário de ruminantes, diferir pouco dentro da amplitude fisiológica de variação na relação entre os AGV produzidos no rúmen (ORSKOV; GERUBB; SMITH, 1979) e que a perda urinária de energia não seria diferente entre dietas isonutricionais (BLAXTER; CLAPPERTON; MARTIN, 1966). O método de processamento do milho, teoricamente capaz de atuar sobre a proporção do amido sendo digerido no rúmen ou nos intestinos, não demonstrou ser uma estratégia promissora para redução do efeito ambiental indesejável da fermentação ruminal sobre o aquecimento global.

4 CONCLUSÃO

Nestas dietas com cerca de 27% de inclusão de grão de milho, a extrusão deprimiu o consumo e a secreção láctea de gordura. Baseado na resposta em desempenho animal, a fermentabilidade do amido no grão reidratado e ensilado foi intermediária à do milho maduro finamente moído e à do extrusado.

Os processamentos por reidratação e ensilagem ou extrusão aumentaram a relação entre a produção de leite e o consumo de matéria seca em vacas Holandês em fase média da lactação.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, M. S. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, n. 7, p. 1598-1624, July 2000.
- ALLEN, M. S.; BRADFORD, B. J.; OBA, M. Board-invited review: the hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, n. 5, p. 3317-3334, May 2009.
- ALLEN, M. S.; LONGUSKI, R. A.; YING, Y. Endosperm type of dry ground corn grain affects ruminal and total tract digestion of starch in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 1, p. 529, 2008. Abstract.
- ANDRADE FILHO, R. et al. Degradabilidade ruminal *in situ* de grãos de milho maduros do tipo *flint* ou dentado, secos ou reconstituídos e ensilados. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47., 2010, Salvador. **Anais...** Salvador: SBZ, 2010a. 1 CD-ROM.
- _____. Reconstituição, inoculação e ensilagem de grãos de milho maduros. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47., 2010, Salvador. **Anais...** Salvador: SBZ, 2010b. 1 CD-ROM.
- ARIELI, A. et al. Effect of the degradation of organic matter and crude protein on ruminal fermentation in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 79, n. 2, p. 1774-1780, Feb. 1996.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. Arlington, 1990. v. 1, 1117 p.
- _____. _____. Washington, 1975. v. 1, 1094 p.
- BARON, V. S.; STEVENSON, K. R.; BUCHANAN-SMITH, J. G. Proteolysis and fermentation of grain-corn ensiled at several moisture levels and under several simulated storage methods. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 66, n. 2, p. 451-461, June 1986.
- BAUMAN, D. E.; GRIINARI, J. M. Nutritional regulation of milk fat synthesis. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v. 23, p. 203-227, 2003.

- BEAUCHEMIN, K. A.; YANG, W. Z.; RODE, L. M. Effects of grain processing on the site and extent of digestion of beef feedlot finishing diets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 79, n. 7, p. 1925-1936, July 2001.
- BLAXTER, K. L.; CLAPPERTON, J. L.; MARTIN, A. K. The heat of combustion of urine of sheep and cattle in relation to its chemical composition and diet. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 20, p. 449-460, 1966.
- BRADFORD, B. J.; ALLEN, M. S. Depression in feed intake by a highly fermentable diet is related to plasma insulin concentration and insulin response to glucose infusion. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 8, p. 3838-3845, Aug. 2007a.
- _____. Milk fat responses to a change in diet fermentability vary by production level in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, n. 11, p. 3800-3807, Nov. 2004.
- _____. Short communication: rate of propionate infusion within meals does not influence feeding behavior. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 5, p. 2305-2308, May 2007b.
- CALLISON, S. L. et al. Site of nutrient digestion by dairy cows fed corn of different particle size or steam-rolled. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 6, p. 1459-1467, June 2001.
- CHEN, X. B.; GOMES, J. **Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives: an overview of the technical details**. Bucksburn: International Feed Resources, 1995. 20 p.
- CLARK, J. H.; KLUSMEYER, T. H.; CAMERON, M. R. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 75, n. 8, p. 2304-2323, Aug. 1992.
- CORONA, F. N.; OWENS, F. N.; ZINN, R. A. Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, n. 11, p. 3020-3031, Nov. 2006.
- CORREA, C. E. S. et al. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, n. 11, p. 3008-3012, Nov. 2002.

COSTA, F. M. J. et al. Silagem de grãos úmidos de milho de textura dura ou macia em dietas com polpa cítrica para vacas em lactação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, 2012. No prelo.

COTTA, M. A. Interaction of ruminal bacteria in the production and utilization of maltooligosaccharides from starch. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 58, n. 1, p. 48-54, Jan. 1992.

DEFOOR, P. J.; BROWN, M. S.; OWENS, F. N. Reconstitution of grain sorghum for ruminants. In: CATTLE GRAIN PROCESSING SYMPOSIUM, 1., 2006, Oklahoma. **Proceedings...** Oklahoma: CGP, 2006. p. 93-98.

DILORENZO, N. et al. Effects of grain processing and supplementation with exogenous amylase on nutrient digestibility in fedlot diets. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 137, n. 1, p. 178-1884, Jan. 2011.

GENCOGLU, H. et al. Effect of feeding a reduced-starch diet with or without amylase addition on lactation performance in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 93, n. 2, p. 723-732, Feb. 2010.

GOODRICH, R. D.; BYERS, F. M.; MEISKE, J. C. Influence of moisture content, processing and reconstitution on the fermentation of corn grain. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 41, p. 876-881, 1975.

HALL, M. B. Determination of starch, including maltooligosaccharides, in animal feeds: comparison of methods and a method recommended for AOAC collaborative study. **Journal of AOAC International**, Arlington, v. 92, n. 1, p. 42-49, 2009.

HOFFMAN, P. C. et al. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, n. 5, p. 2465-2474, May 2011.

KNOWLTON, K. F.; GLENN, B. P.; ERDMAN, R. A. Performance, ruminal fermentation, and site of starch digestion in early lactation cows fed corn grain harvested and processed differently. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 81, n. 12, p. 1972-1984, Dec. 1998.

LAI, L. S.; KOKINI, J. L. Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion: a review. **Biotechnology Progress**, New York, v. 7, n. 3, p. 251-266, May/June 1991.

LITTELL, R. C.; HENRY, P. R.; AMMERMAN, C. B. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 76, n. 4, p. 1216-1231, Apr. 1998.

MATTHÉ, A. et al. Effect of starch application into the proximal duodenum of ruminants on starch digestibility in the small and total intestine. **Archives of Animal Nutrition**, Montreux, v. 55, n. 4, p. 351-369, Apr. 2001.

MCALLISTER, T. A. et al. Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, n. 2, p. 571-579, June 1990.

MOURINO, F.; AKKARAWONGSA, R.; WEIMER, J. Initial pH as a determinant of cellulose digestion rate by mixed ruminal microorganisms *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 4, p. 848-859, Apr. 2001.

NGONYAMO-MAJEE, D. et al. Relationship between kernel vitreousness and dry matter degradability for diverse corn germplasm: II., ruminal and post-ruminal degradabilities. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 142, n. 3/4, p. 259-274, May 2008.

NUTRIENT requirements of dairy cattle. Washington: National Academy, 2001. 381 p.

OBA, M.; ALLEN, M. S. Dose-response effects of intraruminal infusion of propionate on feeding behavior of lactating cows in early or midlactation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 9, p. 2922-2931, Sept. 2003a.

_____. Effect of corn grain conservation method on feeding behavior and productivity of lactating dairy cow at two dietary starch concentration. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 1, p. 174-183, Jan. 2003b.

_____. Effects of corn grain conservation method on ruminal digestion kinetics for lactating dairy cows at two dietary starch concentration. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 1, p. 184-194, Jan. 2003c.

