

Avaliação nutricional e cinética de degradação *in vitro* de concentrados proteicos utilizados na alimentação de ruminantes*

Nutritional assessment and *in vitro* degradation kinetics of protein concentrates utilized in ruminant feed

Mauricius Pegoraro,** Leandro das Dores Ferreira da Silva,*** Francisco Fernandes Junior,****
Fernando Luiz Massaro Junior,***** Ana Paula de Souza Fortaleza,*** Fernando Augusto Grandis,****
Edson Luis de Azambuja Ribeiro,*** Filipe Alexandre Boscaro de Castro*****

Resumo

Avaliaram-se concentrados proteicos através da composição bromatológica, fracionamento de carboidratos e proteínas e cinética da degradação *in vitro* em líquido ruminal de bovinos e ovinos. Foram utilizados farelos de soja (FS) e de algodão com casca (FA), grão seco destilado de milho (DDG), tortas de girassol (TG) e de crambe (TC). Determinou-se a composição bromatológica e os fracionamentos de carboidratos (A+B1, B2 e C) e de proteínas (A, B1+B2, B3 e C). O ensaio de degradabilidade *in vitro* foi realizado com líquidos ruminais provenientes de três ovinos e três bovinos. Os alimentos foram incubados e as leituras da produção de gases foram realizadas nos tempos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60, 72, 84, 96 e 144 horas pós-incubação. Para a avaliação do fracionamento empregou-se delineamento inteiramente casualizado e para a produção de gases empregou-se esquema fatorial 4 x 2 (quatro alimentos e duas espécies de animais). As médias foram comparadas pelo teste Tukey. Para avaliação da cinética de fermentação ruminal foi utilizado o modelo de Gompertz. O FS apresentou maior quantidade de PB e o DDG apresentou a maior quantidade de CHT em relação aos demais alimentos. A TC apresentou maior quantidade de fração A da PB. Na degradação o FS e o DDG produziram maiores quantidades de gases. Utilizando o líquido ruminal de bovinos, obteve-se maior produção de gases em relação aos ovinos. Entre os alimentos avaliados o farelo de soja firmou-se como a fonte proteica mais interessante à alimentação de ruminantes.

Palavras-chave: carboidratos, coprodutos, líquido ruminal, proteína.

Abstract

It was evaluated protein concentrates by chemical composition, carbohydrates and proteins fractioning, and *in vitro* degradation kinetics in bovine and ovine ruminal liquid. Soybean meal (SM), shelled cottonseed meal, dried corn distillers grains (DDG), sunflower cake, and crambe cake (CC) were used. Their chemical composition, and fractioning of carbohydrates (A + B1, B2 and C) and protein (A, B1 + B2, B3, and C) were determined. The *in vitro* degradability was evaluated using ruminal liquid from three bovines and three ovinos. The ingredients were incubated and gas production readings were performed on 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60, 72, 84, 96 and 144 hours after incubation. For the fractioning trial, a completely randomized design were used and for the gas production trial a 4x2 factorial scheme (four food and two species of animals) were utilized. The obtained means were compared by the Tukey test. To evaluate the kinetics of ruminal fermentation, the model of Gompertz was used. SM had higher amounts of CP in comparison to other foods, and the DDG showed the highest amount of total carbohydrates. The CC presented the highest A fraction of the CP. In the degradation trial, SM and DDG produced higher amounts of gas (mL g⁻¹). The bovine's ruminal liquid provided higher gas production than the ovine's liquid. Among the foods evaluated, soybean meal has established itself as the best protein source to ruminants.

Keywords: by-products, carbohydrates, proteins, ruminal liquid.

*Recebido em 21 de agosto de 2015 e aceito em 24 de julho de 2017.

**Consultor técnico na empresa Montana Nutrição Animal, Londrina, Paraná, Brasil.

***Prof. Dr. da Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Londrina, Paraná, Brasil.

****Discentes de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil.

*****Responsável técnico do Laboratório de Nutrição Animal, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil.

*****Discente de Pós-Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Saúde e Produção de Ruminantes da Universidade Norte do Paraná (Unopar), Araçongas, Paraná, Brasil.

Autor para correspondência. E-mail: mauri2242@yahoo.com.br .

Introdução

Nos sistemas de produção de animais ruminantes, muitos estudos são voltados para aumentar a capacidade de conversão de nutrientes de origem vegetal em proteína animal para consumo humano, reduzir os custos de produção e diminuir a contaminação ambiental. Tanto a qualidade como a combinação dos nutrientes da dieta dos animais deve ser capaz de atender às exigências nutricionais. Desta forma, a eficiência de conversão será melhorada e o potencial genético do animal melhor aproveitado (Manella, 2004).

A proteína é um dos nutrientes mais limitantes aos ruminantes. A exigência de proteína metabolizável dos ruminantes é atendida pela proteína microbiana e pela proteína não degradada no rúmen, que é digestível no intestino delgado (Soares et al., 2005). A fonte e a quantidade de proteína são de extrema importância para os ruminantes, pois quando a fermentação da proteína e dos carboidratos ocorre a uma mesma taxa de degradação, verifica-se a maximização da síntese de proteína microbiana e aumento da ingestão de proteína, que pode ainda ser maximizada pelo fornecimento de proteínas de baixa degradabilidade, ou de maior escape da fermentação ruminal, quando estas proteínas apresentam boa biodisponibilidade intestinal, processo influenciado pela taxa de passagem (Martins et al., 1999).

Alguns problemas podem estar relacionados à qualidade da proteína bruta (PB), à sua deficiência, ou pelo não atendimento das exigências dos microrganismos ruminais. O excesso também é prejudicial, sendo este relacionado com o problemas de fertilidade em rebanhos leiteiros, pelo excesso de nitrogênio ureico no plasma resultar em alterações no ambiente uterino. Em virtude da proteína ser o ingrediente mais caro da dieta, a economia nos sistemas de produção animal é altamente dependente da eficiência de sua utilização (Russell, 1992).

