

Caracterização, fracionamento protéico, degradabilidade ruminal e digestibilidade *in vitro* da matéria seca e proteína bruta do resíduo de cervejaria úmido e fermentado

Luiz Juliano Valério Geron¹, Lúcia Maria Zeoula^{2*}, Antônio Ferriani Branco², Jacco Arnoud Erke², Odimar Priscila Pires do Prado³ e Guido Jacobi²

¹Departamento de Zootecnia, Universidade do Estado de Mato Grosso, Pontes e Lacerda, Mato Grosso, Brasil. ²Curso de Graduação em Zootecnia, Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. ³Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: lmzeoula@uem.br

RESUMO. Foram avaliadas as frações da proteína e dos carboidratos, a degradabilidade ruminal efetiva (DE) da matéria seca (MS) e proteína bruta (PB), a digestibilidade ruminal *in vitro* (DRIV) da MS e PB, a digestibilidade intestinal *in vitro* (DIIV) da proteína não-degradada no rúmen (PNDR) e os perfis de aminoácidos (AA) e de ácidos graxos (AG) do resíduo de cervejaria úmido (RCU) e fermentado (RCF). O RCF foi obtido pelo processo de fermentação microbiana do RCU. Para determinar a DE da MS e PB do RCU e RCF, foram utilizados três novilhos da raça Holandesa, portadores de cânula ruminal. A DIIV da PNDR foi obtida pelo método de três estágios. Os dados obtidos para DE da MS e PB foram submetidos à análise de variância, em delineamento inteiramente casualizado. A fração A da PB do RCU foi de 7,9% e do RCF de 13,1% da PB. A DE da PB a 5% h⁻¹ não diferiu ($p < 0,05$) entre o RCU e o RCF. A DRIV da PB do RCF foi de 8,7% e as DIIV da PNDR do RCU e do RCF foram de 70,5 e 72,5%, respectivamente. Os perfis de AA e AG do RCU e RCF foram similares. O processo de fermentação anaeróbica não alterou as características nutricionais do RCU.

Palavras-chave: ácidos graxos, aminoácidos, degradabilidade efetiva, digestibilidade intestinal.

ABSTRACT. Characterization, protein fractioning, dry matter and crude protein rumen degradability and *in vitro* digestibility of wet and fermented brewer's grain.

The study evaluated the protein and carbohydrate fraction, dry matter (DM) and crude protein (CP) effective rumen degradability (ED), DM and CP *in vitro* ruminal digestibility (RDIV), rumen-undegradable protein (RUDP) *in vitro* intestinal digestion (IDIV) and amino-acid (AA) and fatty acid (FA) profile of the wet brewer's grain (WBG), and fermented brewer's grain (FBG). FBG was obtained from WBG fermentation. The DM and CP ED of WBG and FBG were determined in three Holstein steers with ruminal cannula. The IDIV of RUDP was obtained by the three-stage method. The values obtained for DM and CP ED were submitted to variance analysis, in a randomized design. The A fraction of WBG CP was 7.9%, and for FBG 13.1% of CP. The CP RD in a rate of 5% h⁻¹ did not differ ($p > 0.05$) between WBG and FBG. The crude protein RDIV of FBG was 8.7% and IDIV of RUDP of WBG and FBG were of 70.5% and 72.5%, respectively. The AA and FA profile of WBG and FBG were similar. The anaerobic fermentation process did not change the nutritional characteristics of the WBG.

Key words: fatty acid, amino-acid, effective degradability, intestinal digestion.

Introdução

O enfoque da nutrição e produção de ruminantes baseiam-se na procura de novos alimentos. Existe uma grande diversidade de resíduos nos países tropicais, e a sua utilização é crescente, uma vez que técnicos e produtores procuram a diminuição de custos com a alimentação destes ruminantes.

O uso de resíduos agro-industriais, na alimentação de ruminantes, como o resíduo de cervejaria úmido (RCU), disponível em grandes quantidades em determinadas regiões brasileiras, principalmente sul e sudeste, pode ser uma alternativa na redução dos custos de alimentação.

O RCU apresenta baixos teores de matéria seca (MS) e é apontado como a maior limitação para o

seu uso economicamente. Teores de 9,20 a 30,00% de MS foram observados na literatura (Lima, 1993; Costa *et al.*, 1994; Cabral Filho, 1999).

A conservação do RCU nas propriedades rurais, também é considerada uma limitação para o uso deste subproduto (Cabral Filho, 1999). Os fungos e as leveduras são os principais microrganismos responsáveis pela degradação do RCU em condições aeróbias (Allen *et al.*, 1975). Uma das alternativas para a conservação do RCU seria a desidratação e a ensilagem, conforme mencionado por Polan *et al.* (1985). A alternativa mais econômica seria a utilização do processo de fermentação anaeróbia para a conservação do RCU. Entretanto, poucas pesquisas foram realizadas com o resíduo de cervejaria fermentado – RCF (Johnson *et al.*, 1987; Lima, 1993; Cabral Filho, 1999).

O RCU possui uma grande variação na sua composição química, e grande parte desta variação deve-se à estratégia de fabricação de cada indústria (Cabral Filho, 1999). Durante o processo industrial, para a obtenção do mosto da cerveja, a fração sólida dos cereais é lavada com água em diferentes intensidades. Praticamente toda dextrina e maltose são extraídas pelas lavagens, e, conseqüentemente, a proteína bruta (PB) e outros nutrientes aumentam sua concentração no RCU, em relação aos grãos que os originaram (Clark *et al.*, 1987).

Segundo Van Soest (1994), os constituintes químicos e as taxas de degradação dos diferentes resíduos diferem grandemente. Diante disso, torna-se de fundamental importância avaliar os resíduos com potencial para a alimentação dos animais, com o intuito de se obter dados em relação às frações de proteína bruta e carboidratos totais, que possam gerar tabelas para cálculos matemáticos para a formulação de rações.

O Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) fraciona a proteína dos alimentos da seguinte maneira: frações A, considerada de rápida disponibilidade e constituída basicamente de nitrogênio não-protéico; fração B₁ constituída de proteínas solúveis e rapidamente degradáveis no rúmen, composta de peptídeos, oligopeptídeos e globulinas; fração B₂ constituída de proteínas citoplasmáticas albuminas e glutelinas, de degradação ruminal intermediária; fração B₃ composta de proteínas insolúveis, associadas à parede celular, prolaminas e proteínas desnaturadas em detergente neutro, de degradação lenta no rúmen; e fração C, constituída de proteína lignificada, indisponível no rúmen e no intestino (Sniffen *et al.*, 1992).

Os carboidratos dos alimentos são fracionados,

segundo o CNCPS em: fração A, açúcares simples + B₁ amido e pectina; fração B₂ constituída de carboidratos da parede celular de lenta degradação ruminal; e fração C, composta pela fibra indigestível (Sniffen *et al.*, 1992).

O RCU caracteriza-se por ser um alimento com alto potencial na nutrição de ruminantes, entretanto necessita ser submetido a um processo de conservação. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi caracterizar química e biologicamente o resíduo de cervejaria fermentado (RCF), por meio do fracionamento de proteína e dos carboidratos, segundo CNCPS, da degradabilidade ruminal *in situ* da MS e PB, da digestão ruminal *in vitro* da MS e PB, da digestão intestinal *in vitro* da proteína não-degradável no rúmen (PNDR), dos perfis de aminoácidos e de ácidos graxos. Ainda, o RCF foi comparado à matéria-prima, o RCU e a fonte protéica padrão, de origem vegetal, o farelo de soja.

Material e métodos

O experimento foi conduzido nas instalações do Setor de Bovinocultura de Corte, da Fazenda Experimental de Iguatemi – FEI, no Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia e no Laboratório de Química do Departamento de Química, pertencentes à Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Estado do Paraná.

O resíduo de cervejaria úmido (RCU) foi obtido de uma indústria de cerveja, localizada no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná. O RCU foi conservado pelo processo de fermentação anaeróbia, em silo, tipo trincheira, com paredes de alvenaria, com capacidade de 45 toneladas, na Fazenda Morro dos Ventos, no município de Carambeí, Estado do Paraná. Após 30 dias de ensilagem, o RCU estava apto para ser fornecido aos animais. Aproximadamente, 5.000 kg do resíduo de cervejaria fermentado (RCF) foram transferidos para a Fazenda Experimental de Iguatemi – FEI, após 90 dias de conservação para a condução de ensaio de digestibilidade parcial e total em novilhos. A reensilagem do RCF foi realizada em silo de superfície.

A determinação das frações protéicas do RCU, do RCF e do farelo de soja (FSO) foi realizada, segundo CNCPS, com a obtenção das seguintes frações: A, B₁, B₂, B₃ e C. A fração A foi determinada de acordo com Krishnamoorthy *et al.* (1983). Os valores das frações B₁, B₂ e B₃ foram determinados segundo Sniffen *et al.* (1992). A fração C foi determinada pelo nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), segundo método descrito

por Silva e Queiroz (2002), após a obtenção da fibra em detergente ácido (FDA), segundo Van Soest *et al.* (1991).

As frações dos carboidratos do RCU, do RCF e do FSO foram obtidas a partir das equações, citada por Sniffen *et al.* (1992): carboidratos totais (CHT) = matéria orgânica (MO) – [extrato etéreo (EE) + (PB)]. A fração B₂ foi obtida pela equação: $B_2 = 100 \times ((\text{FDN (\%MS)} - \text{PIDN (\%PB)} \times 0,01 \times \text{PB (\%MS)}) - \text{FDN (\%MS)} \times 0,01 \times \text{Lignina (\%FDN)} \times 2,4) / \text{CHT (\%MS)}$, em que FDN é a fibra em detergente neutro e PIDN é a proteína insolúvel em detergente neutro. A fração A e C dos carboidratos dos alimentos foram determinadas segundo fórmulas descritas por Sniffen *et al.* (1992).

Foram utilizados três novilhos da raça Holandesa, castrados, portadores de cânula ruminal, com peso corporal médio de 480 ± 100 kg para avaliar a degradabilidade ruminal efetiva (DE) *in situ* da MS e PB do RCU, do RCF e do FSO. A composição percentual (% da MS) da ração fornecida para os novilhos canulados no rúmen foi de 54% de silagem de milho; 16% de RCF, 22% de milho; 4% de farinha de varredura de mandioca; 3% de farelo de soja e 1% sal mineral. A ração foi formulada segundo recomendações do NRC (2001). O consumo médio de MS desta ração pelos animais foi de 4,3 kg de silagem de milho, 1,3 kg do RCF e 2,4 kg de concentrado. Os animais foram adaptados à alimentação durante 14 dias e alimentados duas vezes ao dia.

As degradabilidades ruminal da MS e PB do RCU, RCF e FSO foram estimadas pela técnica *in situ* do saco de náilon. Essas amostras foram incubadas em cada um dos animais, em delineamento inteiramente casualizado. Aproximadamente 6 g das amostras (base da MS) foram colocadas em cada saco de náilon e, posteriormente, fechados com argola e elástico. Nos dias de incubação, os sacos foram presos, em triplicata, a uma barra cilíndrica de ferro inoxidável, com peso de 500 g; suspensa por um fio de náilon de 60 cm de comprimento, à cânula ruminal.

Os tempos de incubação ruminal foram de seis, nove, 12, 18, 24, 48 e 72 horas e a introdução dos sacos de náilon no rúmen foi realizada em duas etapas (primeira etapa: 24, 48 e 72 horas; e segunda etapa: seis, nove, 12 e 18 horas) para permitir que todos os sacos estivessem nas mesmas condições de fermentação. Após a remoção dos sacos de náilon do rúmen, estes foram lavados em água corrente, em máquina de lavar, em cinco ciclos de dez minutos. O tempo zero hora das amostras de RCU, RCF e FSO, contidas nos sacos de náilon, foram colocadas em

banho-maria a 39°C por 60 minutos e depois se realizou o mesmo procedimento dos demais horários. Após serem lavados, os sacos de náilon foram submetidos à secagem em estufa de ventilação forçada, a 55°C, por 72 horas para a determinação do desaparecimento da MS e PB.

