

Composição química, avaliação físico-química e nutricional e efeito da expansão do milho e do farelo de soja para suínos em crescimento

[Chemical composition, physical-chemical and nutritional evaluation and effect of expanded corn and soybean meal on growing swine]

J.A.F. Veloso^{1,3}, S.L.S. Medeiros², C.L.C. Arouca², N.M. Rodriguez¹, E.O.S. Saliba¹, S.G. Oliveira⁴

¹Escola de Veterinária da UFMG
Caixa Postal 567 - CEP 30123-970 – Belo Horizonte, MG

²Estudante de Pós-Graduação – EV-UFMG

³Bolsista do CNPq

⁴EPAMIG

RESUMO

Determinaram-se a composição química e as propriedades físico-químicas, a digestibilidade fecal dos nutrientes e os valores energéticos do milho, do milho expandido, do farelo de soja e do farelo de soja expandido, em suínos em crescimento. Foram feitas análises de rotina (análise proximal) e de energia bruta e análises específicas, como gelatinização do amido, nitrogênio insolúvel em detergente ácido, atividade ureática, solubilidade protéica em KOH 0,2% e microscopia eletrônica de varredura. Na determinação da digestibilidade, usaram-se 20 leitões machos castrados, com peso inicial médio de 33,630±1,011kg, distribuídos em delineamento experimental inteiramente ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições por tratamento. Uma dieta basal foi substituída por 40% dos alimentos energéticos ou por 20% dos protéicos. Nos alimentos expandidos, houve modificações no perfil químico e nas propriedades físico-químicas que influenciaram a digestibilidade dos nutrientes, em relação aos alimentos *in natura*. Ocorreu gelatinização do amido, incrementando ($P<0,05$) a digestibilidade dos extrativos não nitrogenados (ENN) do milho expandido, e redução ($P<0,05$) da digestibilidade dos ENN do farelo de soja expandido. Os valores de digestibilidade da matéria seca e da energia do milho expandido e do farelo de soja expandido não foram afetados. Houve acentuada redução ($P<0,05$) da digestibilidade da proteína do milho expandido, mas não do farelo de soja expandido ($P>0,05$). O processo da expansão atuou diferentemente nas avaliações de laboratório e de digestibilidade dos nutrientes do milho e do farelo de soja expandidos.

Palavras-chave: suíno, avaliação bromatológica, processamento, digestibilidade

ABSTRACT

Growing pigs were used in a trial to evaluate chemical composition, physical-chemical properties, fecal digestibility of nutrients and energetic values for corn, expanded corn, soybean meal and expanded soybean meal. Proximate analyses, crude energy and specific analyses, as starch gelatinization, acid detergent insoluble nitrogen, urea activity, 0.2% KOH protein solubility and scanning electronic microscopy were performed. Twenty growing castrated pigs averaging 33.630±1.011kg of live weight were used in a digestibility assay. The pigs were allotted to different metabolic cages, in a completely randomized design with five treatments and four replicates. The energetic feed substituted 40% and the proteic feed substituted 20% of a basal diet. Laboratory evaluations showed modification patterns for expanded feed that affected the nutrient digestibility, in comparison to *in natura* feed. The starch gelatinization increased ($P<0.05$) nitrogen free extract (NFE) digestibility in expanded corn, and

Projeto financiado pela FAPEMIG

Recebido para publicação em 15 de dezembro de 2003

Recebido para publicação, após modificações, em 10 de setembro de 2004

E-mail: jafveloso@uol.com.br

reduced it ($P<0.05$) in expanded soybean meal, due to expansion process. The expanded corn and expanded soybean meal dry matter and energy digestibility were not affected. However, the soluble protein decreased for the expanded corn, and digestible protein was significantly depressed ($P<0.05$), but not for expanded soybean meal ($P>0.05$). The expansion process acts differently on laboratorial and on estimated digestibility for expanded corn and expanded soybean meal.

Keywords: swine, chemical composition, digestibility, expansion process, corn, soybean meal

INTRODUÇÃO

O milho e o farelo de soja, principais alimentos que compõem as rações de suínos, apresentam individualmente limitações nutricionais, mas, quando combinados, tendem a se complementarem, propiciando dietas equilibradas nutricionalmente.

O milho contém de 70 a 80% do seu peso de matéria seca, em amido, enquanto o farelo de soja encerra cerca de 13% (Rostagno et al., 2000). Esses alimentos, devido aos seus altos preços e proporções nas rações, aumentam os custos da produção de suínos.