Para determinação de nutrientes e frações, é importante que estas sejam feitas na região onde serão utilizadas, pois os alimentos produzidos sob condições tropicais apresentam composição nutricional diferente dos alimentos obtidos em regiões de clima temperado (Van Soest, 1994).

Objetivou-se avaliar as características nutricionais de ingredientes concentrados proteicos utilizados na alimentação de ruminantes por meio da sua composição bromatológica, fracionamento de carboidratos e de proteínas, e obter a cinética da degradação ruminal pela técnica *in vitro* de produção de gases utilizando líquido ruminal de ovinos e de bovinos.

Material e métodos

O experimento foi conduzido de acordo com as normas éticas e aprovado pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal, da Universidade Estadual de Londrina (CEUA-UEL), processo CEUA nº 17355.2012.05.

A determinação da composição bromatológica e o fracionamento dos carboidratos e das proteínas foram realizados no Laboratório de Nutrição Animal (LANA) do departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Os alimentos comparados neste estudo foram: farelo de soja (*Glycine max* (L.) Merril), farelo de algodão com casca

(*Gossypium herbaceum* L.), grão seco destilado de milho (DDG), torta de girassol (*Helianthus annuus*) e torta de crambe (*Crambe abyssinica*). O delineamento empregado para o estudo do fracionamento de carboidratos e proteínas foi o inteiramente casualizado. Para avaliação dos parâmetros da cinética de degradação ruminal *in vitro*, os dados foram avaliados em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro alimentos e duas espécies de animal (bovinos e ovinos).

Para as análises bromatológicas os alimentos foram triturados em peneiras de dois milímetros. Os teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), PB, proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina em detergente ácido (LDA), foram determinados segundo metodologias citadas por Mizubuti et al. (2009).

As frações dos carboidratos foram obtidas conforme equações propostas por Sniffen, et al. (1992), onde: Carboidratos totais (CHT) = 100 - PB % - EE % - MM %. Fração A+B1 = 100 - B2 + C; Fração B2 = 100x((FDN (% MS) - PIDN (% PB) x 0,01 x PB (% MS)) - FDN (% MS) x 0,01 x LDA (% FDN) x 2,4)) / CHT (% MS); Fração C = (100x FDN (% MS) x 0,01 x LDA (% FDN) x 2,4) / CHT (% MS)

O fracionamento dos compostos nitrogenados foi realizado de acordo com o protocolo descrito por Licitra et al. (1996). A Fração A foi obtida após o tratamento de 0,5 g de amostra com 50 mL de água destilada por 30 minutos, e em seguida realizada a adição de 10 mL da solução de ácido tricloroacético (TCA) a 10%, deixando-se em repouso por mais 25 minutos. Após este período, filtrou-se em papel de rápida filtração, lavando o resíduo com 50 mL de solução de TCA a 1% e determinou-se o teor de nitrogênio do resíduo mais o papel, também foi determinada a quantidade de nitrogênio presente no papel como branco, do valor encontrado subtraiu-se da determinação do nitrogênio da amostra mais papel. A fração A foi calculada pela diferença entre o teor de N-total e o N-insolúvel no TCA, por meio da equação [(NT-NI) * 100] / NT em que, NT= nitrogênio total da amostra e NI= nitrogênio insolúvel após tratamento com TCA.

A Fração B3 foi determinada pela diferença entre a proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e a proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA). A Fração C foi considerada como o PIDA. Obteve-se a fração B1+B2 pela diferença entre a proteína insolúvel em TCA e o PIDN, ou subtraindo-se de 100 a soma das frações A, B3 e C.

Para a cinética de degradação ruminal foi utilizado líquido ruminal de três bovinos e três ovinos. Todos os animais foram alimentados com rações que possuíam na sua composição os alimentos analisados. O fornecimento da ração foi realizado duas vezes ao dia, na parte da manhã às 8 h e à tarde, às 17 h, sendo a coleta de líquido ruminal realizada às 7 h da manhã, antes da alimentação.

Todos os animais utilizados possuíam cânulas no rúmen e pertenciam à Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina. Para coleta do líquido ruminal em ovinos foi utilizada uma bomba a vácuo. A coleta do líquido ruminal dos bovinos foi realizada em cinco pontos distintos do rúmen: no lado esquerdo, direito, parte superior, inferior e centro do rúmen, para maior representatividade.

A cinética de degradação ruminal foi estimada com o uso da técnica de produção de gases *in vitro*. Para cada alimento avaliado foram incubados doze frascos, sendo 6 com líquido ruminal de bovinos e 6 com líquido ruminal de ovinos, além de frascos sem alimentos, considerados branco. Foram pesados 500 mg de amostras em frasco de vidros de 100 mL, contendo 40 mL de solução tampão de McDougall (1948), previamente reduzida com CO₂ (pH 6,9). Posteriormente, foram adicionados, em cada frasco, 10 mL de líquido ruminal oriundo de bovinos ou de ovinos fistulados no rúmen, o líquido ruminal foi mantido a 39°C em banho-maria. Em seguida, os frascos foram vedados com rolha de borracha, e após realizada a estabilização da pressão dentro do frasco. A partir deste momento, a pressão dos gases produzidos pela fermentação do substrato e acumulada nos frascos foi mensurada por meio de um sensor de pressão acoplado a um manômetro, nos tempos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60, 72, 84, 96 e 144 horas de fermentação, após cada mensuração eram retirados os gases produzidos.