A degradabilidade ruminal da MS e PB dos alimentos foi calculada pela equação descrita por Mehrez e Ørskov (1977): $p = a + b(1 - e^{-ct})$ em que p = taxa de degradação potencial no tempo t; a = intercepto representado pela porção prontamente solúvel no rúmen; b = fração insolúvel, mas potencialmente degradável; c = taxa constante de degradabilidade da fração b; t = tempo de incubação; $a + b \leq 100$.

Os parâmetros não-lineares a, b e c foram estimados pelos procedimentos iterativos de quadrados mínimos. A DE da MS e PB, no rúmen, foi calculada pela equação descrita por Ørskov e McDonald (1979): $DE = a + ((b \times c)/(c + k))$, em que k é a taxa estimada da passagem dos sólidos no rúmen, e os demais parâmetros foram descritos na equação anterior.

A digestibilidade ruminal *in vitro* (DRIV) da MS e da PB do RCU, RCF e FSO foi determinada segundo o método de Baumgardt *et al.* (1962), descrito por Silva e Queiroz (2002). A metodologia utilizada para a determinação da digestibilidade intestinal *in vitro* (DIIV) da PNDR e da PNDR digestível no intestino delgado (PNDR_D) do RCU, RCF e FSO foi descrita por Calsamiglia e Stern (1995).

A determinação do teor de MS dos alimentos estudados foi realizada em estufa a 100 – 105°C, o teor de nitrogênio foi obtido pelo método semi-micro-Kjeldahl, usando 6,25 como fator de conversão para PB, a matéria mineral (MM) foi realizada pelo método por incineração em mufla a 550 a 600°C e o teor de EE foi determinado pela extração por lavagem com éter de petróleo, segundo citações de Silva e Queiroz (2002).

A determinação da FDN e da FDA dos alimentos estudados foi realizada de acordo com Van Soest *et al.* (1991), em seguida, determinou-se o teor de nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e do nitrogênio NIDA, pelo método semi-micro-Kjeldahl (Silva e Queiroz, 2002). Os carboidratos não-estruturais (CNE) do RCU, RCF e FSO foram estimados pela fórmula descrita por Sniffen *et al.* (1992).

O perfil de aminoácidos do RCF foi realizado no Laboratório de Alta Tecnologia (Mogiana S/A) em Campinas, Estado de São Paulo. O perfil dos ácidos graxos da gordura do RCU, RCF e FSO foi

determinado em cromatógrafo a gás, com a extração dos lipídios totais, realizada pelo método Bligh e Dyer (1959), e a saponificação, esterificação e metilação dos lipídios determinados de acordo com os procedimentos descritos por Hartman e Lago (1973).

Para a degradabilidade ruminal da MS e PB, os dados obtidos do RCU, RCF e FSO foram submetidos à análise de variância, em delineamento inteiramente casualizado, em três animais, utilizando o modelo linear do Sistema de Análise Estatística e Genética – Saeg (UFV, 1997). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Resultados e discussão

A composição química do RCU, RCF e FSO está demonstrada na Tabela 1. Os teores de MS e dos nutrientes obtidos para o RCU ficaram próximos à variação observada na literatura de 9,20 a 45,10% de MS; 24,86 a 34,80% de PB; 6,75 a 10,10% de EE; 26,33 a 59,95% de FDN e 22,70 a 23,92% de FDA expressos em porcentagem da MS (Johnson *et al.*, 1987; Lima, 1993; Costa *et al.*, 1994; Cabral Filho, 1999).

Tabela 1. Composição química do resíduo de cervejaria úmido (RCU), do resíduo de cervejaria fermentado (RCF) e do farelo de soja (FSO).

Table 1. Chemical composition of the wet brewers grain (WBG), fermented brewers grain (FBG) and soybean meal (SBM).

Item Item	Alimentos Feeds		
	RCU WBG	RCF FBG	FSO SBM
MS	23,45	27,50	88,09
DM			
MO (%MS)	97,37	96,16	93,46
OM (% DM)			
PB (%MS)	31,69	29,92	50,21
CP (% DM)			
EE (%MS)	5,46	5,39	2,34
EE (% DM)			
CHT (%MS)	60,22	60,85	40,92
TCH (% DM)			
CNE (%MS)	7,90	7,52	30,84
SNC (% DM)			
FDN (%MS)	59,65	58,52	13,92
NDF (% DM)			
FDA (%MS)	24,82	23,66	5,41
ADF (% DM)			
Lignina (%MS)	7,98	7,68	3,05
Lignin (% DM)			
NIDN (% N total)	42,44	39,81	6,65
NDIN			
NIDA (%N total)	14,40	13,55	2,25
ADIN			

MS: matéria seca, MO: matéria orgânica, PB: proteína bruta, EE: extrato etéreo, CHT: carboidratos totais, CNE: carboidrato não estrutural, FDN: fibra em detergente neutro, FDA: fibra em detergente ácido, lignina, NIDN: nitrogênio insolúvel em detergente neutro, NIDA: nitrogênio insolúvel em detergente ácido, N: nitrogênio.

DM: dry matter, CP: crude protein, OM: organic matter, EE: ether extract, TCH: total carbohydrate, NSC: non structural carbohydrate, NFD: neutral detergent fiber, ADF: acid detergent fiber, ADIN: acid detergent insoluble nitrogen, NDIN: neutral detergent insoluble nitrogen, N: nitrogen.

O RCU e o RCF apresentaram teores médios de MS (71%), PB (39%) e CNE (75%) inferiores ao

FSO, expressos em % da MS. Entretanto, o FSO apresentou teores de MO (3%), EE (57%), CHT (32%), FDN (76%), FDA (78%) e lignina (61%) inferiores à média observada para o RCU e RCF. Desta forma, o RCU e o RCF, com teores de PB em torno de 30% na MS, podem ser caracterizados como alimentos protéicos e com alto teor de fibra.