Os carboidratos (CHO) figuram em maior proporção nas plantas (70 a 75%), sendo que os não estruturais são altamente digestíveis e predominam nas dietas dos suínos. O amido encontra-se na forma de grânulos compostos pela amilose com cadeias longas e lineares de D-glicose com ligações α -1-4 e de amilopectina, mais insolúvel, com cadeias longas e lineares de D-glicose α -1-4, com ramificações α -1-6 (Lehninger, 1998).

O processamento de alimentos por expansão causa alterações físicas sobre o amido (gelatinização - liberação da amilose e da amilopectina) e ruptura da parede celular, facilitando a digestão enzimática do amido (Van Soest, 1994). O método da expansão é muito semelhante ao da extrusão. No primeiro, emprega-se uma temperatura de 90 a 120°C, por curto tempo, seguida de uma forte compressão sobre o material. Logo após, expõe-se o mesmo à pressão atmosférica, resultando em um alimento de alta densidade (Fancher, 1996). Na extrusão, o alimento processado é dirigido a uma câmara de vácuo. Em ambos os processos, ocorre descompressão e, assim, expansão física dos alimentos devido ao rompimento da parede celular. Ao contrário da extrusão, na expansão é

necessário umidade na forma de vapor. Ainda, enquanto na expansão o alimento é submetido de 90 a 120°C, durante dois a três segundos, na extrusão a temperatura chega a 150°C, por 30 segundos. Efeitos semelhantes são obtidos no processo da peletização dos alimentos, com vantagens de menor custo na expansão, devido ao emprego de menor tempo de exposição e de temperatura mais baixa. Apontam-se como vantagens desses processos: gelatinização e hidrólise do amido, redução de microrganismos patogênicos, inativação de fatores anti-nutricionais termolábeis, incremento da digestibilidade de componentes da dieta por aumento da superfície de contato e melhoria da qualidade sensorial dos alimentos.

Nos cereais, a expansão física dos grânulos de amido inicia-se entre 50 e 60°C e, nas leguminosas, entre 55 e 75°C. Rompe-se a parede celular dos grânulos de amido, incorporando umidade e resultando na fusão da matriz amilácea (Mendes, 2002; Mendes et al., 2004). Porém, há diferenças no grau de gelatinização entre os alimentos, em função das matérias-primas, das condições de processamento e do grau de moagem dos alimentos (Ostergard et al., 1989; Peisker, 1992; Peisker, 1994; Tomas et al., 1994).

Na mensuração da gelatinização do amido, emprega-se a técnica enzimática (Karkalas, 1985). A solubilidade da proteína e a atividade ureática são técnicas usadas na avaliação da qualidade do farelo de soja, especialmente. A solubilidade protéica em álcalis (solução 0,2% de KOH) avalia a qualidade das proteínas da soja e seus subprodutos, sendo os valores da solubilidade indicativos do conteúdo de inibidor da tripsina no farelo de soja. O nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) indica o teor de proteína bruta insolúvel, aplicável em qualquer alimento. O teste de atividade ureática (Araba e Dale, 1990ab) é uma medição

satisfatória do efeito do tratamento térmico do farelo de soja, sendo que o ótimo aquecimento coincide com atividade ureática igual a zero. Para Hansen et al. (1987), valores para atividade ureática entre 0,01 e 0,19 unidades de pH são mais adequados para leitões. Moreira et al. (1994) encontraram 0,03 unidade de pH para o teste de atividade ureática no grão de soja micronizada, sem comprometer a digestibilidade em leitões. No processamento excessivo, principalmente o grupo ϵ -amino da lisina reage com outros grupos para formar ligações inter e intramoleculares enzima-resistentes (reação de Maillard), reduzindo-se, assim, a solubilidade e a digestibilidade da proteína. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma técnica rápida, auxiliar na detecção da gelatinização do amido e menos onerosa do que as técnicas de análises químicas enzimáticas *in vitro*. Quando associada a outras, pode contribuir significativamente na confirmação da gelatinização do amido dos alimentos.

Por ser uma tecnologia relativamente nova no Brasil, estudos sobre a digestibilidade de alimentos expandidos aqui desenvolvidos ainda são pouco disponíveis (Mendes et al., 2004). A determinação da digestibilidade é um método direto de se estimar o valor nutricional dos alimentos. O método clássico da digestibilidade fecal, preconizado por Kuiken e Lyman (1948) há décadas, ainda é utilizado na atualidade e propõe medir a diferença entre a quantidade de nutrientes ingerida e a excretada nas fezes, permitindo estimar a proporção de utilização dos mesmos.