ONETTI, S. G.; GRUMMER, R. R. Response of lactating cows to three supplemental fat sources as affected by forage in the diet and stage of lactation: a meta-analysis of literature. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 115, n. 1, p. 65-82, Jan. 2004.

ORSKOV, E. R.; GRUBB, D. A.; SMITH, J. S. Efficiency of utilization of volatile fatty acids for maintenance and energy retention in sheep. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 41, p. 541-553, 1979.

OWENS, F. N.; ZINN, R. A.; KIM, Y. K. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 63, n. 5, p. 1634-1648, Nov. 1986.

PEREIRA, M. N. et al. Ruminal degradability of hard or soft texture corn grain at three maturity stages. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 4, p. 358-363, Apr. 2004.

PHILIPPEAU, C.; MICHALET-DOREAU, B. Influence of genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 68, n. 1, p. 25-35, Feb. 1997.

PHILIPPEAU, C.; MONREDON, F. Le D. de; MICHALET-DOREAU, B. Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 1, p. 238-243, Jan. 1999.

SALVADOR, S. C. et al. Resposta de vacas leiteiras à substituição total de milho por polpa cítrica e à suplementação com microminerais orgânicos: II., desempenho e economia. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 60, n. 5, p. 1142-1149, abr. 2008.

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. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 82, n. 4, p. 728-737, Apr. 1999.

SHABI, Z. et al. Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, nutrient digestibility and milk yield and composition in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 82, n. 6, p. 1252-1260, June 1999.

SODERLUND, S.; OWENS, F. Corn hybrid by processing method considerations. In: CATTLE GRAIN PROCESSING SYMPOSIUM, 1., 2006, Oklahoma. **Proceedings...** Oklahoma: CGP, 2006. p. 62-72.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS® user's guide:** statistics. 5th ed. Cary, 1985. 1290 p.

STROBEL, H. J.; RUSSELL, J. B. Effect of pH and energy spilling on bacterial protein synthesis by carbohydrate-limited cultures of mixed rumen bacteria. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 69, n. 11, p. 2941-2947, Nov. 1986.

TAYLOR, C. C.; ALLEN, M. S. Corn grain endosperm type and brown midrib 3 corn silage: site of digestion and ruminal digestion kinetics in lactating cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 4, p. 1413-1424, Apr. 2005.

THEURER, C. B. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 63, n. 5, p. 1649-1662, Nov. 1986.

THEURER, C. B. et al. Invited review: summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 82, n. 9, p. 1950-1959, Sept. 1999.

TONROY, B. R.; PERRY, T. W.; BEESON, W. M. Dry, ensiled high moisture, ensiled reconstituted high moisture and volatile fatty acid treated high moisture corn for growing finishing beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 39, p. 931-936, 1974.

TRICARICO, J. M.; JOHNSTON, J. D.; DAWSON, K. A. Dietary supplementation of ruminal diets with an *Aspergillus oryzae* α -amylase. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 145, n. 1, p. 136-150, Jan. 2008.

WILDMAN, E. E. et al. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 65, n. 3, p. 495-501, Mar. 1982.

YANG, W. Z.; BEAUCHEMIN, K. A.; RODE, L. M. Effects of grain processing, forage to concentrate ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 10, p. 2203-2216, Oct. 2001.

CAPÍTULO 3

MELAÇO DE SOJA EM SUBSTITUIÇÃO AO MILHO REIDRATADO E ENSILADO OU À CASCA DE SOJA NA DIETA DE VACAS LEITEIRAS

RESUMO

O melaço de soja é o subproduto da fabricação do farelo concentrado de soja, obtido por solubilização dos açúcares do farelo em água e álcool. A utilização deste resíduo industrial na alimentação animal é competitiva pelo seu baixo custo relativamente a outros concentrados energéticos, como o milho. A incorporação de melaço à casca de soja gera um subproduto fibroso rico em açúcares, capaz de simultaneamente destinar estes dois resíduos industriais à alimentação animal. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a substituição parcial de milho reidratado e ensilado ou casca de soja por melaço de soja sobre o desempenho e digestibilidade de nutrientes no trato digestivo total de vacas em lactação. No Experimento um, 24 vacas Holandês blocadas com base na ordem de parto e produção de leite, foram alocadas a um de três tratamentos por 28 dias, após um período de padronização de 7 dias. Os dados obtidos no final da padronização foram utilizados como covariável no modelo estatístico. As variáveis respostas foram mensuradas na quarta semana. Os tratamentos foram: Controle com 21,5% de milho reidratado e ensilado, 4,5 % de melaço de soja na MS em substituição ao milho reidratado e ensilado (M4,5) ou 9% de melaço de soja (M9). A produção diária de proteína do leite foi de 0,903 kg de controle, 0,871 kg para M4,5, 0,772 kg para M9 ($P=0,01$ linear). A produção de leite foi de 30,2, 27,7 e 26,9 kg, respectivamente ($P=0,04$ linear). O pH ruminal foi 6,2 no tratamento controle, 6,2 no M4,5 e 6,7 no M9 ($P=0,05$ linear). Não foram detectados efeitos do tratamento sobre produção de gordura, consumo, N-ureico no leite, glicemia, excreção diária de alantoína na urina, digestibilidade dos nutrientes e perfil de ácidos graxos voláteis ($P>0,30$). No experimento dois, foram utilizadas 24 vacas em delineamento idêntico ao do primeiro experimento. Os tratamentos foram: Controle com 11,7% de milho reidratado e ensilado e 11,6% de casca de soja ou 3,3% de melaço de soja em substituição a casca de soja. A produção de leite foi de 27,6 kg para o Controle e 27,8 kg para o tratamento com melaço ($P = 0,91$). Não foram detectados efeitos do tratamento sobre a digestibilidade dos nutrientes, consumo, teor e produção de sólidos no leite, N-ureico no leite, eficiência alimentar e secreção de energia no leite ($P>0,28$). Houve tendência de na dieta ($P<0,08$). A substituição do subproduto fibroso

casca de soja por melaço de soja foi uma estratégia mais promissora que a substituição de amido de milho por melaço de soja.

| Palavras-chave: Açúcar. Subproduto. Alantoína. pH ruminal. Produção de leite.

Formatado: Português (Brasil)

ABSTRACT

Soy molasses is the by-product of protein isolation from defatted soy flakes, obtained by solubilization of the meal in water and alcohol. The use of industrial waste in animal feed is competitive by its low cost relative to other energy concentrates such as corn. The addition of molasses to the soy hulls generates a fibrous by-product rich in sugars, able to simultaneously allocate these two industrial wastes into animal feed. The objective of this study was to evaluate the partial replacement of rehydrated and ensiled corn or soybean hulls by soy molasses on performance and nutrient digestibility in total tract of dairy cows. In trial one, 24 Holstein were paired blocked based on parity and yield assigned to one of three treatments for 28 days, following a 7-day standardization period. The data obtained at the end of standardization were used as a covariate in the statistical model. Treatments response was measured on the fourth week. Treatments were: control with 21.5% rehydrated and ensiled corn, 4.5% soy molasses replacing rehydrated and ensiled corn (SM4.5) or 9% soy molasses (SM9). Daily milk protein was 0.903 kg for control, 0.871 kg for SM4.5 and 0.772 kg for SM9 ($P=0.01$ linear). Milk yield was 30.2, 27.7 and 26.9 kg, respectively ($P=0.04$ linear). Ruminal pH was 6.2 for control, 6.2 for SM4.5 and 6.7 for SM9 ($P=0.05$ linear). There were no detectable treatment effects upon fat yield, dry matter intake, milk N-urea, blood glucose, daily excretion of allantoin in urine, nutrient digestibility and volatile fatty acid profile ($P>0.30$). In trial two, 24 cows were used in an identical design to the first one. The treatments were: control with 11.7% rehydrated and ensiled corn and 11.6% soy hulls or 3.3% soy molasses as a replacement for soybean hulls. Milk yield was 27.6 kg for control and 27.8 kg for molasses ($P=0.91$). There were no detectable treatment effects on nutrient digestibility, dry matter intake, milk solids content and yield, milk N-urea, feed efficiency and milk energy secretion ($P>0.28$). There was a tendency for increased daily excretion of allantoin in urine with the addition of soy molasses in diet ($P<0.08$). The replacement of soybean hulls by soy molasses was a more promising strategy than the replacement of corn starch by soy molasses.

| Keywords: Sugar. By-product. Allantoin. Ruminal pH. Milk yield.