O modelo matemático de Gompertz foi utilizado para a avaliação da cinética de fermentação, $Y_t = a \cdot \exp^{-(b) \cdot \exp^{-c \cdot t}}$, sendo Y_t = volume de gases no tempo (mL), a = volume de gases correspondente à completa digestão do substrato (assíntota) (mL g⁻¹ MS); b = taxa específica semelhante à taxa de degradação (% h⁻¹); c = fator constante de eficiência microbiana, que descreve o ponto de inflexão da curva a uma determinada velocidade de produção de gases (mL h⁻¹), t = tempo de incubação (h). O procedimento não linear do *software* R foi utilizado para ajustar os dados ao modelo.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade, aditividade e homocedasticidade de variâncias, e analisados em DIC utilizando o pacote ExpDes do *software* estatístico R. Os valores do fracionamento de carboidratos e proteínas foram comparados pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade.

Resultados e discussão

O farelo de soja (Tabela 1) apresentou alta quantidade de PB (51,07 %), sendo superior à apresentada na Tabela Brasileira de composição de alimentos para bovinos (*software* CQBAL 3.0 - Valadares Filho et al., 2013), em que se observa 48,74% de PB). Assim, ressalta-se que, apesar de os dados apresentados no *software* CQBAL 3.0 serem provenientes de um grande banco de dados, abrangendo diversas realidades, variações são normais de ocorrerem, visto que diferentes condições experimentais e de análise resultam em resultados variados, portanto deve-se atentar a essa situação no momento de utilização dos diferentes ingredientes nas formulações.

As tortas de girassol e crambe e o farelo de algodão também apresentaram valores de PB próximos (25,76, 28,97 e 31,89 %, respectivamente) aos apresentados no mesmo *software* (25,51, 28,57 e 30,95 %). As concentrações de PIDA encontradas nesses alimentos foram baixas, o que segundo Mizubuti et al. (2011), pode indicar maior disponibilidade de PB para os micro-organismos ruminais.

Normalmente as tortas apresentam maiores concentrações de EE do que os farelos, isto porque segundo Souza e Menezes (2004), para a obtenção de torta ocorre somente a prensagem do grão, diferente do farelo, que além da prensagem existe tratamento com solvente (hexano), assim diminuindo a quantidade de extrato etéreo presente em farelos.

Tabela 1: Composição bromatológica do farelo de soja, torta girassol, torta crambe, farelo algodão com casca e DDG (MS %)

Item	Farelo Soja	Torta Girassol	Torta Crambe	Farelo Algodão	DDG ²
MS ¹	87,69	92,11	92,44	91,54	86,56
PB ³	51,07	25,76	28,97	31,89	36,59
PIDN ⁴	25,77	5,29	5,67	7,30	18,10
PIDA ⁵	6,88	5,22	4,62	4,71	15,62
FDN ⁶	17,53	36,94	32,63	48,58	51,37
FDA ⁷	8,01	22,54	22,39	31,74	14,83
LDA ⁸	1,06	6,70	11,36	9,19	14,25
MM ⁹	6,39	5,35	4,78	4,40	2,15
EE ¹⁰	1,78	19,61	24,89	10,06	5,70

¹% da MN; ²grão seco por destilação; ³Proteína Bruta; ⁴Proteína indigestível em detergente neutro; ⁵Proteína indigestível em detergente ácido; ⁶Fibra detergente neutro; ⁷Fibra detergente ácido; ⁸Lignina em detergente ácido, obtida por meio de digestão ácida (H₂SO₄ a 72 %); ⁹Matéria mineral; ¹⁰Extrato etéreo

Os valores obtidos nas análises bromatológicas para a torta de crambe e torta de girassol foram semelhantes às divulgadas por Mizubuti et al. (2011), que relataram para a torta de girassol 25,76 % de PB, 36,36 % de FDN e 22,02 % de EE, e para torta de crambe 29,17% PB, 33,08% FDN e 24,90% EE; assim, podemos observar que mesmo sendo coprodutos, neste caso os alimentos tiveram composições próximas.

Segundo Leão et al. (2005), a análise da composição bromatológica dos alimentos é a primeira etapa em sua avaliação, pois, conhecendo os alimentos disponibilizados para o uso, é possível selecionar aquele que melhor se enquadra nas exigências do animal, e com menor custo.

O DDG apresentou as maiores quantidades de carboidratos totais (Tabela 2), seguido pelo farelo de algodão. O farelo de soja e a torta de crambe apresentaram as menores quantidades de carboidratos totais, sendo semelhantes entre si. Os carboidratos totais para animais ruminantes compreendem entre 70% e 80% da ração e são fundamentais para o atendimento das exigências de energia, síntese de proteína microbiana e manutenção da saúde do animal (Berchielli et al., 2011).

A quantidade de carboidratos totais é uma estimativa muito importante, pois esta demonstra se o alimento pode oferecer maior ou menor aporte energético para a microbiota ruminal. Oliveira et al. (2012) também observaram que a quantidade de carboidratos totais é diretamente influenciada pelas quantidades de PB, EE e MM presente no alimento. Assim, para se obter dados mais confiáveis da disponibilidade deste carboidrato, é importante caracterizar os alimentos quanto às suas frações.