Os objetivos deste experimento foram os de determinar a composição química e as propriedades físico-químicas do milho e do farelo de soja *in natura* ou submetidos ao processo de expansão, e avaliar a digestibilidade fecal aparente da matéria seca, da energia bruta, da proteína bruta e dos extrativos não nitrogenados desses alimentos, em suínos em crescimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados quatro alimentos, sendo dois energéticos (milho e milho expandido) e dois protéicos (farelo de soja e farelo de soja

expandido). A expansão desses alimentos foi feita em equipamento¹ da empresa Rações Itambé, regulado com uma força motriz de 480 - 530 Ampéres e abertura de bocal de 20 a 30%, temperatura inicial de 55 a 60°C e 10,5% de umidade no produto, à saída do condicionador e temperatura de 130 a 136°C e 10,1% de umidade no *expand*. O milho foi previamente moído na forma de fubá, com a granulometria usual para a fabricação de rações fareladas. Na expansão do farelo de soja, usou-se o produto original, com a granulometria normalmente oferecida pelos fornecedores deste produto.

Nos alimentos foram feitas as dosagens químicas da matéria seca (MS), energia bruta (EB), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM) e extrativos não nitrogenados (ENN), segundo Cunnif (1995), e avaliações físico-químicas específicas, como o teor de amido gelatinizado, segundo Karkalas (1985) modificado, usando-se um kit enzimático-colorimétrico². A proteína solúvel foi calculada a partir do nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), a solubilidade protéica em KOH 0,2%, a atividade ureática, conforme Cunnif (1995) e a energia bruta (EB), segundo Harris (1970). Na urina, dosaram-se os teores de nitrogênio (Cunnif, 1995) e EB (Harris, 1970).

Na determinação da digestibilidade dos nutrientes, utilizaram-se 20 leitões machos castrados, mestiços, com peso médio de 33,630±1,011kg, em delineamento experimental inteiramente ao acaso, com cinco tratamentos, quatro repetições e um animal por unidade experimental.

A partir de uma ração basal (T1), constituída de milho e farelo de soja, vitaminas e minerais, calculada para atender às exigências de leitões em crescimento (Rostagno et al. 2000), foram preparadas quatro rações-teste (T2, T3, T4 e T5), conforme a Tab. 1. Usou-se o método proposto por Sibbald e Slinger (1963), em que os alimentos energéticos substituíram 40% da ração basal, e os protéicos, 20%.

¹ Processador para preparo de alimentos expandidos *Sprout Matador*

² Analisa Diagnóstica®

Tabela 1. Composição percentual e nutricional das rações experimentais, na base da matéria natural, segundo os tratamentos

Ingrediente	Tratamento				
	T1 Basal %	T2 M %	T3 ME %	T4 FS %	T5 FSE %
Ração basal	-	60,00	60,00	80,00	80,00
Milho	68,50	40,00	-	-	-
Farelo de soja	28,00	-	-	20,00	-
Milho expandido	-	-	40,00	-	-
Farelo de soja expandido	-	-	-	-	20,00
Fosfato bicálcico	1,50	-	-	-	-
Calcário calcítico	1,00	-	-	-	-
Sal comum	0,50	-	-	-	-
Premix vitamínico-mineral ¹	0,50	-	-	-	-
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição química²					
Matéria seca, %	88,39	88,11	89,53	89,98	89,15
Energia digestível, kcal/kg	3336	3412	3412	3340	3340
Proteína bruta, %	19,28	15,20	15,22	23,00	23,97
Fibra bruta, %	3,36	3,26	2,89	4,37	4,8
Extrato etéreo, %	2,87	3,09	3,76	2,84	2,87
Cálcio, %	1,11	0,72	0,70	1,10	1,04
Fósforo total, %	1,09	0,45	0,45	0,60	0,60
Fósforo disponível, %	0,40	0,27	0,27	0,36	0,36
Lisina, %	0,96	0,68	0,68	1,29	1,29
Metionina, %	0,31	0,254	0,25	0,37	0,37

1- Suínos - Crescimento. Cada 1000g do produto contém: 1.600.000 UI de vitamina A; 300.000 UI de vit. D3; 8.000mg de vit. E; 500mg de vit. K3; 400mg de vit. B1; 700mg de vit. B2; 460mg de vit. B6; 3.000mcg de vit. B12; 0.1mg de biotina, 2.500mg de ácido pantotênico; 2.500mg de ácido nicotínico; 50mg de ácido fólico; 40.000mg de colina; 10.000mg de antioxidante; 9g de manganês; 17,6g de ferro, 3g de cobre; 16g de zinco; 0,03g de selênio; 0,20g de iodo; 0,10g de cobalto; Olaquinox 8.000mg; veículo(qsp) 1000g.