Formatado: Português (Brasil)

1 INTRODUÇÃO

O melaço de soja é o subproduto da fabricação do farelo concentrado de soja, obtido por solubilização dos açúcares do farelo em água e álcool (BUSATO JÚNIOR, 2010). A solução solvente contém os açúcares da soja que, após a recuperação do etanol, gera o melaço de soja, um líquido viscoso rico em açúcares (CHAJUSS, 2004). Os açúcares da soja são os monossacarídeos glicose e frutose; o dissacarídeo sacarose; e os oligossacarídeos rafinose, composto por frutose, glicose e galactose, e estaquiose, composto por duas galactose, glicose e frutose. A utilização deste resíduo industrial na alimentação animal é competitiva pelo seu baixo custo relativamente a outros concentrados energéticos, como o milho.

Industrialmente, a casca de soja é outro resíduo da produção do farelo concentrado de soja. A casca de soja é rica em pectina e fibra de alta fermentabilidade no rúmen (IPHARREGUERRE; CLARK, 2003). A incorporação de melaço à casca de soja gera um subproduto fibroso rico em açúcares, capaz de simultaneamente destinar estes dois resíduos industriais à alimentação animal. A incorporação do melaço à casca de soja também solidifica o primeiro ingrediente, facilitando seu transporte, armazenamento e incorporação à dieta de vacas leiteiras.

Entretanto, a substituição parcial de milho ou casca de soja por melaço de soja muda o perfil dos carboidratos dietéticos. A digestão ruminal de açúcares difere da digestão ruminal de amido, fibra e pectina (HALL; HEREJK, 2001). Açúcares são mais rapidamente fermentáveis no rúmen do que amido e fibra (SNIFFEN et al., 1992) e aparentemente resultam em maior proporção de butirato dentre os AGV produzidos (HALL; WEIMER, 2007; HOOVER et al., 2006; STROBEL; RUSSELL, 1986; VALLIMONT et al., 2004). A substituição de amido por açúcares pode manter o aporte dietético de nutrientes de alta

digestibilidade (PENNER; OBA, 2009; VALLIMONT et al., 2004), sem afetar negativamente o pH ruminal (BRODERICK et al., 2008; MCCORMICK et al., 2001), ou o aumentando (HELDT et al., 1999; MARTEL et al., 2011; PENNER; GUAN; OBA, 2009), sendo, portanto, uma estratégia alimentar desejável para vacas leiteiras com alto consumo de dietas rapidamente fermentáveis. Considera-se que a substituição de amido por açúcares não afeta a síntese de proteína microbiana no rúmen (OBA, 2011) e pode reduzir a perda de amônia ruminal (BRODERICK et al., 2008; BRODERICK; RADLOFF, 2004; SANNES; MESSMAN; VAGNONI, 2002), apesar deste achado não ser unânime (PENNER; GUAN; OBA, 2009; PENNER; OBA, 2009; VALLIMONT et al., 2004). Açúcares também podem aumentar a síntese de proteína microbiana no rúmen (KHALILI; HUHTANEN, 1991).

A substituição de milho ensilado no estágio de linha negra por sacarose ou melaço de cana aumentou o consumo e a secreção de gordura no leite, sem afetar o volume de leite produzido (BRODERICK et al., 2008; BRODERICK; RADLOFF, 2004), resposta positiva em produção de leite e proteína foi obtida em dieta com teor proteico reduzido (BRODERICK; RADLOFF, 2004). Entretanto, Sannes, Messman e Vagnoni (2002) observaram efeito desfavorável em desempenho de vacas leiteiras quando 3% de sacarose substituíram milho moído, sendo detectada queda na síntese de proteína microbiana no rúmen e ausência de resposta em consumo. Em vacas recém paridas inclusões dietéticas de 4,7% e 8,4% de sacarose induziram aumento linear no consumo e na produção de gordura do leite, sem afetar a produção diária de leite, mas induziu maior mobilização de gordura corporal (PENNER; OBA, 2009). McCormick et al. (2001) não observaram resposta em consumo e produções de leite e sólidos à substituição de milho moído por 5% de sacarose na dieta. Martel et al. (2011) substituíram milho moído por 2,5 e 5% de melaço e observaram queda nas produções de leite e proteína e aumento no teor de gordura. Parece que a

substituição de amido por sacarose pode aumentar a secreção láctea de gordura, sendo mais variável a resposta em consumo, leite e proteína.

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar duas estratégias plausíveis de comercialização do melaço de soja: a substituição parcial de milho maduro reidratado e ensilado ou a substituição de casca de soja por este resíduo da produção do farelo concentrado de soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Experimento 1

Vinte e quatro vacas Holandês, com 203 ± 87 (média \pm desvio padrão) dias em lactação e 648 ± 85 kg de peso vivo no início do experimento, formaram oito grupos de três animais considerando a produção diária de leite e na ordem de parto. Dentro de cada grupo, as vacas foram aleatoriamente alocadas a um de três tratamentos por 21 dias, em delineamento em blocos ao acaso ajustado para covariável, após um período de adaptação de sete dias. Os tratamentos foram: Controle, 4,5% de melaço de soja em substituição ao milho maduro reidratado e ensilado (M4,5) ou 9% de melaço (M9) (Tabela 7). A composição em nutrientes do melaço de soja e o perfil de açúcares são apresentados na Tabela 8.

Os animais foram alimentados individualmente com dieta completa fornecida duas vezes ao dia em quantidade suficiente para resultar em, no mínimo, 15% do oferecido como sobra diária. As vacas foram alojadas em confinamento total do tipo *tie stall* com camas de areia e foram ordenhadas três vezes ao dia. O teor de MS da silagem, do milho reidratado e ensilado e do Tifton verde foi monitorado semanalmente por secagem em estufa e, se necessário, a inclusão de matéria natural de cada ingrediente foi ajustada para manter constante a proporção dos mesmos na MS dietética.

A produção de leite e o CMS entre os dias 15 e 19 comparou tratamentos. Amostras de leite de nove ordenhas consecutivas foram obtidas nos dias 15, 16 e 17. Nas amostras diárias foram analisados os teores de proteína, gordura, lactose, sólidos totais e N-ureico (Programa de Análise de Rebanhos Leiteiros do Paraná, Curitiba, PR). A secreção diária de energia no leite foi calculada pela equação: $[(0,0929 \times \% \text{ gordura}) + (0,0547 \times \% \text{ de proteína}) + (0,0395 \times \% \text{ de lactose})] \times \text{kg de leite}$ (NUTRIENT..., 2001).