De modo geral, observou-se que a composição química do RCF foi próxima à do RCU, este comportamento pode ter sido influenciado pelo processo de conservação (fermentação anaeróbia), o qual auxiliou na manutenção das características e composição química deste subproduto. Entretanto, pequena variação ocorreu no teor de MS do RCU (23,45%), o qual foi 15% menor em relação ao RCF (27,50%), provavelmente por causa das perdas de efluentes do silo. A redução de 6%, observada para o teor de PB do RCF (29,92%) em relação ao RCU (31,69%), pode ter sido consequência da deaminação e volatilização da proteína ocorrida no silo durante o processo de conservação do RCU (Johnson *et al.*, 1987).

As diferenças percentuais observadas entre a composição química do RCU e RCF foram, provavelmente, em virtude do processo de fermentação o qual transformou moléculas compostas em substâncias mais simples o que pode levar à sua perda durante o período de estocagem.

As frações nitrogenadas e as dos carboidratos do RCU, RCF e FSO estão demonstradas na Tabela 2. Os valores observados para a fração A da PB do RCU, em porcentagem da MS e PB, foram inferiores aos do RCF. Entretanto, a fração B₁ da PB expressa em % da MS foi 28% menor para o RCF em relação ao RCU. Essa diferença observada pode ter sido influenciada pela transformação dos peptídeos e oligopeptídeos em compostos mais simples (amônia), promovido pelas bactérias anaeróbias durante o processo de ensilagem.

A fração B₂ da PB foi similar entre o RCU e o RCF, expressos em % da MS e PB, entretanto foram inferiores ao FSO. A fração B₃ da PB, a qual parte escapa da fermentação ruminal, foi 5 e 83% menor para o RCF e FSO, respectivamente, em relação ao RCU, expresso em % da PB. A variação na fração B₃ da PB obtida entre o RCU e o RCF pode estar relacionada com o processo de fermentação, o qual pode alterar a característica das frações nitrogenadas dos alimentos, ou seja, transformar a fração B₃ em B₂, por meio da ação de bactérias e enzimas. Pereira *et al.* (1998) observaram que o RCU seco, em diferentes temperaturas, apresentou valores para a fração B₂ e B₃ similares ao do RCU do presente estudos e sugeriram que o processamento do grão de

cevada durante a produção de cerveja e a secam do RCU podem ter contribuído para o elevado teor da fração B₃ da PB (9% na MS). A fração C da proteína foi maior para o RCU em relação ao RCF expressos, tanto em % de MS, quanto em % da PB.

Tabela 2. Frações nitrogenadas e dos carboidratos do resíduo de cervejaria úmido (RCU), do resíduo de cervejaria fermentado (RCF) e farelo de soja (FSO) em %MS e %PB.

Table 2. Nitrogen and carbohydrate fraction of wet brewers grain (WBG), fermented brewers grain (FBG) and soybean meal (SBM) express in %DM and %CP.

Variáveis Variables	Alimentos Feeds		
	RCU WBG	RCF FBG	FSO SBM
Frações nitrogenada %MS Nitrogen fractions %DM			
A	2,5	3,9	8,3
B ₁	5,3	3,8	9,4
B ₂	11,2	10,7	29,2
B ₃	8,3	7,4	2,2
C	4,6	4,1	1,1
Frações nitrogenada %PB Nitrogen fractions %CP			
A	7,9	13,1	16,6
B ₁	16,2	12,7	18,7
B ₂	35,4	35,8	58,1
B ₃	26,1	24,8	4,4
C	14,4	13,5	2,3
Frações dos carboidratos % MS Carbohydrat fractions % DM			
A+B ₁ *	10,1	10,7	28,9
B ₂ *	28,2	29,2	2,5
C*	21,9	21,0	9,4
Frações dos carboidratos % CHT Carbohydrat fractions % TCH			
A+B ₁ *	22,2	22,7	74,2
B ₂ *	43,8	45,0	5,5
C*	34,0	32,3	20,3

A: fração de rápida disponibilidade (nitrogênio não protéico); B1: fração rapidamente degradável no rúmen (peptídeos e oligopeptídeos); B2: degradação intermediária (proteínas citoplasmáticas); B3: degradação lenta (proteína associada a parede celular); C: fração insolúvel, (proteína lignificada, indisponível no rúmen e no intestino). Fração A*: fração solúvel (açúcares simples); B1*: composta de amido e pectina; B2*: carboidratos da parede celular; C*: fibra indigestível.

A: Fast availability fraction (non-protein nitrogen); B1: Rumens quickly degradable fraction (peptides and oligopeptides); B2: intermediary degradation (cytoplasmatic proteins); B3: slow degradation (associated protein the cellular structure); C: insoluble fraction (lignified protein, not available in the rumen and in the intestine). Fraction A*: soluble fraction (simples sugar); B1*: fraction contend amid and pectin; B2*: carbohydrate of structural cellular; C*: undigestible fiber.

Considerando que as frações A + B₁ indicam maior fornecimento de NNP e peptídeos degradáveis no rúmen, o FSO propiciou maiores teores dessas frações (35,2% da PB) em relação ao RCU (24,1% da PB) e RCF (25,8% da PB). Por outro lado, a substituição ao farelo de soja pelos RCU e RCF reduziria a degradação ruminal da proteína nas rações o que permitiria maior passagem de proteína dietética para o intestino, disponíveis para o metabolismo animal, uma vez que a fração B₃ foi maior para o RCU (26,1%) e RCF (24,8%) em relação ao FSO (4,4% da PB).

Com relação ao fracionamento dos CHT, verificou-se que o RCU e o RCF apresentaram valores semelhantes para a fração A + B₁ (açúcares simples + amido e pectina) com valores médios de 10,4% na MS, e 22,4% no CHT.