2- A composição química das dietas experimentais foi calculada a partir de resultados de análises químicas e de dados de Rostagno et al. (2000).

A duração do experimento foi de 12 dias, sendo sete de adaptação, quando se encontrou o consumo individual das rações experimentais, e cinco dias de coleta de fezes e urina. Cada animal recebeu ração umedecida, em quantidade preestabelecida individualmente no período de adaptação, em duas porções, às 8 e 16 horas. A água foi fornecida à vontade, após a ingestão das rações. Adotou-se o método da coleta total de fezes e de urina, retirando-se uma alíquota de cada material por animal, iniciando-se às 8 horas de cada dia.

Os dados das análises químicas das rações experimentais, das fezes e da urina, bem como os dados de consumo das rações e da produção fecal e urinária permitiram calcular os teores de matéria seca digestível (MSD), energia digestível

(ED), energia metabolizável (EM), proteína digestível (PD) e extrativos não nitrogenados digestíveis (ENND) dos alimentos, utilizando-se os procedimentos de cálculo segundo Matterson et al. (1965).

As análises de variância foram feitas utilizando-se o pacote computacional Statiscal Analysis System (User's..., 1985), comparando-se as médias pelo teste Student-Newman-Keuls e pelo teste t, no nível de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tab. 2 encontram-se os teores de MS, EB, PB, EE, FB,MM e ENN, expressos na base natural e da matéria seca dos alimentos.

Composição química, avaliação...

Tabela 2. Composição química e valores energéticos do milho (M), milho expandido (ME), farelo de soja (FS) e farelo de soja expandido (FSE) na matéria natural (MN) e na matéria seca (MS)

Componente	Alimento							
	M		ME		FS		FSE	
	MN	MS	MN	MS	MN	MS	MN	MS
Matéria seca, %	86,34	100,00	86,75	100,00	88,08	100,00	88,96	100,00
Energia bruta, kcal/kg	3813	4417	3989	4598	3987	4527	3998	4269
Proteína bruta, %	8,00	9,27	7,65	8,82	42,44	48,18	44,07	49,54
Extrato etéreo, %	3,92	4,54	4,27	4,92	2,04	2,32	2,02	2,27
Fibra bruta, %	1,62	1,88	1,45	1,67	6,03	6,85	7,21	8,10
Matéria mineral, %	1,27	1,47	1,30	1,50	5,78	6,56	6,04	6,79
Extrativos não nitrogenados, %	71,53	82,85	72,08	83,10	31,79	36,09	29,62	33,30

Os dados da Tab. 2 serão discutidos na base de matéria natural. Os teores de MS dos alimentos encontram-se dentro dos limites estabelecidos em Tabela... (1991), Compêndio... (1998) e Rostagno et al. (2000).

A EB do milho foi de 3813 kcal/kg, inferior aos valores de 3950, 3933 e 3986 kcal/kg (Tabela..., 1991; Rostagno et al., 2000 e Mendes, 2002, respectivamente). O teor de PB do milho (8,0%) foi menor do que os encontrados pelos autores citados, que variaram entre 8,3% e 8,7%. O teor de EE também foi superior aos de Rostagno et al. (2000) e Mendes (2002), que encontraram 3,5% e 3,5%, respectivamente. O teor de FB (1,6%) foi inferior aos dados de Tabela...(1991), Ferreira et al. (1997) e Nascimento et al. (1998), que foram 2,2%, 2,5% e 2,1%, respectivamente, e superior aos de dois tipos de milho (0,75% e 0,78%), analisados por Rodrigues et al. (2001). Dale (2000), Rostagno et al. (2000) e Mendes (2002) encontraram valores de 1,9%, 1,9% e 1,8%, respectivamente.

Diferenças na composição em MM foram observadas nos alimentos testados em relação aos dados da literatura. De acordo com Mendes (2002), os teores de MM dos vegetais estão sujeitos a vários fatores, como composição do solo, nível de adubação e de diferenças nos procedimentos entre laboratórios, ocasionando erros relativos, em virtude de se tratar de valores numericamente pequenos. Isso é válido também para as análises de EE e FB, uma vez que o milho encerra baixos níveis desses componentes.

No milho expandido, observaram-se valores de composição química semelhantes aos do milho, exceto quanto à EB. Mendes (2002) encontrou valores de 4004kcal/kg e 8,3% de EB e PB,

respectivamente, no milho expandido. O teor de EE do milho expandido (4,3%) foi superior aos referenciados por Herkelman et al. (1990), que encontraram 2,9% para o milho extrusado, e por Rodrigues (2002), que mencionou o teor de 3,8%. Entretanto, foi semelhante ao obtido por Mendes (2002).