Tabela 7 Composição da dieta oferecida em ingredientes e da consumida em nutrientes nos tratamentos Controle (C), 4,5% (M4,5) e 9% (M9) de melação de soja. Experimento 1

	C	M4,5	M9
	% da matéria seca		
Silagem de milho	41,9	41,8	41,6
Tifton verde	5,4	5,4	5,4
Farelo de soja	20,0	19,9	19,9
Caroço de algodão	8,3	8,3	8,2
Milho reidratado e ensilado	21,5	17,2	12,8
Melaço de soja		4,5	9,1
Óxido de magnésio	0,2	0,2	0,2
Bicarbonato de sódio	0,8	0,8	0,8
Calcário calcítico	1,2	1,2	1,2
NaCl	0,3	0,3	0,3
Minerais e vitaminas ¹	0,3	0,3	0,3
Proteína bruta	16,7	16,5	16,6
FDN total	31,9	31,0	31,1
FDN oriundo de forragem	25,4	25,0	25,3
Extrato etéreo	6,1	6,2	6,0
Cinzas	6,7	7,2	7,5
Carboidratos não-fibrosos ²	38,6	39,1	38,8
	% da matéria natural		
Matéria seca	44,8	45,4	45,1

¹Minerais e vitaminas: 18,5% de Ca; 15% de P; 3,0% de Mg; 3,0% de S; 240 ppm de Co; 3000 ppm de Cu; 8000 ppm de Mn; 12000 ppm de Zn; 90 ppm de Se; 180 ppm de I; 1.000.000 UI/kg Vit. A; 250.000 UI/kg Vit. D; 6.250 UI/kg Vit E

²Carboidratos não-fibrosos=100 – (PB + FDN + EE + Cinzas)

Entre os dias 15 e 20, amostras da silagem de milho, do Tifton, de cada ingrediente concentrado e das sobras alimentares de cada vaca foram coletadas e congeladas para composição de amostras compostas, por mistura de quantidades idênticas de matéria natural das amostras diárias. As amostras compostas foram pré-secas em estufa ventilada por 72 horas a 55°C, trituradas em peneira de 1 mm, em moinho do tipo Thomas-Willey, e uma sub-amostra foi desidratada a 100°C por 24 horas para determinação do teor de matéria seca. A proteína bruta foi analisada por um destilador a vapor do tipo Microkjeldhal (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS - AOAC, 1975). As análises de

extrato etéreo foram realizadas segundo a AOAC (1990). As cinzas foram determinadas por incineração da amostra a 550°C por 8 horas. O teor de FDN foi analisado em um determinador de fibras TE-149 (TECNAL, Piracicaba, SP), utilizando amilase e sulfito de sódio.

Tabela 8 Composição em nutrientes e perfil de açúcares do melão de soja

	% da matéria natural
Matéria seca	69,5
	% da matéria seca
Proteína bruta	7,9
FDN	0,0
Extrato etéreo	4,1
Cinzas	10,8
Carboidratos não-fibrosos ¹	77,2
Frutose ²	3,7
Glicose	0,9
Sacarose	39,6
Rafinose	7,19
Estaquiose	15,8
Amido	ND ³
Pectina	5,0

¹Carboidratos não fibrosos = 100 – (PB + FDN + EE + Cinzas)

²Análises realizadas pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), Campinas, SP

³ND = não detectável

A digestibilidade aparente no trato digestivo total da matéria orgânica, da matéria seca, da FDN e da matéria orgânica não-FDN foi determinada por mensuração da produção fecal por coleta total de fezes realizada por oito horas ininterruptas nos dias 12 a 14. O início do período de coleta foi atrasado em oito horas a cada novo dia, visando obter uma amostra representativa das 24 horas do dia. As fezes de cada vaca foram congeladas ao longo das coletas e formaram uma amostra composta ao final. As amostras compostas por vaca foram desidratadas e o teor de FDN e cinzas analisado como já descrito. O consumo diário de matéria orgânica digestível (CMOD) foi calculado multiplicando o consumo de matéria orgânica mensurado entre os dias 13 e 15 pela

digestibilidade da matéria orgânica mensurada entre os dias 15 e 19. As seguintes eficiências alimentares foram calculadas: relação entre a produção de leite e o CMS (Eficiência 1) e as relações entre a secreção diária de energia no leite e o CMS (Eficiência 2) e o CMOD (Eficiência 3).

Simultaneamente à coleta de fezes, foi realizada coleta total de urina para estimativa da excreção diária de alantoína, utilizada como medida relativa da síntese de proteína microbiana no rúmen. Toda a urina foi inserida em galões contendo 200 ml de solução de ácido sulfúrico a 10%. O volume urinário foi mensurado, uma amostra foi formada por vaca, sendo esta então congelada a -20°C após diluição em quatro partes de água destilada. A determinação do teor de alantoína foi realizada segundo Chen e Gomes (1995). A excreção diária de alantoína dividida pelo CMOD foi utilizada como estimativa da eficiência de síntese de proteína microbiana no rúmen.

No dia 20 foi avaliada a atividade mastigatória por observação visual da atividade bucal de cada animal a cada cinco minutos do dia por 24 horas contínuas. As atividades bucais consideradas foram de ingestão de alimento, de ingestão de água, de ruminação e de ócio. O tempo de mastigação foi definido como a soma dos tempos de ingestão de alimento e de ruminação. Os tempos de mastigação, ingestão e ruminação por unidade de matéria seca consumida foram calculados utilizando-se o CMS mensurado no dia da determinação da atividade mastigatória. O tempo da primeira refeição após o fornecimento matinal de alimentos (refeição condicionada) foi cronometrado. Neste mesmo dia, a proporção do consumo diário entre 6 e 12 h (Manhã), 12 e 20 h (Tarde) e 20 e 6 h (Noite) foi obtido por mensuração do oferecido e das sobras alimentares em cada intervalo.

No dia 21 amostras de sangue para dosagem de glicose no plasma foram obtidas dos vasos coccígeos. As amostras foram obtidas, 12 horas após o fornecimento matinal de alimentos, aleatoriamente dentro de bloco. O sangue foi

colhido em tubos de vidro vacuolizados, contendo 100 µl de fluoreto de potássio e foi acondicionado sob refrigeração. Em seguida, as amostras de sangue foram centrifugadas a 2.118 x g por 15 minutos e o plasma foi congelado a -20°C para posterior análise por kit laboratorial (Labtest Diagnostica S.A., Lagoa Santa, MG. Cat. 27).

No dia 21 foram obtidas amostras de fluido ruminal, por meio de sonda flexível oro-gástrica com auxílio de uma bomba de sucção a vácuo acoplada a um Kitassato (ROSEMBERGER, 1983). As amostras foram obtidas 12 horas± 33 minutos após o fornecimento matinal de alimentos, sendo os animais amostrados aleatoriamente dentro de bloco. O pH ruminal foi mensurado imediatamente. O fluido ruminal foi dividido em duas subamostras. A primeira teve a fermentação inibida por congelamento imediato em nitrogênio líquido a -196°C e foi armazenada sob congelamento para posterior análise de ácidos graxos voláteis por cromatografia gás-líquida (CP 3800 Gas Chromatography Varian, Varian Chromatography Systems, EUA). A outra subamostra foi homogeneizada, fixada e conservada, empregando-se a diluição 1:2 entre fluido ruminal e formaldeído, para posterior contagem de protozoários (DEHORITY, 1984). A contagem dos protozoários foi realizada em microscópio óptico, utilizando amostras de 1 mL do fluido formalizado alocadas em câmara de Neubauer com 0,1 mm de profundidade (WARNER, 1962).

Experimento 2

Vinte e quatro vacas Holandês, com 225± 86 dias em lactação e 641±58 kg de peso vivo no início do experimento, formaram 12 grupos de dois animais com base na produção diária de leite. Dentro de cada grupo, as vacas foram aleatoriamente alocadas a um de dois tratamentos por 28 dias, após um período de adaptação de sete dias, em delineamento em blocos ao acaso ajustado para covariável. Os tratamentos foram: Controle ou 3,3% de melaço de soja em

substituição à casca de soja (Tabela 9). O manejo alimentar foi idêntico ao descrito para o Experimento 1.