O RCU e o RCF apresentaram teores de

hemicelulose e celulose superior ao FSO, como verificado na fração B₂, com valor médio de 28,7% para o RCU e RCF, expresso na MS, o RCU, e o RCF apresentaram valor médio de 44,4% dos CHT na forma de parede celular e o FSO apenas 5,5%, expressos em % dos CHT. Estes resultados são também confirmados pelos maiores valores de FDN (% na MS) do RCU (59,7%) e do RCF (58,5%), em relação ao FSO (13,9%).

A fração C dos carboidratos (fibra indigestível), expressos em % CHT do RCU e do RCF, foi similar entre si e 39% superior em relação ao FSO, o qual pode ter sido influenciado pelo processo de maltagem dos grãos de cevada, que elevou a concentração de carboidratos estruturais e complexados do RCU e RCF.

Os parâmetros a, b, c, degradabilidade potencial (DP) e DE da MS e PB para as taxas de passagem de 2; 5 e 8% h⁻¹ do RCU, RCF e FSO estão demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3. Fração solúvel (a), insolúvel potencialmente degradável (b), taxa de degradação (c) da fração b, degradabilidade potencial (DP) e degradabilidade ruminal efetiva (DE) da matéria seca e proteína bruta do resíduo de cervejaria úmido (RCU), do resíduo de cervejaria fermentado (RCF) e do farelo de soja (FSO) para as taxas de passagem de 2, 5 e 8% h⁻¹.

Table 3. Soluble (a) and potentially degradable insoluble fractions (b), degradation rate (c) of fraction b, potential degradability (PD) and effective degradability (ED) of dry matter and crude protein of the wet brewers grain (WBG), fermented brewers grain (FBG) and soybean meal (SBM) at passage rates of 2, 5 and 8% h⁻¹.

Variáveis <i>Variables</i>	Alimentos <i>Feeds</i>			CV % <i>CV %</i>
	RCU <i>WBG</i>	RCF <i>FBG</i>	FSO <i>SBM</i>	
Matéria seca (MS) <i>Dry matter (DM)</i>				
a	3,8 ^c	11,1 ^b	18,6 ^a	4,4
b	62,0 ^b	54,9 ^c	74,6 ^a	2,1
c % h ⁻¹	5,0 ^b	6,0 ^b	8,00 ^a	8,0
DP %	65,4 ^b	66,0 ^b	93,2 ^a	2,3
PD (%)				
DE 2% h ⁻¹	47,7 ^c	51,6 ^b	78,7 ^a	1,8
ED				
DE 5% h ⁻¹	34,4 ^c	40,2 ^b	65,2 ^a	2,6
ED				
DE 8% h ⁻¹	27,3 ^c	33,8 ^b	56,6 ^a	3,2
ED				
Proteína bruta (PB) <i>Crud protein (CP)</i>				
a	4,8 ^c	9,4 ^b	11,8 ^a	6,8
b	61,1 ^b	57,9 ^b	85,8 ^a	3,2
c % h ⁻¹	5,0 ^b	5,0 ^b	7,0 ^a	7,2
DP %	65,9 ^b	67,3 ^b	97,6 ^a	2,9
PD (%)				
DE 2% h ⁻¹	47,5 ^b	49,9 ^b	77,7 ^a	2,3
ED				
DE 5% h ⁻¹	34,2 ^b	37,6 ^b	60,7 ^a	2,8
ED				
DE 8% h ⁻¹	27,3 ^b	31,0 ^b	50,7 ^a	3,2
ED				

Médias na mesma linha, seguidas de letras diferentes, diferem (p < 0,05) pelo teste de Tukey. CV: coeficiente de variação.

Averages in the same row, followed by different letters are different (p < 0.05) by Tukey test. CV: coefficient variation.

Os valores obtidos para a fração a, b e c, DP e DE da MS e PB foram menores (p < 0,05) para o RCU e o RCF em relação ao FSO (Tabela 3). Deste

modo, o RCU e o RCF caracterizaram-se como fontes de proteína de baixa e mais lenta degradação, no rúmen, em relação ao FSO. Da mesma maneira, Armentano *et al.* (1986) observaram menores valores para a fração b e taxa de degradação c da fração b da MS e PB do RCU e resíduo de cervejaria desidratado (RCD), em relação ao FSO.

Os menores valores ($p < 0,05$) obtidos para a DE da PB do RCU e RCF, em relação ao FSO, provavelmente, devem-se à extração dos componentes solúveis durante o processo de maltagem do grão de cevada. As globulinas, proteínas solúveis dos grãos de cevada, milho e arroz são extraídas pelas lavagens para a obtenção do mosto e esses grãos não contêm ou apresentam uma baixa concentração de albumina (Clark *et al.*, 1987), uma fração da proteína insolúvel de rápida degradação (Sniffen *et al.*, 1992). Assim, predominam, no subproduto proteínas insolúveis de baixa degradabilidade como as prolinas e glutelinas (Clark *et al.*, 1987).

Em relação ao RCU e RCF, observou-se que o processo de fermentação anaeróbio também propiciou aumento na DE da MS e na fração a da PB, entretanto houve uma redução ($p < 0,05$) da fração b da MS. Não houve diferença ($p > 0,05$) para a DP e DE da PB entre o RCU e RCF. O valor obtido para a DE da PB do RCF, no presente trabalho, foi próximo da faixa de variação observada na literatura para RCU seco em diferentes temperaturas, de 26,0 a 47,9% (Pereira *et al.*, 1998; Cabral Filho, 1999; Pereira *et al.*, 1999).

A diferença ($p < 0,05$), obtida entre o RCU e o RCF para a fração a da PB, pode ter sido influenciada pela fermentação anaeróbia no silo, a qual transformou as proteínas em compostos mais simples. A variação na composição química e a qualidade da matéria-prima utilizada na indústria de cerveja podem influenciar as características de degradabilidade do RCU (Armentano *et al.*, 1986; Cabral Filho, 1999).