No fracionamento dos carboidratos o farelo de soja apresentou maior valor das frações A+B1 do que os demais alimentos. Segundo Zambom et al. (2001), o farelo de soja apresenta degradabilidade da MS em torno de 97%, sugerindo assim que este alimento possui a maior parte de seus nutrientes nas frações mais digestíveis ou solúveis como as frações A+B1. Isso pode implicar em melhor adequação energética ruminal e resultar em melhor crescimento microbiano, pois o farelo de soja também

Tabela 2: Teores percentuais médios de carboidratos totais (CHT) carboidratos não fibrosos (A+B1), componentes disponíveis correspondente à fração potencialmente degradável (B2) e fração indigestível da parede celular (C) do farelo de soja, torta de girassol, torta de crambe, farelo de algodão e DDG

Componente	Farelo Soja	Torta Girassol	Torta Crambe	Farelo Algodão	DDG ²	CV ³
CHT ¹ (MS %)	40,75 ^d	49,27 ^c	41,36 ^d	53,65 ^b	55,55 ^a	0,66
Frações A+B1(CHT%)	82,53 ^a	63,07 ^c	67,38 ^b	51,42 ^d	48,66 ^e	1,51
Fração B2 (CHT %)	17,27 ^e	32,48 ^d	25,60 ^c	38,87 ^a	34,43 ^b	1,66
Fração C (CHT %)	0,19 ^e	4,45 ^d	7,02 ^c	9,71 ^b	16,91 ^a	6,85

Médias na mesma linha, seguidas por letras distintas, diferem ($P < 0,05$) pelo teste Tukey. ¹Carboidratos totais, ²Grão seco por destilação, ³Coefficiente de variação (%)

possui grande quantidade de PB nas frações solúveis (Tabela 3) (Malafaia et al., 1996). Alimentos com elevadas frações A+B1 de carboidratos são considerados boas fontes energéticas, proporcionando aumento no conteúdo dos micro-organismos ruminais (Carvalho et al., 2007).

O farelo de algodão apresentou maior quantidade de fração B2 do que os demais alimentos avaliados. Segundo Pereira et al. (2010), a fração B2 dos carboidratos pode fornecer energia de forma mais lenta no rúmen, podendo afetar a eficiência de síntese microbiana e o desempenho animal se não houver sincronização com a liberação de PB.

O DDG apresentou maior quantidade de fração C provavelmente devido a este alimento possuir maior quantidade de LDA, sendo esta uma fração indigestível. Segundo Malafaia et al. (1998) essas variações conferem diferenças importantes, pois a fração C está diretamente relacionada com maior ou menor degradabilidade dos carboidratos. Assim, alimentos com altas quantidades desta fração podem afetar o desempenho animal por diminuir a quantidade de carboidratos disponíveis.

Para melhorar a caracterização dos alimentos, adequar formulações e suprir as exigências dos animais, evitando-se a falta ou excesso de PB, observa-se como alternativa o fracionamento da PB (Tabela 3) (Sniffen, et al., 1992).

Tabela 3: Fracionamento da fração proteica do farelo de soja, torta de girassol, torta de crambe, farelo de algodão e DDG expressos em relação ao percentual de matéria seca e proteína bruta

	Farelo Soja	Torta Girassol	Torta Crambe	Farelo Algodão	DDG ¹	CV ²
Porcentagem proteína bruta base matéria seca em cada fração						
Fração A	3,50 ^{bc}	1,50 ^{cd}	7,46 ^a	3,99 ^b	0,96 ^d	21,35
Frações B1+B2	21,81 ^a	18,97 ^{bc}	15,84 ^d	20,61 ^{ab}	17,53 ^{cd}	4,50
Fração B3	18,88 ^a	0,06 ^{bc}	1,05 ^c	2,59 ^b	2,48 ^b	7,18
Fração C	6,88 ^b	5,22 ^d	4,62 ^c	4,71 ^c	15,62 ^a	2,07
Total	51,07 ^a	25,76 ^e	28,97 ^d	31,89 ^c	36,59 ^b	0,73
Porcentagem de proteína bruta em cada fração						
Fração A	6,85 ^c	5,84 ^c	25,76 ^a	12,50 ^b	2,61 ^c	18,15
Frações B1+B2	42,70 ^d	73,64 ^a	54,66 ^c	64,61 ^b	47,92 ^d	4,02
Fração B3	36,98 ^a	0,24 ^d	3,63 ^c	8,13 ^b	6,79 ^b	6,49
Fração C	13,48 ^d	20,28 ^b	15,94 ^c	14,76 ^c	42,68 ^a	1,36

Médias na linha, seguidas por letras distintas, diferem ($P < 0,05$) pelo teste Tukey; ¹ grão seco por destilação; ² Coeficiente de variação (%).

A torta de crambe apresentou maior quantidade de fração A da proteína bruta na matéria seca, seguido pelo farelo de algodão e farelo de soja que não tiveram diferença entre si ($P > 0,05$). Segundo Fernandes et al. (2009), a fração A é composta por proteínas solúveis no rúmen, que podem ser convertidas mais rapidamente em quantidades representativas de amônia chegando a ser até mesmo superiores àquelas necessárias para o crescimento dos micro-organismos.

Neste caso, o excesso de amônia pode ser absorvido através da parede do rúmen e metabolizado no fígado ou pode passar para os compartimentos digestivos posteriores. Segundo

Silveira et al. (2008), para maximização na produção de proteína microbiana alimentos com altas concentrações de fração A de PB é necessária a disponibilização de alimentos que possuam quantidades compatíveis de frações A+B1 dos carboidratos, para que não haja perda de PB ingerida.

O farelo de soja apresentou as maiores frações B1+B2 e B3 de proteína bruta na matéria seca. Segundo Zambom et al. (2001), o farelo de soja apresenta a maior parte de seus nutrientes presentes nas frações mais digestíveis ou potencialmente digestíveis. Andrade et al. (2010) afirmam que estas frações correspondem à proteína verdadeira sendo potencialmente degradáveis no rúmen, alimentos com grande quantidade desta fração propiciam alto aporte de PB para atender às exigências dos micro-organismos. Fernandes et al. (2009) relatam que alimentos com maiores quantidades de proteína verdadeira ofereceram maiores quantidades de aminoácidos para absorção intestinal.