A produção de leite e o CMS entre os dias 22 e 26 comparou tratamentos. Amostras de leite de nove ordenhas consecutivas, obtidas nos dias 22, 23 e 24, foram obtidas para determinação dos teores de proteína, gordura, lactose, sólidos totais e N-ureico. Entre os dias 22 e 27 amostras de alimentos e sobras foram obtidos para determinação do CMS e da composição das dietas consumidas. Coleta total de fezes foi executada entre os dias 24 a 26 para estimativa da digestibilidade aparente de nutrientes no trato digestivo total e a síntese relativa de proteína microbiana foi determinada por excreção urinária de alantoína. No dia 27 foi avaliada a atividade mastigatória por observação visual da atividade bucal de cada animal, a cada cinco minutos do dia por 24 e, no dia 28, amostras de sangue para dosagem de glicose no plasma foram obtidas dos vasos coccígeos. Os procedimentos laboratoriais foram os mesmos do Experimento 1.

Tabela 9 Composição da dieta oferecida em ingredientes e da consumida em nutrientes nos tratamentos Controle (C) e 3,3% de melaço de soja (M). Experimento 2

	C	M
	% da matéria seca	
Silagem de milho	42,3	42,1
Feno de tifton	4,1	4,1
Farelo de soja	20,6	20,7
Caroço de algodão	6,9	6,9
Milho reidratado e ensilado	11,7	11,7
Casca de soja	11,6	8,4
Melaço de soja		3,3
Óxido de magnésio	0,2	0,2
Bicarbonato de sódio	0,8	0,8
Calcário calcítico	0,3	0,3
NaCl	0,3	0,3
Minerais e vitaminas ¹	1,2	1,2
Proteína bruta	17,2	17,1
FDN total	38,7	36,3
FDN oriundo de forragem	26,8	26,7
Extrato etéreo	4,7	4,9
Cinzas	7,8	8,1
Carboidratos não fibrosos ²	31,6	33,7
	% da matéria natural	
Matéria seca	48,6	51,8

¹Minerais e vitaminas: 18,5% de Ca; 15% de P; 3,0% de Mg; 3,0% de S; 240 ppm de Co; 3000 ppm de Cu; 8000 ppm de Mn; 12000 ppm de Zn; 90 ppm de Se; 180 ppm de I; 1.000.000 UI/kg Vit. A; 250.000 UI/kg Vit. D; 6.250 UI/kg Vit E

²Carboidratos não-fibrosos=100 – (PB + FDN + EE + Cinzas)

Análises estatísticas:

Experimento 1

As variáveis foram analisadas pelo procedimento GLM do SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 1985), com modelo contendo o efeito contínuo de covariável (medida da mesma variável no final da padronização), e os efeitos fixos de bloco (1 a 12) e tratamento (C, M4,5, M9). Variáveis não mensuradas na padronização utilizaram o mesmo modelo, mas sem o efeito de covariável. Dois contrastes

pré-planejados compararam tratamentos: Efeitos linear (C *versus* M9) e quadrático (M4,5 *versus* C+M9) de inclusão de melão.

Experimento 2

As variáveis foram analisadas por modelo, contendo o efeito contínuo de covariável (medida da mesma variável no final da padronização), e os efeitos fixos de bloco (1 a 12) e tratamento (C, M). Variáveis não mensuradas na padronização utilizaram o mesmo modelo, mas sem o efeito de covariável.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A substituição parcial de milho reidratado e ensilado por melaço de soja induziu queda linear na produção diária de leite e de proteína, sem afetar o consumo de matéria seca, resultando em queda na eficiência alimentar (Tabela 10). Já a substituição parcial de casca por melaço de soja, em dietas com teor constante de milho, não induziu variação detectável no desempenho animal (Tabela 11).

Não foram encontrados trabalhos lidando especificamente com a substituição de milho ou subprodutos fibrosos por melaço de soja. O efeito da inclusão dietética de fontes de sacarose sobre a ingestão de alimentos, a produção de leite e seus componentes tem sido variável. Broderick et al. (2008) substituíram silagem de milho úmido por 0, 2,5, 5 e 7,5% de sacarose e observaram efeito linear positivo sobre o consumo de matéria seca e o teor e produção de gordura no leite, sem alterar a produção de leite e de proteína. Broderick e Radloff (2004) relataram aumento linear no consumo e resposta quadrática em produção e teor de gordura, sem afetar a produção de leite, com teores de 0, 4, 8 ou 12% de melaço seco em substituição a milho úmido ensilado. Em um segundo trabalho, houve efeito quadrático sobre o consumo e as produções de leite e proteína em resposta a dietas com 0, 3, 6 e 9% de melaço líquido (BRODERICK; RADLOFF, 2004). Entretanto, Martel et al. (2011) observaram que a adição de 0, 2,5 ou 5% de melaço em substituição a milho moído não afetou o consumo, mas deprimiu as produções de leite e proteína, similarmente ao observado neste experimento (Tabela 10). Neste trabalho foram adotadas dietas com alta inclusão de silagem de milho (Tabela 7), enquanto em pesquisa norte-americana (BRODERICK et al., 2008; BRODERICK; RADLOFF, 2004; MARTEL et al., 2011) utilizaram-se dietas contendo alfafa em substituição parcial à silagem de milho. Apesar do baixo teor de gordura no

leite nos Experimentos 1 e 2 (Tabelas 10 e 11), esta variável não respondeu positivamente à inclusão dietética de açúcares, fato observado por Martel et al. (2011). Particularidades da resposta animal, neste experimento, podem ter decorrido da interação entre o perfil de carboidratos dietéticos, o tipo da forragem e a inclusão dietética de óleo insaturado, oriundo de caroço de algodão (Tabelas 7 e 9) (ONETTI; GRUMMER, 2004), um tópico de avaliação futura pertinente.

Tabela 10 Desempenho de vacas leiteiras nos tratamentos Controle (C), 4,5% (M4,5) e 9% (M9) de melão de soja. Experimento 1

	C	M4,5	M9	EPM ¹	Trat	P ²	
		kg/d				1	2
CMS ³	19,3	19,6	19,4	0,55	0,95	0,88	0,79
CMOD	11,9	12,1	12,0	0,45	0,96	0,90	0,79
Leite	30,2	27,7	26,9	1,04	0,10	0,04	0,51
Gordura	0,877	0,875	0,835	0,0503	0,80	0,57	0,77
Proteína	0,903	0,870	0,772	0,0308	0,03	0,01	0,40
Lactose	1,392	1,294	1,262	0,0735	0,46	0,23	0,73
Sólidos totais	3,405	3,253	3,089	0,1606	0,41	0,19	0,98
		%					
Gordura	3,08	3,19	3,24	0,150	0,53	0,29	0,72
Proteína	3,14	3,19	3,00	0,068	0,17	0,18	0,19
Lactose	4,70	4,71	4,80	0,078	0,64	0,42	0,66
Sólidos totais	11,67	11,89	11,89	0,191	0,66	0,43	0,65
		mg/dL					
N-ureico no leite	18,8	18,7	18,5	0,80	0,97	0,82	0,97
		Mcal/d					
Energia no leite	19,6	19,1	18,0	0,06	0,18	0,08	0,74
		Mcal/kg					
Eficiência 1	1,60	1,48	1,42	0,058	0,11	0,04	0,69
Eficiência 2	1,08	1,10	1,21	0,073	0,44	0,25	0,62
Eficiência 3	1,01	1,02	1,12	0,066	0,49	0,29	0,62

¹EPM=Erro padrão das médias

²P=Valor de probabilidade para o efeito de tratamento (Trat) e para os contrastes: 1) Linear, 2) Quadrático