Estudo da cinética de degradação ruminal do RCU, submetido a diferentes temperaturas de secagem (50; 100; 134 e 174°C), realizado por Pereira *et al.* (1999), demonstrou efeito decrescente na DE da PB do RCU com o aumento da temperatura de secagem. Desta maneira, os autores propuseram que parte da variação na fração solúvel e insolúvel mais potencialmente degradável da PB do RCU e do RCF poderia ser creditada ao processo de pré-secagem a 55°C na estufa de ventilação forçada, pelo qual passaram esses alimentos antes da incubação ruminal, o que influenciou o conteúdo de nitrogênio associados à FDN e FDA (Pereira *et al.*, 1999), ou seja, o teor de PNDR.

Os valores de *DRIV* da MS e PB, de PDR, PNDR, para 16 horas de incubação ruminal e *DIIV* da PNDR e *PNDR_D* do RCU, RCF e FSO, estão demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4. Digestibilidade ruminal *in vitro* (*DRIV*) da matéria seca (MS) e proteína bruta (PB) e teores de PB, proteína degradada no rúmen (PDR) e proteína não-degradada no rúmen (PNDR) para 16 horas de incubação ruminal, digestibilidade intestinal *in vitro* (*DIIV*) da PNDR e PNDR digestível no intestino delgado (*PNDR_D*) do resíduo de cervejaria úmido (RCU), do resíduo de cervejaria fermentado (RCF) e do farelo de soja (FSO).

Table 4. Ruminal digestibility *in vitro* (*RDIV*) of dry matter (DM) and crude protein (CP) and levels of CP, rumen-degradable protein (RDP) and rumen-undegradable protein (RUDP) for 16 hours of ruminal incubation, intestinal digestibility *in vitro* (*IDIV*) of RUDP and RUDP degradable in the small intestine (*RUDP_D*) of wet brewers grain (WBG), fermented brewers grain (FBG) and soybean meal (SBM).

Variáveis Variables	Alimentos Feeds		
	RCU WBG	RCF FBG	FSO SBM
Digestibilidade ruminal <i>in vitro</i> Ruminal digestibility <i>in vitro</i>			
<i>DRIV</i> da MS <i>RDIV</i> of DM	42,1	43,5	69,5
<i>DRIV</i> da PB <i>RDIV</i> of CP	7,8	8,7	13,3
Digestibilidade intestinal <i>in vitro</i> Intestinal digestibility <i>in vitro</i>			
Alimentos incubados 16 h no rúmen Feeds incubated 16 h in rumen			
PB (%MS)	31,7	29,9	50,2
CP (%DM)			
PDR (%PB)	43,6	45,7	79,7
RDP (%CP)			
PNDR (%PB)	56,4	54,3	20,4
RUDP (%CP)			
<i>DIIV</i> da PNDR (%) I	70,5	72,5	91,7
<i>DIIV</i> of RUDP (%)			
<i>PNDR_D</i> (%)	39,8	39,4	18,7
<i>RUDP_D</i> (%)			
Alimentos sem passar pela incubação ruminal Feed without the ruminal incubation			
<i>DIIV</i> da PB (%)	75,8	76,9	96,1
<i>IDIV</i> CP (%)			

O RCU e RCF apresentaram valores próximos para a *DRIV* da MS e 38% menores em relação ao FSO, esta diferença deve-se, provavelmente, ao menor teor de CNE que estes alimentos apresentaram (7,90 e 7,52% na MS, respectivamente), em relação ao FSO (30,84%) e aos maiores teores de FDN e da FDA em relação ao FSO.

A *DRIV* da PB do RCU e do RCF foi 44 e 37%, respectivamente, menor em relação ao FSO, provavelmente, dada à característica protéica do RCU e RCF, com maior teor de PNDR em relação ao FSO, o que poderia minimizar as perdas de nitrogênio durante o processo de digestão *in vitro* da PB.

O valor observado para o teor de PDR do RCU e RCF, após 16 horas de incubação, pode ter sido devido ao processo de fermentação anaeróbia, o qual modificou a característica dos compostos nitrogenados do material fermentado. O FSO apresentou teor de PDR 78% maior em relação ao RCU e RCF.

O valor médio da *DIIV* da PNDR do RCU e do RCF foi 22% inferior ao do FSO. Entretanto, o FSO apresentou teor de PNDR_D de 53% menor em relação ao valor médio do RCU e RCF, de 39,6%. Pereira *et al.* (1998) obtiveram para a *DIIV* da PNDR do RCU, para as diferentes temperaturas de secagem, após 48 horas de incubação ruminal, valores variando de 49,9 a 80,3%. A elevada *DIIV* da PNDR, associada aos altos teores de PNDR do RCU e RCF, sugeriu que estes alimentos são fontes de proteína de passagem, podendo propiciar uma mudança no perfil de aminoácidos absorvidos no intestino delgado. Ainda, se a PB do RCU ou do RCF for protegida da degradação ruminal, esta proteína, disponível no intestino, apresenta alta digestibilidade, como se observou nos resultados obtidos para a *DIIV* da PB para o RCU e o RCF, sem passar pela incubação ruminal de 16 horas.

O perfil de aminoácidos essencial do RCF está demonstrado na Tabela 5, juntamente com os valores de aminoácidos essenciais (AAe) do tecido muscular, do leite, das bactérias ruminais e do FSO, segundo o NRC (2001), com a finalidade de comparação. Os valores observados para o teor de lisina e metionina foram superiores aos obtidos por Costa *et al.* (1994) para o RCU, de 10,1 e 3,5%, respectivamente.

Tabela 5. Perfil de aminoácidos essenciais (AAe) do resíduo de cervejaria fermentado (RCF), do tecido muscular, do leite, das bactérias ruminais e do farelo de soja (FSO) expressos como % do total de AAe.

Table 5. Essential aminoacids (eAA) profile of fermented brewers grain (FBG), body tissue, milk, ruminal bacteria and soybean meal (SBM) express % of total eAA.