O DDG apresentou maior quantidade fração C de proteína bruta com base na MS quando comparado aos demais alimentos. Esta alta quantidade de PB na fração C do DDG está relacionada com a maior quantidade de PIDA apresentada no mesmo. Esta PB considerada indigestível provavelmente está relacionada com o seu processamento na industrialização.

Segundo Sobrinho (2012), no processo de industrialização do milho para produção de álcool, é realizado processo de cozimento, atingindo temperaturas superiores a 70°C, e conforme Moser et al. (1995) a elevação da temperatura acima de 55°C desencadeia a reação de Maillard. A reação de Maillard ocorre por meio de interações de carboidratos com proteínas, ocasionando redução na degradabilidade ruminal da proteína (Carvalho et al., 2009).

As maiores porcentagens de PB nos concentrados proteicos estão disponíveis nas frações B1+B2, com maior quantidade relativa na torta de girassol, seguido pelo farelo de algodão, torta de crambe e por último o farelo de soja e DDG que não apresentaram diferença entre si. Estas frações são importantes pois segundo Sniffen et al. (1992), a fração B1 é composta de proteínas com rápida degradação e a fração B2 possui degradação ruminal intermediária

disponibilizando assim quantidades de PB ao longo do processo de fermentação.

O DDG apresentou a maior porcentagem de PB na fração C dentre os alimentos avaliados. Foi observado que 42,68 % da sua PB está indisponível para fermentação ruminal.

Na degradação *in vitro* (Tabela 4) o parâmetro “a” que apresenta a quantidade de gases produzidos (mL g⁻¹MS) não apresentou interação entre espécie animal e alimentos. Em relação à diferença observada nas médias entre os alimentos, o farelo de soja e o DDG produziram os maiores volumes de gases por grama de substrato, seguidos pela torta de crambe e com os menores valores o farelo de algodão e a torta de girassol. O DDG possuiu a maior concentração de carboidratos totais dentre os ingredientes proteicos analisados.

Tabela 4: Valores para cinética de degradação *in vitro* na produção de gases para farelo de soja, farelo de algodão com casca, torta de girassol, torta de crambe e DDG em líquido ruminal de bovinos e ovinos, divididos em parâmetros a, b e c

Parâmetro a ¹							
Animal	Farelo soja	Farelo Algodão	Torta girassol	Torta Crambe	DDG ⁴	Médias	CV ⁵
Bovinos	265,61	129,83	132,97	150,46	258,15	187,40 ^A	33,79
Ovinos	251,61	114,46	118,74	137,91	249,33	174,41 ^B	37,44
Médias	258,61 ^a	122,14 ^c	125,85 ^c	144,18 ^b	253,74 ^a		
CV%	3,88	8,77	8,09	5,35	10,74		
Parâmetro b ²							
Bovinos	2,52 ^b	2,55 ^{Ab}	2,85 ^{Ab}	2,66 ^b	3,32 ^{Ba}	2,78	12,87
Ovinos	2,75 ^b	2,18 ^{Bc}	2,45 ^{Bbc}	2,52 ^{bc}	3,70 ^{Aa}	2,72	20,76
Médias	2,64	2,37	2,65	2,59	3,51		
CV%	7,31	13,17	11,80	8,31	7,16		
Parâmetro c ³							
Bovinos	0,078 ^b	0,058 ^{Ac}	0,076 ^{Ab}	0,108 ^{Aa}	0,040 ^d	0,072	32,79
Ovinos	0,081 ^a	0,050 ^{Bc}	0,052 ^{Bc}	0,065 ^{Bb}	0,039 ^d	0,057	26,26
Médias	0,080	0,054	0,064	0,087	0,040		
CV%	7,34	13,28	21,41	25,90	7,66		

¹Volume de gases correspondente à completa digestão do substrato (assíntota) (mL g⁻¹ MS); ²taxa específica semelhante à taxa de degradação (% h⁻¹); ³fator constante de eficiência microbiana, que descreve o ponto de inflexão da curva a uma determinada velocidade de produção de gases (mL h⁻¹); ⁴grão seco por destilação; ⁵Coefficiente de Variação (%). Letras minúsculas diferem na linha (P<0,05) pelo teste Tukey. Letras maiúsculas diferem na coluna (P<0,05) pelo teste F

Segundo Fortaleza (2011) as principais fontes para produção de gases são os carboidratos presentes nas porções solúveis e degradáveis do mesmo. O farelo de soja apresentou a menor quantidade de carboidratos totais entre os concentrados protéicos, mas obteve grande quantidade de gás produzido por grama de amostra. Provavelmente isso ocorreu devido à presença das pequenas quantidades de FDA e LDA, as quais segundo Sniffen et al. (1992) são componentes parcial ou totalmente indigestíveis do alimento. Aliado a isto, a maioria dos seus carboidratos apresentaram-se nas frações A+B1. Segundo Berchielli et al. (2011) estas frações são de rápida a intermediária taxas de degradação, sendo as frações com maior potencial de serem degradados do alimento.

Observou-se maior produção de gases (mL g⁻¹), através do parâmetro “a”, utilizando o líquido ruminal de bovinos em comparação ao líquido proveniente de ovinos, com a média geral entre todos os alimentos de 187,40 (mL g⁻¹MS) para bovinos, e 174,41 (mL g⁻¹MS) para ovinos.

Segundo dados publicados por O'Mara et al. (1999), alimentos que possuem maiores quantidades de extrato etéreo apresentam maior degradação quando em contato com líquido ruminal de bovinos, comportando similar ao observado no presente estudo, visto que obteve-se diferença estatística (P<0,05) quando considerada a média geral, na qual estão inclusos três alimentos com alta concentração de extrato etéreo. Entretanto, o mecanismo por trás dessa diferença ainda não é bem esclarecido, sendo essa, de forma geral, atribuída a questões de ambiente ruminal, que afetam as populações microbianas ruminais, influenciando no processo de degradação ruminal.