³CMS=Consumo de matéria seca. CMOD=Consumo de matéria orgânica digestível

⁴Eficiência 1=Leite/CMS. Eficiência 2=Energia no leite/CMS. Eficiência 3=Energia no leite/CMOD

Tabela 11 Desempenho de vacas leiteiras nos tratamentos Controle (C) e 3,3% de melaço de soja (M). Experimento 2

	C	M	EPM ¹	P Trat
	kg/d			
CMS ²	20,0	19,9	0,63	0,97
CMOD	12,6	13,3	0,66	0,47
Leite	27,6	27,8	0,91	0,90
Gordura	0,865	0,901	0,0448	0,58
Proteína	0,877	0,892	0,0277	0,70
Lactose	1,248	1,321	0,0449	0,28
Sólidos totais	3,246	3,415	0,1041	0,28
	%			
Gordura	3,17	3,28	0,085	0,35
Proteína	3,28	3,27	0,074	0,90
Lactose	4,65	4,71	0,072	0,65
Sólidos totais	12,03	12,40	0,155	0,13
	mg/dL			
N-ureico no leite	18,4	18,7	0,29	0,56
	Mcal/d			
Energia no leite	17,8	19,0	0,69	0,23
Leite/CMS	1,38	1,40	0,052	0,87
	Mcal/kg			
Energia no leite/CMS	0,89	0,96	0,042	0,34
Energia no leite/CMOD	1,45	1,47	0,102	0,87

¹EPM = Erro padrão das médias

²CMS=Consumo de matéria seca. CMOD=consumo de matéria orgânica digestível

Tem sido postulado que a inclusão dietética de açúcares pode afetar o metabolismo ruminal de nitrogênio, diminuindo a concentração de amônia no fluido (BRODERICK et al., 2008; BRODERICK; RADLOFF, 2004; SANNES; MESSMAN; VAGNONI, 20002). Entretanto, não foi evidenciado efeito sobre o teor de NUL da substituição de milho ou casca de soja por melaço de soja (Tabelas 10 e 11). Esses achados são coerentes aos relatos da literatura nos quais a suplementação com açúcar não afetou a concentração ruminal de nitrogênio amoniacal (PENNER; GUAN; OBA, 2009; PENNER; OBA, 2009; VALLIMONT et al., 2004). A discrepância nos resultados pode estar associada a diferenças na fermentabilidade da dieta basal. O fornecimento de dietas ricas

em açúcares pode reduzir a concentração de amônia no fluido ruminal se a produção de proteína microbiana estiver sendo limitada pela falta de carboidratos rapidamente fermentáveis; assume-se que o efeito da suplementação com açúcares será baixo se a dieta basal apresentar alta fermentabilidade (OBA, 2011). Com base nesta premissa, os dados sugerem que os carboidratos do milho maduro ensilado e da polpa cítrica foram de alta fermentabilidade no rúmen.

A substituição de milho ensilado por melaço de soja não afetou a síntese de proteína microbiana no rúmen (Tabela 12). Apesar da falta de poder estatístico para dar suporte à diferença, houve queda numérica na excreção urinária de alantoína e na eficiência de síntese de microbiana nos tratamentos M4,5 e M9. Este é um mecanismo plausível para a menor secreção de proteína no leite, quando açúcares de soja substituíram amido de milho (Tabela 10). Hall e Herejk (2001) observaram que o pico de máxima produção microbiana bem como a produção total de proteína microbiana *in vitro* foi maior com amido do que com sacarose. Amido disponibiliza mais carbono reduzido por unidade de massa do que sacarose ou glicose, uma explicação plausível para a queda na eficiência de síntese microbiana quando sacarose substitui a mesma quantidade de amido (HALL, 2004).

Entretanto, a substituição de casca por melaço de soja tendeu ($P=0,08$) a aumentar a excreção diária de alantoína na urina (Tabela 13). Maior síntese de proteína microbiana ocorreu quando fibra de alfafa foi substituída por sacarose (RIBEIRO; KARNATI; EASTRIDGE, 2005). Entretanto, a tendência de maior produção microbiana no tratamento com melaço de soja não foi acompanhado por ganho detectável em desempenho animal, apesar da resposta numérica positiva em alguns indicadores de desempenho (Tabela 11). Pode ser que os animais não tenham sido responsivos à proteína metabolizável adicional

resultante da maior síntese microbiana no rúmen por se encontrarem em terço final da lactação (BRODERICK; RADLOFF, 2004).

Tabela 12 Glicose plasmática e excreção de alantoína na urina nos tratamentos Controle (C), 4,5% (M4,5) e 9% (M9) de melaço de soja. Experimento 1

	C	M4,5	M9	EPM ¹	P ²		
					Trat	1	2
Glicose	55,1	51,2	55,9	3,13	0,55	0,87	0,29
Alantoína	212	178	183	16,5	0,34	0,24	0,36
Alantoína/CMOD ³	17,8	14,7	15,5	1,40	0,32	0,27	0,28

¹EPM=Erro padrão das médias

²P=Valor de probabilidade para o efeito de tratamento (Trat) e para os contrastes: 1) Linear, 2) Quadrático

³Alantoína/CMOD=Excreção diária de alantoína na urina por consumo diário de matéria orgânica digestível

Tabela 13 Glicose plasmática e excreção de alantoína na urina nos tratamentos Controle (C) e 3,3% de melaço de soja (M). Experimento 2

	C	M	EPM ¹	P Trat
Glicose	53,9	52,0	2,78	0,64
Alantoína	184	218	12,4	0,08
Alantoína/CMOD ²	15,0	16,8	1,19	0,31

¹EPM=Erro padrão das médias

²Alantoína/CMOD=Excreção diária de alantoína na urina por consumo diário de matéria orgânica digestível

A inclusão de melaço de soja às dietas não afetou a digestibilidade aparente de nutrientes no trato digestivo total (Tabelas 14 e 15). A ausência de resposta em digestibilidade à substituição parcial de amido por açúcar tem sido observada experimentalmente (PENNER; GUAN; OBA, 2009; PENNER; OBA, 2009). Entretanto, em alguns estudos realizados *in vitro* e *in vivo*, a suplementação com açúcar tem sido associada à menor digestibilidade da FDN

(HELDT et al., 1999; VALLIMONT et al., 2004). Esse efeito negativo tem sido atribuído a uma depleção do nitrogênio disponível no rúmen por microrganismos fermentadores de carboidratos de rápida degradação na presença de quantidades inadequadas de nitrogênio. Contudo, quando o nitrogênio não é limitante e não há mudança no pH ruminal, a presença de açúcares parece ter pouco efeito sobre a digestão da fibra (HALL; WEIMER, 2007). O perfil de carboidratos dietéticos não determinou o CMOD (Tabela 10), sugerindo que o menor rendimento energético por unidade de carboidrato digerido (HALL, 2004) pode ter definido o menor desempenho nas dietas contendo açúcar em substituição ao amido (Tabela 10).