Aminoácidos essenciais Essential amino acids	¹ T. musc. Body T.	¹ Leite Milk	¹ Bactéria s Bacterias	Alimentos Feeds	
				RCF FBG	¹ FSO SBM
	% do total de AAe % total of eAA				
Arginina Arginine	16,8	7,2	10,4	10,4	16,3
Isoleucina Isoleucine	7,1	11,4	11,6	10,7	10,8
Leucina Leucine	17,0	19,5	15,9	24,7	17,0
Lisina Lysine	16,3	16,0	16,6	12,1	13,7
Metionina Methionine	5,1	5,5	5,1	4,2	3,1
Fenilalanina Phenylalanine	8,9	10,0	10,1	12,4	11,0
Treonina Threonine	9,9	8,9	11,4	7,5	8,6
Valina Valine	10,1	13,1	12,4	12,2	10,6
Histidina Histidine	6,3	5,5	4,2	5,9	5,7
Triptofano Tryptophano	2,5	3,0	2,7	-	3,0
AAe (%PB)	-	-	40,0	45,2	47,6
eAA (% CP)	-	-	-	29,9	49,9
PB%	-	-	-	29,9	49,9
CP%	-	-	-	29,9	49,9

T. musc = tecido muscular; PB = proteína bruta; ¹ valores adaptados do NRC (2001).
Body T = body tissue; CP = crude protein; ¹ value of NRC (2001).

A proteína do RCF apresentou teores de leucina, metionina, fenilalanina, valina e histidina maiores do que o FSO, expressos em % do total de AAe, sendo que os teores de leucina, metionina, e valina do RCF se apresentaram mais próximos do perfil de aminoácidos do leite e da carne bovina em relação ao do FSO.

A síntese de proteína do leite é sensível ao perfil de aminoácidos da digesta duodenal (Santos *et al.*, 1998). De acordo com Chiou *et al.* (1998), vacas em lactação, alimentadas com RCU, apresentaram maior ($p < 0,05$) produção de leite, dado o maior teor de PNDR do RCU, e a sua composição em AAe apresentou elevados teores de metionina e lisina. Segundo Clark *et al.* (1975), a lisina e a metionina são os principais AAe limitantes na síntese do leite. Da mesma maneira, o RCF apresentou teor de PNDR de 54,3% da PB e teores de metionina e lisina próximos ao do leite e da carne bovina (Tabela 5). Assim, o RCF é uma alternativa alimentar que pode ser utilizada para alterar o perfil de AAe que chega ao intestino delgado de animais ruminantes.

Os perfis de ácidos graxos (AG) do RCU, do RCF e do FSO estão demonstrados na Tabela 6. O RCU e o RCF apresentaram maior concentração para os AG mirístico, palmítico, oléico e linoléico em relação ao FSO. Entretanto, o RCU e RCF apresentaram menores teores de AG α -linolênico, araquídico e gondóico em g 100 g⁻¹ de gordura em relação ao FSO.

A concentração de AG saturados e insaturados em % do total identificado foi similar entre o RCU, o RCF e o FSO. Os alimentos estudados apresentaram teor médio de AG insaturados de 76,6% do total identificado. O RCU e o RCF apresentaram maior razão de AG $\omega 6$ $\omega 3^{-1}$ de 15,6 e 13,2:1 (g 100 g⁻¹ de gordura), respectivamente, em relação ao FSO de 4,5:1. Alimentos com razão de AG $\omega 6$ $\omega 3^{-1}$ próximo de 1, em geral, estão correlacionados à prevenção de doenças cardiovasculares, inflamatórias, asma e câncer do colo-retal em humanos e animais (Simopoulos, 2002).

O RCU e o RCF apresentaram concentração de ácido linoléico em média 73% maior que o FSO, alguns produtos da isomerização do ácido linoléico, como o ácido linoléico conjugado (CLA), podem atuar como agente anticarcinogênico, inibir tumores em tecidos de ratos, tais como glândula mamária e porção anterior do estômago (Staples *et al.*, 2001). Entretanto, também tem sido relatado que o isômero do CLA (C_{18:2t10c12}) estaria relacionado com a diminuição na produção de leite (Chouinard *et al.*, 1999).

Tabela 6. Composição de ácidos graxos (AG) saturados e insaturados, razão dos AG insaturados saturados⁻¹ e ω6 (ácido linoléico) ω3 (ácido linolênico)⁻¹, e total identificado de AG (g 100 g⁻¹ de gordura) do resíduo de cervejaria úmido (RCU), do resíduo de cervejaria fermentado (RCF) e do farelo de soja (FSO).

Table 6. Fatty acids saturated and unsaturated composition, rate fatty acid unsaturated saturated⁻¹ and omega 6 (linoleic) omega 3 (linolenic)⁻¹, and total identified fatty acid (g 100 g⁻¹ of fat) of the wet brewers grain (WBG), fermented brewers grain (FBG) and soybean meal (SBM).

Nomenclatura usual Common nomenclature	Ácidos Graxos Fatty Acids	Alimentos Feeds		
		RCU WBG	RCF FBG	FSO SBM
		g 100 g ⁻¹ de gordura g 100 g ⁻¹ of fat		
Ácido mirístico <i>Myristic acid</i>	14:0	0,2	0,1	0,1
Ácido palmítico <i>Palmitic acid</i>	16:0	19,5	19,8	16,0
Ácido esteárico <i>Stearic acid</i>	18:0	2,1	1,9	1,9
Ácido oléico <i>Oleic acid</i>	18:1ω9	17,9	15,8	10,3
Ácido linoléico <i>Linoleic acid</i>	18:2ω6	50,2	50,8	36,8
Ácido α-linolênico <i>α-Linolenic acid</i>	18:3ω3	3,2	3,9	8,2
Ácido araquídico <i>Araquidic acid</i>	20:0	0,7	0,5	1,0
Ácido gondoico <i>Gondoic acid</i>	20:1ω9	1,0	1,0	4,9
Ácidos Graxos <i>Fatty acid</i>				
Saturados (% do total identificado) <i>Saturated</i>		23,5	23,8	24,1
Insaturados (% do total identificado) <i>Unsaturated</i>		76,5	76,2	77,0
Razão Insaturado Saturado ⁻¹ <i>Unsaturated Saturated⁻¹</i>		3,3	3,2	3,2
Razão ω6 ω3 ⁻¹ <i>Rate ω6 ω3⁻¹</i>		15,6	13,2	4,5
Total identificado (g 100 g ⁻¹ de gordura) <i>Total identified</i>		95,5	93,8	79,2
Outros (g 100 g ⁻¹ de gordura) <i>Other</i>		4,5	6,2	20,8

Conclusão

A conservação do resíduo de cervejaria úmido pelo processo de fermentação anaeróbica preserva suas qualidades nutritivas. O resíduo de cervejaria fermentado caracteriza-se como alimento volumoso com alto teor de carboidratos ligado à parede celular e alto teor de proteína bruta.