Para o parâmetro “b” que avalia a taxa de degradação (% h⁻¹), em líquido ruminal de bovinos e ovinos, o DDG apresentou maior velocidade de degradação em relação aos outros alimentos. Apesar deste alimento apresentar grandes quantidades de carboidratos e proteínas na fração C, a quantidade de hemicelulose é a maior entre os concentrados proteicos, podendo assim possuir uma elevada taxa de degradação.

Segundo Campos et al. (2006, a diferença encontrada entre as espécies ovina e bovina são atribuídas principalmente às bactérias presentes no líquido ruminal, uma vez que a velocidade de degradação é influenciada por diversos fatores. Além das características intrínsecas dos alimentos, a disponibilidade qualitativa e quantitativa dos micro-organismos presentes interferem diretamente na degradação.

Portanto, mesmo se utilizando os mesmos alimentos, a resposta na degradação pode ser diferente, visto que as populações microbianas ruminais de cada espécie tendem a ser afetadas de maneira diferente frente aos alimentos que chegam no rúmen, visto que as condições intrínsecas de cada espécie afetam o ambiente ruminal, como temperatura corporal, mastigação, produção de saliva, remoção dos produtos da fermentação, entre outros.

No parâmetro “c”, tanto para o líquido ruminal de bovinos quanto para o de ovinos, o DDG apresentou o menor valor entre os alimentos, fato este provavelmente devido às baixas concentrações das frações digestíveis de carboidratos observadas nesse ingrediente.

Quanto à produção de gases, pode-se observar (Figura 1) que o farelo de soja apresentou maior produção nas primeiras horas,

provavelmente isso tenha ocorrido pela maior quantidade de frações A+B1 de carboidratos presentes neste alimento quando comparado aos demais. Segundo Velásquez et al. (2009), alimentos que apresentam maiores quantidades de frações solúveis e de rápida degradação otimizam a produção de gases, assim alimentos com altas proporções destas porções tendem a serem degradados mais rapidamente nas primeiras horas.

O pico de produção de gases nos alimentos ocorreu nas 18 horas após a incubação (Figura 1). Provavelmente esse pico tenha relação com frações dos carboidratos que possam elevar a disponibilidade de energia para os micro-organismos que fermentam os alimentos. Segundo Muniz et al. (2011) a fração B2 tem como efeito a maximização do crescimento microbiano, assim elevando a produção de gases.

O DDG apresentou um padrão de degradação diferente dos demais alimentos, tendo dois picos de produção de gases, provavelmente por este motivo o DDG apresentou quantidade

semelhante ao farelo de soja na produção de gases. O pico mais tardio de produção de gases possivelmente tenha ocorrido pela grande quantidade de LDA presente neste alimento.

Segundo Azevêdo et al. (2003), quanto maior a quantidade LDA, maior a dificuldade no aumento da massa microbiana, fazendo com que a degradação do alimento seja de forma mais lenta; assim, alguns nutrientes podem ser disponibilizados ao decorrer do tempo.

Conclusão

O farelo de soja, por ter apresentado os resultados mais interessantes do ponto de vista de cinética da degradação, se firmou como a fonte proteica mais interessante à alimentação de ruminantes. Entretanto, os demais alimentos estudados podem ser utilizados em situações específicas como fontes alternativas.