Tabela 14 Digestibilidade aparente de nutrientes no trato digestivo total nos tratamentos Controle (C), 4,5% (M4,5) e 9% (M9) de melaço de soja. Experimento 1

	C	M4,5	M9	EPM ¹	P ²		
	% do ingerido			Trat	1	2	
DMS ³	62,2	63,6	63,4	1,66	0,83	0,62	0,72
DMO	66,0	66,8	66,5	1,63	0,92	0,79	0,77
DFDN	36,7	33,8	36,9	3,62	0,81	0,96	0,53
DMOnFDN	87,0	88,9	87,1	1,05	0,39	0,95	0,18

¹EPM=Erro padrão das médias

²P=Valor de probabilidade para o efeito de tratamento (Trat) e para os contrastes: 1) Linear, 2) Quadrático

³DMS=Digestibilidade da matéria seca. DMO=Digestibilidade da matéria orgânica. DFDN=Digestibilidade da fibra em detergente neutro. DMOnFDN=Digestibilidade da matéria orgânica não-FDN

Tabela 15 Digestibilidade aparente de nutrientes no trato digestivo total nos tratamentos Controle (C) e 3,3% de melão de soja (M). Experimento 2

	C	M	EPM ¹	P Trat
	% do ingerido			
DMS ²	66,0	65,2	0,02	0,80
DMO	68,9	68,2	0,02	0,82
DFDN	42,0	38,8	0,04	0,55
DMOnFDN	88,5	88,2	0,01	0,78

¹EPM=Erro padrão das médias

²DMS=Digestibilidade da matéria seca. DMO=Digestibilidade da matéria orgânica. DFDN=Digestibilidade da FDN. DMOnFDN=Digestibilidade da matéria orgânica não-FDN

A substituição de milho ou casca de soja por melão de soja não afetou a atividade mastigatória nem a proporção do consumo diário em períodos do dia (Tabelas 16 e 17). Entretanto, houve aumento no tempo da primeira refeição matinal quando amido de milho foi substituído por açúcares da soja (Tabela 16). A ausência de efeito de tratamento sobre o perfil de ácidos graxos no fluido ruminal (Tabela 18) sugere que maior absorção de propionato do rúmen não foi o determinante da menor duração da refeição condicionada no tratamento Controle (ALLEN; BRADFORD; OBA, 2009). Autores têm sugerido que açúcares podem tornar a dieta mais palatável (BRODERICK et al., 2008), uma explicação plausível para o maior tempo da primeira refeição quando melão de soja substituiu milho.

Tabela 16 Atividade mastigatória e proporção do consumo de matéria seca em períodos do dia nos tratamentos Controle (C), 4,5% (M4,5) e 9% (M9) de melão de soja. Experimento 1

	C	M4,5	M9	EPM ¹	Trat	P ²	
		min/d				1	2
Ingestão	296	301	313	17,5	0,79	0,52	0,88
Ruminação	509	475	453	24,7	0,32	0,14	0,85
Mastigação ³	805	777	766	33,1	0,70	0,42	0,83
		min/kg de CMS ⁴					
Ingestão	15,2	16,8	16,1	0,97	0,55	0,57	0,35
Ruminação	26,7	26,5	23,3	1,65	0,29	0,17	0,47
Mastigação	42,0	43,4	39,3	2,26	0,45	0,42	0,35
		% do consumo diário					
Manhã	37,2	38,8	38,1	0,02	0,81	0,71	0,60
Tarde	42,0	44,5	43,3	0,05	0,94	0,86	0,76
Noite	20,7	16,6	18,6	0,05	0,86	0,78	0,64
		Min					
R cond ⁵	40,0	60,5	63,4	7,15	0,10	0,05	0,37

¹EPM=Erro padrão das médias

²P=Valor de probabilidade para o efeito de tratamento (Trat) e para os contrastes: 1) Linear, 2) Quadrático

³Mastigação=Ruminação + Ingestão

⁴Atividade mastigatória em minutos por kg de consumo de matéria seca.

⁵R cond=Refeição condicionada (primeira refeição após o oferecimento matinal da dieta)

A substituição de amido por açúcares aumentou linearmente o pH 12 horas após a alimentação matinal (Tabela 18). A substituição de amido por açúcares tem sido uma estratégia proposta para controle de acidose em vacas leiteiras (HELDT et al., 1999; MARTEL et al., 2011; PENNER; GUAN; OBA, 2009; PENNER; OBA, 2009), não existindo evidência de que a presença de açúcar rapidamente fermentável reduza o pH ruminal (OBA, 2011). Os mecanismos propostos para esta resposta são vários. Sugere-se que açúcares fornecem menos carbono doador de prótons por unidade de massa do que amido (HALL; HEREJK, 2001). Outra explicação plausível seria a conversão de sacarose em polissacarídeos de reserva (glicogênio microbiano) pelos microrganismos ruminiais, como forma de estocagem de energia em curto prazo (HALL; HEREJK, 2001), que temporariamente reduziria a produção de ácidos

durante a fermentação ruminal. Uma terceira teoria sugere que a maior produção de butirato no rúmen, ao se fornecer açúcar (HALL; WEIMER, 2007; HOOVER et al., 2006), poderia diminuir a produção de prótons por unidade de matéria orgânica degradada no rúmen comparada à produção de acetato e propionato. Um mol de hexose fermentada gera 1 mol de butirato ou 2 moles de propionato ou acetato (SOEST, 1994), entretanto a similaridade observada no perfil de AGV não suporta este mecanismo (Tabela 18). E, por fim, alguns estudos demonstraram que a inclusão de açúcar resultou em aumento na taxa de passagem da fase sólida e líquida da digesta ruminal (ROOKE; LEE; ARMSTRONG, 1987; SUTOH; OBARA; MIYAMOTO, 1996), que diminuiria a quantidade de carboidrato fermentado e aumentaria o *clearance* de AGV por passagem pelo orifício retículo-omasal (RESENDE JÚNIOR et al., 2006).

Tabela 17 Atividade mastigatória e proporção do consumo de matéria seca em períodos do dia nos tratamentos Controle (C) e 3,3% de melação de soja (M). Experimento 2

	C	M	EPM ¹	P Trat
	min/d			
Ingestão	263	262	5,8	0,96
Ruminação	477	466	22,4	0,75
Mastigação ²	739	728	25,3	0,77
	min/kg de CMS ³			
Ingestão	15,7	15,8	1,06	0,93
Ruminação	28,2	27,8	2,37	0,92
Mastigação	43,8	43,6	3,31	0,96
	% do consumo diário			
Manhã	42,2	43,8	0,02	0,54
Tarde	44,4	43,4	0,02	0,72
Noite	14,3	12,7	0,02	0,58
	Min			
R cond ⁴	47,9	47,7	1,78	0,93

¹EPM=Erro padrão das médias

²Mastigação=Ruminação + Ingestão

³Atividade mastigatória em minutos por kg de consumo de matéria seca

⁴R cond=Refeição condicionada (primeira refeição após o oferecimento matinal da dieta)

Tabela 18 Perfil de fermentação ruminal nos tratamentos Controle (C), 4,5% (M4,5) e 9% (M9) de melação de soja. Experimento 1

	C	M4,5	M9	EPM ¹	P ²		
	% do AGV total ³			Trat	1	2	
Acetato	61,9	61,5	61,7	1,53	0,98	0,95	0,88
Propionato	26,8	26,9	25,9	1,28	0,85	0,63	0,74
Butirato	11,3	11,6	12,4	0,67	0,57	0,30	0,80
Acetato/Propionato	2,3	2,3	2,4	0,15	0,95	0,86	0,78
	x 10 ⁴ organismos/mL						
Protozoários	11,4	11,3	11,5	0,98	0,95	0,85	0,75
pH	6,2	6,2	6,7	0,15	0,07	0,05	0,19

¹EPM=Erro padrão das médias

²P=Valor de probabilidade para o efeito de tratamento (Trat) e para os contrastes: 1) Linear, 2) Quadrático.

³AGV total=Acetato + Propionato + Butirato

Não houve efeito da substituição de amido por açúcares sobre a concentração de protozoários no fluido ruminal (Tabela 18). A literatura é inconsistente sobre o efeito de açúcares sobre populações de protozoários, provavelmente, em consequência da natureza heterogênea destes microrganismos (OELKER; REVENEAU; FIRKINS, 2009). Segundo Martel et al. (2011), é possível que a população de protozoários dominante no rúmen de bovinos, alimentados com dieta rica em grãos de cereais não responda à adição de açúcar, enquanto que, em dietas baseadas em forragem, a população de protozoários possa proliferar em resposta a açúcar adicional. Contudo, dietas baseadas em cana de açúcar são sabidamente indutoras de aumento na concentração ruminal de protozoários (LENG; GILL; KEMPTON, 1981). O teor dietético de açúcares pode não ter sido alto o suficiente para induzir variação na população microbiana do rúmen neste experimento, consistente à ausência de efeito de tratamento sobre o perfil de AGV do fluido (Tabela 18).