Comparando os resultados das análises do farelo de soja com os citados em Tabela...(1991), Rostagno et al. (2000) e Mendes (2002), vê-se que os teores de EB (3987kcal/kg) e de PB (42,4%) foram inferiores aos daqueles autores, respectivamente, 4187, 4094 e 4204kcal/kg e 44,8%, 45,5% e 43,1% PB. O farelo de soja e o farelo de soja expandido apresentaram composição química semelhante exceto quanto à PB e EB. Os teores de EE e MM foram similares no farelo de soja e no farelo de soja expandido, enquanto a FB foi ligeiramente mais elevada no segundo alimento. Não existem dados de literatura sobre a composição do farelo de soja expandido, impossibilitando comparações. Variações talvez ocorram, devido ao processo de expansão. Dados de composição química e de energia deste não foram encontrados na literatura consultada.

Os teores de ENN foram semelhantes nos quatro alimentos usados. Na literatura não foram encontrados dados relativos aos alimentos expandidos.

Na Tab. 3 encontram-se os resultados das análises físico-químicas, como gelatinização do amido, proteína solúvel a partir dos dados de nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), solubilidade da proteína em KOH e atividade ureática. Os teores de amido gelatinizado no milho expandido e no farelo de

soja expandido foram de 17,9% e 2,6%, respectivamente, correspondendo aos graus de gelatinização de 29,7% e 19,2%, respectivamente. Peisker (1994) comentou que a faixa ideal de gelatinização é de 35 a 50%. Mesmo sem atingir a faixa ideal, os teores de amido gelatinizado nos dois alimentos expandidos indicam que o processo foi eficiente. Mendes (2002), ao utilizar as mesmas técnicas de expansão e de determinação do grau de gelatinização do amido, obteve valores de 21,7% para o milho e de 18,8% para o sorgo expandidos. Medel et al. (1999) obtiveram valores de 6,0%, 76,0% e 27,0%, no milho *in natura*, extrusado e micronizado, respectivamente. Peisker (1992) afirmou que a capacidade de gelatinização do amido é proporcional à amilopectina presente, havendo diferenças no grau de gelatinização, dependendo da matéria-prima empregada. Aparentemente, é necessário padronizar as condições operacionais do equipamento e avaliar o maior número de amostras com diferentes teores de amido e outros

componentes, como da amilopectina (Peisker, 1992).

A partir dos teores de NIDA, obtiveram-se os teores de proteína bruta solúvel que diminuíram nos alimentos expandidos em relação aos *in natura*, indicando a influência do processamento. Segundo Van Soest (1994), parte do nitrogênio dos alimentos expandidos poderia estar em forma não utilizável (devido à reação de Maillard) no trato gastrointestinal dos animais. Dessa forma, confrontando os dados de avaliações *in vitro* (Tab. 3) com os resultados biológicos (Tab. 4), vê-se que os teores de proteína solúvel do milho e do milho expandido corresponderam a um menor valor ($P < 0,05$) de PD nesses alimentos. Porém, ressalta-se que não guardaram a mesma proporção entre os valores de proteína solúvel e os de PD, além do elevado coeficiente de variação. Não houve efeito ($P > 0,05$) do aquecimento devido ao processamento sobre os teores de PD do FS e FSE.

Tabela 3. Amido total e gelatinizado, grau de gelatinização do amido, proteína solúvel, solubilidade da proteína em KOH e atividade ureática e nos alimentos

Alimento	Amido total ¹	Amido gelatinizado ²	Grau de gelatinização do amido ³	Proteína bruta solúvel ⁴	Solubilidade da proteína em KOH	Atividade ureática
	%	%	%	%	%	#pH
Milho	60,49	-	-	10,31	-	-
Milho expandido	-	17,95	29,67	8,08	-	-
Farelo de soja	13,50	-	-	29,80	80,57	0,05
Farelo de soja expandido	-	2,59	19,19	22,90	64,12	0,03

1 - Segundo Rostagno et al. (2000).

2 - Segundo técnica de Karkalas (1985) modificada.

3 - Proporção do amido total gelatinizado.

4 - Valores obtidos a partir da análise de nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA).

Tabela 4. Matéria seca digestível (MSD), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM), proteína digestível (PD), extrativos não nitrogenados digestíveis (ENND) do milho e do milho expandido, na base de matéria seca

Componente	Alimento		CV (%)
	M	ME	
Matéria seca digestível, %	87,33	85,53	5,12
Energia digestível, kcal/kg	3680	3784	5,85
Energia metabolizável, kcal/kg	3174	3081	16,41
Proteína digestível, %	7,18a	1,33b	26,53
Extrativos não nitrogenados digestíveis, %	68,12b	76,52a	0,72

Médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem entre si ($P < 0,05$).