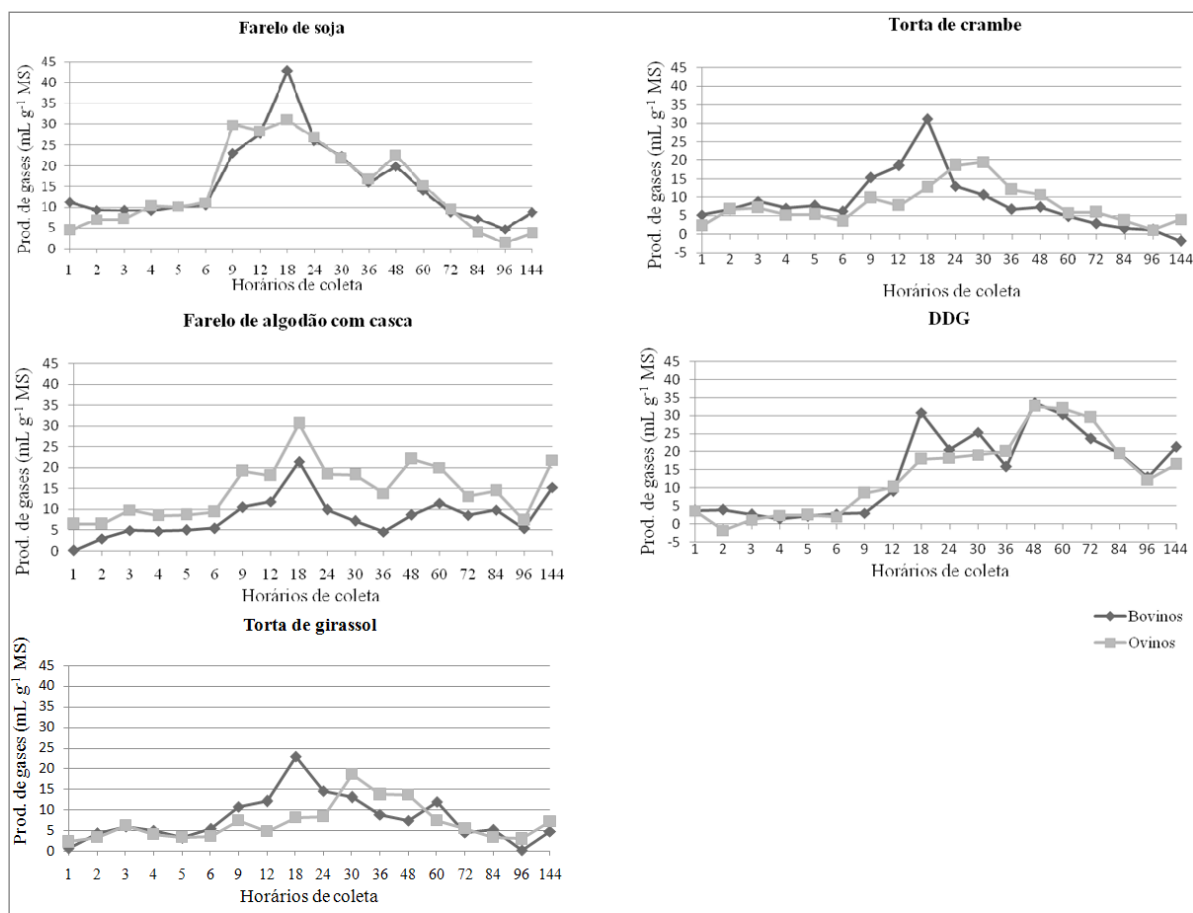


Figura 1: Curva de produção de gases (mL h⁻¹) em função dos tempos de coleta do farelo de soja, farelo de algodão com casca, torta de girassol, torta de crambe e DDG.

Referências

ANDRADE I.V.O.; PIRES A.J.V.; CARVALHO G.G.P.; VELOSO C.M.; BONOMO, P. Fracionamento de proteína e carboidratos em silagens de capim-elefante contendo subprodutos agrícolas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 11, p. 2342-2348, 2010.

AZEVEDO, J.A.G.; PEREIRA, J.C.; QUEIROZ, A.C.; CARNEIRO, P.C.S.; LANA, R.P.; BARBOSA, M.H.P.; FERNANDES, A.M.; RENNÓ, F.P. Composição químico-bromatológica, fracionamento de carboidratos e cinética da degradação in vitro da fibra de três variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 32, n. 6, p.1443-1453, 2003.

- BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA S. G. *Nutrição de Ruminantes*. 2 ed. Jaboticabal: Funep 2011, 616 p.
- CAMPOS, P.R.S.S.; VALADARES FILHO, S.C.; CECON, P.R.; DETMANN, E.; LEÃO, M.I.; SOUZA, S.M.; LUCCHI, B.B.; VALADARES, R.F.D. Estudo comparativo da cinética de degradação ruminal de forragens tropicais em bovinos e ovinos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 58, n. 6, p.1181-1191, 2006.
- CARVALHO, D.C.O.; ALBINO, L.F.T.; VARGAS JUNIOR, J.G.; TOLEDO, R.S.; OLIVEIRA, J.E.; SOUZA, R.M. Coeficiente de digestibilidade verdadeira dos aminoácidos e valores de aminoácidos digestíveis do milho submetido a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 5, p. 850-856, 2009.
- CARVALHO, G.G.P.; GARCIA, R.; PIRES, A.J.V.; PEREIRA, O.G.; FERNANDES, F.E.P.; OBEID, J.A.; CARVALHO, B.M.A. Fracionamento de carboidratos de silagem de capim-elefante emurchedo ou com farelo de cacau. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 4, p.1000-1005, 2007.
- FERNANDES J.J.R.; PIRES A.V.; OLIVEIRA. R.C.; SANTOS F.A.P.; SUSIN I.; CARVALHO E.R. Farelo de soja em substituição à ureia em dietas para bovinos de corte em crescimento. *Ciência Animal Brasileira*, v.10, n. 2, p. 373-378, 2009.
- FORTALEZA, A.P.S. *Torta de nabo forrageiro: valor nutritivo, ingestão, desempenho e características de carcaça e da carne de novilhas ½ Limousin + ½ Nelore*. 2011. 94 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.
- LEÃO M.I.; VALADARES FILHO S.C.; RENNÓ L.N. Consumos e Digestibilidades Totais e Parciais de Carboidratos Totais, Fibra em Detergente Neutro e Carboidratos Não-Fibrosos em Novilhos Submetidos a Três Níveis de Ingestão e Duas Metodologias de Coleta de Digestas Abomasal e Omasal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 2, p. 670-678, 2005.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; VAN SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, v. 57, n. 4, p. 347-358, 1996.
- MALAFIA P.A.; VALADARES FILHO M.S.C.; VIEIRA R.A.M.; SILVA J.F.C.; PEREIRA J.C. Determinação das Frações que Constituem os Carboidratos Totais e da Cinética Ruminal da Fibra em Detergente Neutro de Alguns Alimentos para Ruminantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 27, n. 4, p.790-796, 1998.
- MALAFIA, P.A.M.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, J.F.C. Determinação das frações que constituem a proteína bruta de alguns volumosos e concentrados. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33. 1996. *Anais...* Fortaleza: SBZ, 1996. p. 302-305, 1996.
- MANELLA, M.Q. *Perfil de aminoácidos e estudo da cinética de degradação ruminal de alimentos em bovinos Nelore recebendo diferentes proporções de concentrado*. 2004. 104 p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2004.
- MARTINS, A.S.; ZEOULA, L.M.; PRADO, I.N. MARTINS, E.N.; LOYOLA, V.R. Degradabilidade ruminal "in situ" da matéria seca e proteína bruta das silagens de milho e sorgo e de alguns alimentos concentrados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 28, n. 5, p. 1109-1117, 1999.
- MCDUGALL, E.I. Studies on ruminant saliva: The composition and output of sheep saliva. *Biochemistry Journal*, v. 43, n.1, p. 99-109, 1948.
- MIZUBUTI, I.Y.; PINTO, A.P.; PEREIRA, E.S.; OLIVEIRA, B.M. *Métodos laboratoriais de avaliação de alimentos para ruminantes*. Londrina: EDUEL. 226 p. 2009.
- MIZUBUTI, I.Y.; RIBEIRO, E.L.A.; PEREIRA, E.S.; PINTO, A.P.; FRANCO, A.L.C.; SYPERREK, M.A.; DÓREA, J.R.R.; CUNHA, G.E.; CAPELARI, M.G.M.; MUNIZ, E.B. Cinética de fermentação ruminal in vitro de alguns co-produtos gerados na cadeia produtiva do biodiesel pela técnica de produção de gases. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, p. 2021-2028, 2011.
- MOSER, L.E. Post-harvest physiological changes in forage plants. In: MOORE, K.J.; KRAL, D.M.; VINEY, M.K. (Eds.) *Postharvest physiology and preservation of forages*. Madison: American Society of Agronomy Inc., 1995. p.1-19.
- MUNIZ E.B.; MIZUBUTI I.Y.; PEREIRA E.S.; PIMENTEL P.G.; RIBEIRO E.L.A.; ROCHA JÚNIOR J.N.; CAPELARI M.G.M.; BRITO V.M. Cinética de degradação ruminal de carboidratos de volumosos secos e aquosos: técnica de produção de gases. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 32, n. 3, p. 1191-1200, 2011.
- OLIVEIRA, A.C.; GARCIA, R.; PIRES, A.J.V.; OLIVEIRA, H.C.; ALMEIDA, V.V.S.; VELOSO, C.M.; ROCHA NETO, A.L.; OLIVEIRA, U.L.C. Farelo de mandioca na ensilagem de capim-elefante: fracionamento de carboidratos e proteínas e características fermentativas. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.13, n. 4, p.1020-1031, 2012.
- O'MARA, F.P.; COYLE, J.E.; DRENNAN, M.J.; YOUN, G. P.; CAFFREY, P.J. A comparison of digestibility of some concentrate feed ingredients in cattle and sheep. *Animal Feed Science and Technology*, v. 81, p. 167-174, 1999.
- PEREIRA E.S.; PIMENTEL P.G.; DUARTE L.S.; MIZUBUTI I.Y.; ARAÚJO G.G.L.; CARNEIRO M.S.S.; REGADAS FILHO J.G.L.; MAIA I.S.G. Determinação das frações proteicas e de carboidratos e estimativa do valor energético de forrageiras e subprodutos da agroindústria produzidos no Nordeste Brasileiro. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 4, p. 1079-1094, 2010.
- RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.G.; VAN SOEST, P.J.; SNIFFEN, C.J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I - Ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, v. 70, p. 3551-3561, 1992.
- SILVEIRA J.P.F.; PANICHI A.; PERSICHETTI JÚNIOR P.; FACTORIM. A.; BALDIM S.; COSTA C. Aspectos da degradação sincronizada de nutrientes e seus efeitos na produção de ruminantes. *Revista Unimar Ciências*, v. 17, n. 1-2, 2008.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST P.J.; FOX, D.G.; RUSSELL, J.B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, v.70, n.11, p.3562-3577, 1992.
- SOARES, C.A.; CAMPOS, J.M.S.; VALADARES, R.F.D.; VALADARES FILHO, S.C.; MENDONÇA, S.S.; QUEIROZ, A.C.; LANA, R.P.; VÉRAS, R.M.L.; SARAIVA, E.P. Produção de proteína microbiana e parâmetros ruminais em vacas leiteiras alimentadas com farelo de trigo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 1, p. 345-350, 2005.
- SOBRINHO, P. *Processo (simplificado) de produção de ETANOL de MILHO, Destilaria/Usina FLEX e Abordagem Descritiva de um Novo Potencial*. CONAB, Cuiabá-MT, 2012. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_03_28_12_11_19_007a-12_-_proc_simplificado_-_prod_etanol_-_milho_-_mt.pdf >. Acesso em: 10 set. 2012.

SOUZA, M.L.; MENEZES, H.C. Processamentos de amêndoa e torta de Castanha-do Brasil e farinha de mandioca: parâmetros de qualidade. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 24, n. 1, p.120-128, 2004.

VALADARES FILHO, S.C.; MACHADO, P.A.S.; CHIZZOTTI, M.L.; AMARAL, H.F.; MAGALHÃES, K.A.; ROCHA JUNIOR, V.R.; CAPELLE, E.R. CQBAL 3.0. Tabelas Brasileira de Composição de Alimentos para Bovinos. 2013. Disponível em: <<http://cqbal.agropecuaria.ws/webcqbal/index.php>>. Acesso em 19 jul. 2017.

VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of ruminant*. Ithaca: Cornell University Press, 1994.

VELÁSQUEZ, P.A.T.; BERCHIELLI, T.T.; REIS, R.A.; RIVERA, A.R.; DIAN, P.H.M.; TEIXEIRA I.A.M.A. Cinética da fermentação e taxas de degradação de forrageiras tropicais em diferentes idades de corte estimadas pela técnica de produção de gases *in vitro*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 9, p.1695-1705, 2009.

ZAMBOM, M.A.; SANTOS, G.T.; MODESTO, E.C.; ALCALDE, C.R.; GONÇALVES, G.D.; SILVA, D.C.; SILVA, K.T.; FAUSTINO, J.O. Valor nutricional da casca do grão de soja, farelo de soja, milho moído e farelo de trigo para bovinos. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 23, n. 4, p. 937-943, 2001.