4 CONCLUSÃO

A substituição parcial de milho reidratado e ensilado por melaço de soja não foi vantajosa. A substituição parcial de casca por melaço de soja não deprimiu o desempenho de vacas consumindo dietas com teor similar de amido. A segunda estratégia foi mais promissora para a comercialização do melaço resultante da produção de farelo concentrado de soja que a comercialização do melaço puro para substituir grãos de cereais em concentrados para vacas leiteiras.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, M. S.; BRADFORD, B. J.; OBA, M. Board-invited review: the hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, n. 5, p. 3317-3334, May 2009.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. Arlington, 1990. v. 1, 1117 p.
- _____. _____. Washington, 1975. v. 1, 1094 p.
- BRODERICK, G. A. et al. Effect on production of replacing dietary starch with sucrose in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 12, p. 4801-4810, Dec. 2008.
- BRODERICK, G. A.; RADLOFF, W. J. Effect of molasses supplementation on production of lactating dairy cows fed diets based on alfafa and corn silage. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, n. 9, p. 2997-3009, Sept. 2004.
- BUSATO JÚNIOR, F. J. **Processo industrial de produção do farelo concentrado de soja e melão de soja**. Disponível em: <<http://www.patentesonline.com.br/processo-industrial-de-producao-do-farelo-concentrado-de-soja-e-melaco-de-soja-202950.html>>. Acesso em: 25 jan. 2010.
- CHAJUSS, D. Soy Molasses: processing and utilization as a functional food. In: LIU, K. (Ed.). **Soybeans as functional foods and ingredients**. Missouri: AOCS, 2004. p. 132-144.
- CHEN, X. B.; GOMES, J. **Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives**: an overview of the technical details. Bucksburn: International Feed Resources, 1995. 20 p.
- DEHORITY, B. Evaluating of subsampling and fixation procedures used for counting rumen protozoa. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 48, n. 1, p. 182-185, Jan. 1984.
- HALL, M. B. Terra incognita: updates on feeding nonfiber carbohydrates to dairy cows: yes, it does matter. In: FLORIDA RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM, 1., 2004, Los Angeles. **Proceedings...** Los Angeles: FRN, 2004. p. 1-8.

- HALL, M. B.; HEREJK, C. Differences in yields of microbial crude protein from *in vitro* fermentation of carbohydrates. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 11, p. 2486-2493, Nov. 2001.
- HALL, M. B.; WEIMER, P. J. Sucrose concentration alters fermentation kinetics, products, and carbon fates during *in vitro* fermentation with mixed ruminal microbes. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, n. 6, p. 1467-1478, Nov. 2007.
- HELDT, J. S. et al. Effects of different supplemental sugars and starch fed in combination with degradable intake protein on low-quality forage use by beef steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 10, p. 2793-2802, Oct. 1999.
- HOOVER, W. H. et al. Effects of nonstructural carbohydrate level and starch: sugar ratio on microbial metabolism in continuous culture of rumen contents. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 128, n. 3/4, p. 307-315, June 2006.
- IPHARREGUERRE, I. R.; CLARK, J. H. Review: soyhulls for dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 4, p. 1052-1073, Apr. 2003.
- KHALILI, H.; HUHTANEN, P. Sucrose supplementation in cattle given grass silage-based diet 1: digestion of organic matter and nitrogen. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 33, n. 3/4, p. 247-262, June 1991.
- LENG, R. A.; GILL, M.; KEMPTON, T. J. Kinetics of large ciliate protozoa in the rumen of cattle given sugar cane diets. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 46, n. 2, p. 371-384, Sept. 1981.
- MARTEL, C. A. et al. Dietary molasses increases ruminal pH and enhances ruminal biohydrogenation during milk fat depression. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, n. 8, p. 3995-4004, Aug. 2011.
- MCCORMICK, M. E. et al. Effect of protein source and soluble carbohydrate addition on rumen fermentation and lactation performance of Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 7, p. 1686-1697, July 2001.
- NUTRIENT requirements of dairy cattle. Washington: National Academy, 2001. 381 p.

OBA, M. Review: effects of feeding sugars on productivity of lactating cows. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 91, n. 1, p. 37-46, Jan. 2011.

OELKER, E. R.; REVENEAU, C.; FIRKINS, J. L. Interaction of molasses and monensin in alfalfa hay- or corn silage-based diets on rumen fermentation, total tract digestibility, and milk production by Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, n. 2, p. 270-285, Feb. 2009.

ONETTI, S. G.; GRUMMER, R. R. Response of lactating cows to three supplemental fat sources as affected by forage in the diet and stage of lactation: a meta-analysis of literature. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 115, n. 1, p. 65-82, Jan. 2004.

PENNER, G. B.; GUAN, L. L.; OBA, M. Effect of feeding Fermenten on ruminal fermentation in lactating Holstein cows fed two dietary sugar concentrations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, n. 4, p. 1725-1733, Apr. 2009.

PENNER, G. B.; OBA, M. Increasing dietary sugar concentration may improve dry matter intake, ruminal fermentation, and productivity of dairy cows in the postpartum phase of the transition period. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, n. 7, p. 3341-3353, July 2009.

RESENDE JUNIOR, J. C. et al. Comparison of techniques to determine the clearance of ruminal volatile fatty acids. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, n. 8, p. 3096-3106, Aug. 2006.

RIBEIRO, C. V. D. M.; KARNATI, S. K. R.; EASTRIDGE, M. L. Biohydrogenation of fatty acids and digestibility of fresh alfafa or alfafa hay plus sucrose in continuous culture. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 11, p. 4007-4017, Nov. 2005.

ROOKE, J. A.; LEE, N. H.; ARMSTRONG, D. G. The effects of intraruminal infusions of urea, casein, glucose syrup and a mixture of casein and glucose syrup on nitrogen digestion in the rumen of cattle receiving grass-silage diets. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 57, n. 1, p. 89-98, Mar. 1987.

ROSEMBERG, G. **Exame clínico dos bovinos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993. 419 p.

SANNES, R. A.; MESSMAN, M. A.; VAGNONI, D. B. Form of rumen-degradable carbohydrate and nitrogen on microbial protein synthesis and protein efficiency of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, n. 4, p. 900-908, Apr. 2002.

SNIFFEN, C. J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II., carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, n. 11, p. 3562-3577, Nov. 1992.

SOEST, P. J. van. **Nutritional ecology of ruminant**. 2nd ed. Ithaca: Cornell University, 1994. 476 p.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS[®] user's guide: statistics**. 5th ed. Cary, 1985. 1290 p.

Formatado: Inglês (EUA)

STROBEL, H. J.; RUSSELL, J. B. Effect of pH and energy spilling on bacterial protein synthesis by carbohydrate-limited cultures of mixed rumen bacteria. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 69, n. 11, p. 2941-2947, Nov. 1986.

SUTOH, M.; OBARA, Y.; MIYAMOTO, S. The effect of sucrose supplementation on kinetics of nitrogen, ruminal propionate and plasma glucose in sheep. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 126, n. 1, p. 99-105, Jan. 1996.

VALLIMONT, J. E. et al. Effects of replacing dietary starch with sucrose on ruminal fermentation and nitrogen metabolism in continuous culture. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, n. 12, p. 4221-4229, Dec. 2004.

WARNER, A. C. I. Enumeration of rumen microorganisms. **Journal of General Microbiology**, London, v. 28, p. 119-128, 1962.