A solubilidade da proteína em KOH foi de 80,6% no farelo de soja e de 64,1% no farelo de

soja expandido. Segundo Araba e Dale (1989; 1990), os valores de proteína solúvel acima de 85% indicam processamento deficiente e abaixo de 70%, processamento excessivo do farelo de soja, enquanto Compêndio... (1998) recomenda o mínimo de 80%. Portanto, enquanto o farelo de soja manteve-se dentro do padrão normal, o farelo de soja expandido, aparentemente, foi superaquecido durante o seu processamento, diminuindo a solubilidade da proteína em KOH. Apesar disso, o efeito da expansão sobre a digestibilidade não resultou em diferença ($P < 0,05$) nos valores de PD (Tab. 5). O processo da expansão provocaria a ligação da proteína ao amido, tornando a proteína insolúvel (Peisker, 1992). Por outro lado, a digestão enzimática do amido do material expandido liberaria a fração protéica a ser utilizada pelo animal, com tendência de maior digestibilidade da PB no farelo de soja expandido, em relação ao farelo de soja (Tab. 5).

A atividade ureática do farelo de soja (Tab. 3)

Tabela 5. Matéria seca digestível (MSD), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM), proteína digestível (PD), extrativos não nitrogenados digestíveis (ENND) do farelo de soja e do farelo de soja expandido, na base de matéria seca

Componente	Alimento		
	FS	FSE	CV (%)
Matéria seca digestível, %	79,66	80,06	11,51
Energia digestível, kcal/kg	3537	3885	14,83
Energia metabolizável, kcal/kg	2961	3694	34,23
Proteína digestível, %	37,73	41,25	10,80
Extrativos não nitrogenados digestíveis, %	38,91a	30,70b	3,55

Médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem entre si ($P < 0,05$).

Avaliou-se, também, a gelatinização do amido pelo método físico-químico da microscopia eletrônica de varredura (MEV), antes e após o processamento dos alimentos. Na Fig. 1, encontra-se a cópia de uma foto feita pela MEV do milho, como ilustração, na qual são observados os grânulos de amido intactos, notando-se a riqueza dessa substância no alimento. Na Fig. 2, obtida pelo mesmo processo para o milho expandido, verificaram-se grandes áreas de gelatinização e alguns grânulos intactos. Ainda, utilizando a MEV, as Fig. 3 e 4 correspondem às fotos do farelo de soja e do farelo de soja expandido. Nota-se menor proporção de grãos de amido nesses alimentos e menor grau de gelatinização deles no farelo de

soja expandido. Assim, os resultados da MEV correspondem às avaliações da gelatinização do amido dos alimentos (Tab. 2), ilustrando como o processamento por expansão pode influenciar na estrutura dos alimentos, em virtude da gelatinização do amido. Com efeito, desde que a MEV permite visualizar e fotografar objetos relativamente grandes em foco (Cutter, 1986), pode-se associá-la a outros meios químicos ou físicos, como a composição química e a estrutura morfológica, bem como à digestibilidade, melhorando o entendimento do efeito do processo da expansão dos alimentos na nutrição animal.

encontra-se dentro das indicações de McNaughton (1982) e de Compêndio... (1998), situando-se entre os valores de 0,05 e 0,30 unidade de pH. A atividade ureática do farelo de soja expandido foi inferior ao nível mínimo mencionado, indicando, portanto, efeitos do superprocessamento. Os baixos valores de atividade ureática do farelo de soja expandido coincidem com os resultados de proteína solúvel e da solubilidade da proteína em KOH neste alimento, semelhante ao encontrado por Araba e Dale (1989; 1990). Segundo Van Soest (1994), parte do nitrogênio estaria em forma não utilizável no trato gastrointestinal dos animais, atribuído à redução da taxa de hidrólise protéica, impedindo o acesso das proteases. Embora parte do nitrogênio originário da reação de Maillard possa permanecer solúvel, a condensação dos amino-grupos com as carbonilas impede sua total utilização no trato digestivo e no metabolismo animal. A despeito disso, a digestibilidade da proteína do farelo de soja expandido (Tab. 5) não foi reduzida ($P > 0,05$).

soja expandido. Assim, os resultados da MEV correspondem às avaliações da gelatinização do amido dos alimentos (Tab. 2), ilustrando como o processamento por expansão pode influenciar na estrutura dos alimentos, em virtude da gelatinização do amido. Com efeito, desde que a MEV permite visualizar e fotografar objetos relativamente grandes em foco (Cutter, 1986), pode-se associá-la a outros meios químicos ou físicos, como a composição química e a estrutura morfológica, bem como à digestibilidade, melhorando o entendimento do efeito do processo da expansão dos alimentos na nutrição animal.