A proteína presente no resíduo de cervejaria úmido e fermentado é de baixa degradabilidade ruminal, de alta digestibilidade intestinal e com composição de aminoácidos essenciais semelhante ao do farelo de soja. Ainda, o resíduo de cervejaria úmido e fermentado contém maior teor de ácidos linoléico que o farelo de soja.

Referências

ALLEN, W.R. *et al.* Influence of additives on short-term preservation of wet brewers grains stored in uncovered piles. *Can. J. Anim. Sci.*, Ottawa, v. 55, n. 2, p. 609-618, 1975.

ARMENTANO, L.E. *et al.* Ruminant degradation of dried brewers grains, and soybean meal. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 69, n. 8, p. 2124-2133, 1986.

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, Ottawa, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

CABRAL FILHO, S.L.S. *Avaliação do resíduo de cervejaria em dietas de ruminantes através de técnicas nucleares e correlatas*. Piracicaba, 1999. Dissertação (Mestrado)—Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

CALSAMIGLIA, S.; STERN, M.D. A three-step *in vitro* procedure for estimating intestinal digestion of protein ruminants. *J. Anim. Sci.*, Savoy, v. 73, n. 5, p. 1459-1465, 1995.

CHIOU, P.W.S. *et al.* Wet brewers' grains or bean curd pomace as partial replacement of soybean meal for lactating cows. *Anim. Feed Sci. Technol.*, Orlando, v. 74, p. 123-134, 1998.

CHOUINARD, P.Y. *et al.* Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *J. Nutr.*, University Park, v. 129, n. 8, p. 1579-1584, 1999.

CLARK, J.H. *et al.* Lactational responses to post ruminal administration of protein and amino acids. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 68, p. 1488-1495, 1975.

CLARK, J.H. *et al.* Supplying the protein needs of dairy cattle from by products feeds. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 70, n. 5, p. 1092-1109, 1987.

COSTA, J.M.B. *et al.* Composição química bromatológica do resíduo úmido de cervejaria. *Bol. Indust. Anim.*, Nova Odessa, v. 51, n. 1., p. 21-26, 1994.

HARTMAM, L.; LAGO, R. A aroid preparation of fatty acid ethyl esters from lipids. *Laborat. Pract.*, London, v. 22, n. 8, p. 475-476, 1973.

JOHNSON, C.O.L.E. *et al.* Storage and utilization of wet brewes grains in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 70, n. 1, p. 98-107, 1987.

KRISHNAMOORTHY, U. *et al.* Evaluation of a mathematical model of rumen digestion and *in vitro* simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen-undegraded nitrogen content of feedstuffs. *Brit. J. Nutr.*, London, v. 50, n. 10, p. 555-568, 1983.

LIMA, M.L.M. *Resíduo de cervejaria úmido: formas de conservação e efeitos sobre parâmetros ruminais*. Piracicaba, 1993. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens)—Univesidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

MEHREZ, A.Z.; ØRSKOV, E.R. A study of the artificial fiber bag technique for determinning the digestibility of feeds in the rumen. *J. Agric. Sci.*, New York, v. 88, n. 1, p. 6450-6550, 1977.

NRC-National Research Council. Committee on Animal Nutrition. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th ed.

- Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 2001.
- ØRSKOV, E.R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.*, New York, v. 92, n. 2, p. 499-504, 1979.
- PEREIRA, J.C. *et al.* Rumen degradability and intestinal digestibility of brewer's grains as affected by origin and heat treatment and of barley rootlets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, Orlando, v. 74, p. 107-121, 1998.
- PEREIRA, J.C. *et al.* Cinética de degradação ruminal do bagaço de cevada submetido a diferentes temperaturas de secagem. *Rev. Bras. Zootec.*, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 1125-1132, 1999.
- POLAN, C.E. *et al.* Milk production response to diets supplemented with dried grains, wet brewers grains, or soybean meal. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 68, n. 8, p. 2016-2026, 1985.
- SANTOS, F.A.P. *et al.* Effect of urea in the concentrate mixture on intake and production of cows fed corn silage as the only forage. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 81, n. 10, p. 3182-3213, 1998.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 2. ed. Viçosa: UFV, 2002.
- SIMOPOULOS, A.P. Polyunsaturated fatty acids in biology and diseases: The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomed. Pharmacother.*, Orlando, v. 56, p. 365-379, 2002.
- SNIFFEN, C.J. *et al.* A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.*, Savoy, v. 70, n. 11, p. 3562-3577, 1992.
- STAPLES, C.R. *et al.* Estratégia de suplementação de gordura em dietas de vacas em lactação. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOCULTURA DE LEITE: NOVOS CONCEITOS EM NUTRIÇÃO, 2., 2001, Lavras. *Anais...* Lavras: UFLA, 2001. p. 179-197.
- UFV-Universidade Federal de Viçosa. *SAEG – Sistema de análises estatísticas e genéticas*. Versão 7.1. Viçosa, 1997. (Manual do usuário).
- VAN SOEST, P.J. *et al.* Methods for dietary fiber neutral detergent fiber, and nostarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 74, n. 12, p. 3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd ed. London: Constock Publishing Associates, 1994.

Received on June 02, 2006.

Accepted on March 20, 2007.