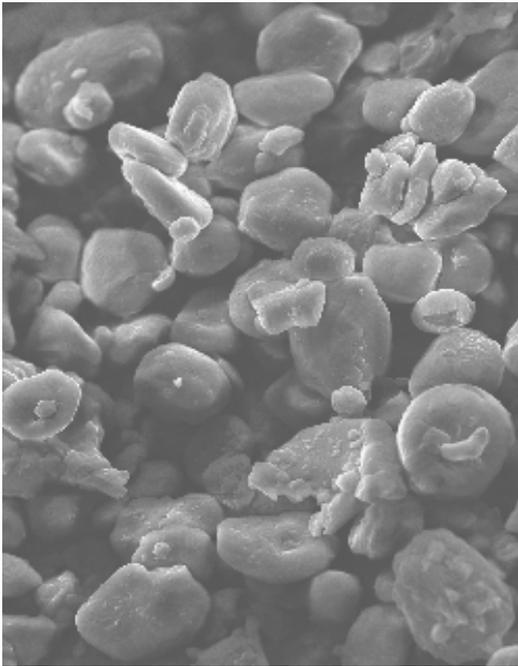


Figura 1. Microscopia eletrônica de varredura (SEM) do milho. Com aumento de 500×, pode ser vista a grande quantidade dos grânulos de amido intactos.

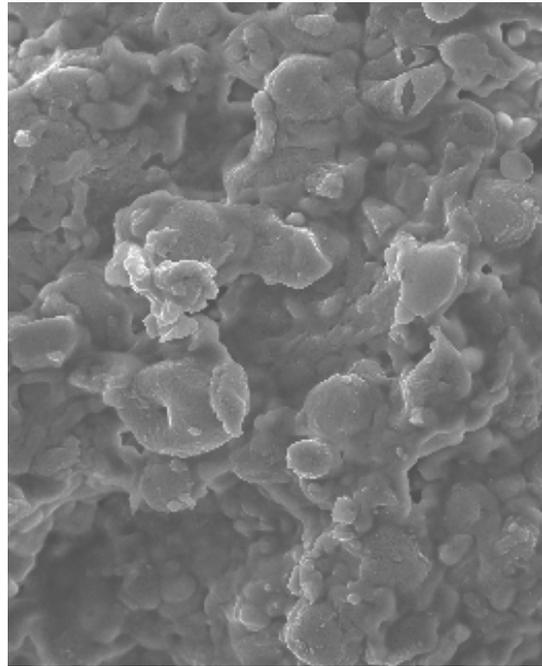


Figura 2. Microscopia eletrônica de varredura (SEM) do milho expandido. Com aumento de 500×, verificam-se áreas de gelatinização e também grânulos intactos.

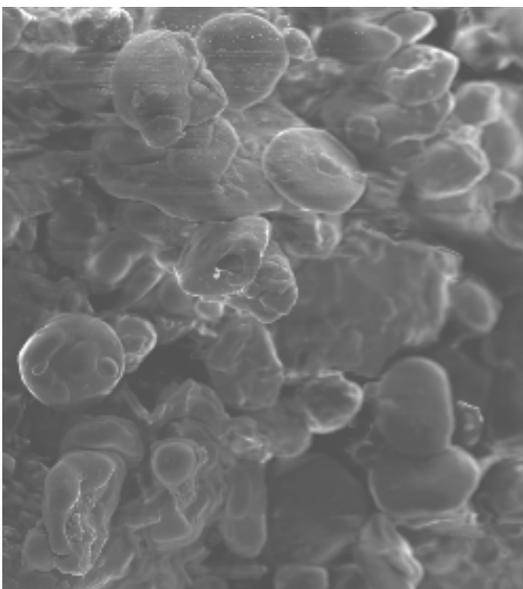


Figura 3. Microscopia eletrônica de varredura (SEM) do farelo de soja. Com aumento de 500×, podem ser vistos grânulos de amido intactos.

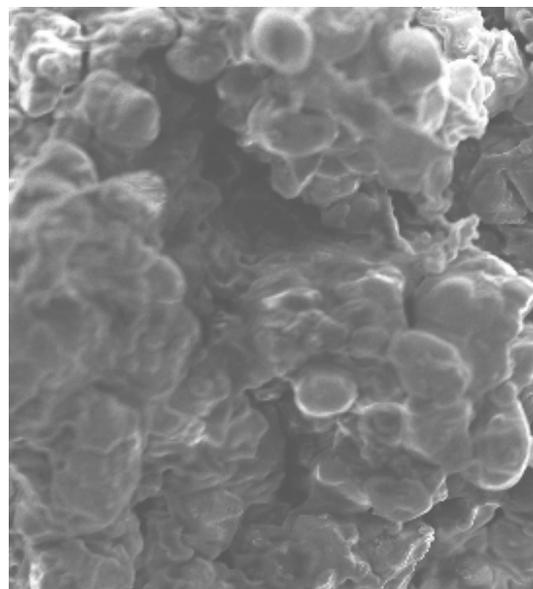


Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura (SEM) do farelo de soja expandido. Com aumento de 500×, verificam-se áreas de gelatinização e também grânulos intactos.

A partir dos coeficientes de digestibilidade (CD) aparente da MS, da EB, da PB e dos ENN das dietas experimentais, foram calculados os teores de MSD, ED, EM, PD e ENND dos alimentos (Tab. 4 e 5).

O processo de expansão não influenciou ($P>0,05$) as variáveis MSD, ED e EM do milho e do milho expandido (Tab. 4), mas influenciou ($P<0,05$) a PD e os ENND desses alimentos. Os teores de PD dos alimentos citados foram de 7,2% e apenas 1,3%, respectivamente. De acordo com Tabela... (1991) e Rostagno et al. (2000), os valores de PD do milho foram de 8,6 e 8,2%, respectivamente. Moreira et al. (1994) encontraram valores médios de PD de 4,2% no milho, 6,4% no milho pré-cozido e 4,6% no milho extrusado, enquanto Mendes (2002) verificou valor da PD de 7,8% no milho e 8,2% no milho expandido. Portanto, tendo em vista o baixo teor de PD do ME neste experimento, pode-se supor que as condições de processamento empregadas na sua obtenção foram excessivas. Para Heidenreich (1994), o excesso de calor torna indisponível parte da proteína e de aminoácidos, principalmente devido à reação de Maillard e à desnaturação protéica, levando a perdas da função biológica dos alimentos. Houve acentuada queda da digestibilidade da PB, devido ao superaquecimento durante o processamento do milho para a obtenção do milho expandido. Ao contrário, houve aumento no teor de ENND, devido ao efeito de processamento sobre a matriz do conteúdo celular, tornando o amido mais susceptível à digestão.

A ED do milho (Tab. 4) foi inferior aos valores de 3957, 3961 e 3991kcal/kg citados por Tabela...(1991), Nutrient...(1988) e Rostagno et al. (2000), respectivamente. No milho expandido, a ED foi inferior à verificada por Mendes (2002), cujo valor foi de 4221kcal/kg. Moreira et al. (1994) encontraram 3747kcal/kg de ED, no milho extrusado. Portanto, a ED do milho expandido é compatível com os valores descritos na literatura para milhos processados. Entretanto, os valores de EM aparente do milho e do milho expandido foram inferiores aos relatados por Nutrient... (1988), Tabela... (1991) e Rostagno et al. (2000), que foram de 3766, 3843 e 3824kcal/kg, respectivamente, para o milho.

Na Tab. 5 encontram-se os dados referentes ao farelo de soja e ao farelo de soja expandido. As variáveis MSD, ED, EM e PD não foram influenciadas ($P>0,05$) pelo processo de expansão, porém, os ENND foram afetados ($P<0,05$), reduzindo o seu valor no farelo de soja expandido. Ressalte-se, entretanto, que os coeficientes de variação (CV) foram altos, indicando maior instabilidade dessas variáveis, talvez pela individualidade dos animais. Em geral, os CV de respostas animais devem oscilar entre 20 e 30%, segundo Sampaio (2002).

O teor de ED do farelo de soja foi menor do que os valores citados por Tabela... (1991), Nutrient... (1988), Rostagno et al. (2000) e por Mendes (2002), que foram de 3908, 3921, 3883 e 4042kcal/kg, respectivamente. A EM do farelo de soja expandido foi superior à do farelo de soja usado neste experimento ou citado na literatura. Não foram encontrados dados sobre a ED do farelo de soja expandido na literatura consultada. A EM aparente do farelo de soja foi menor do que as mencionadas em Tabela... (1991), Nutrient... (1988), Rostagno et al. (2000), cujos valores foram 3602, 3573, 3562 kcal/kg, respectivamente. O farelo de soja expandido apresentou valor de EM superior ao do farelo de soja, segundo essas mesmas tabelas. Não foram feitas comparações com dados de literatura sobre a digestibilidade do farelo de soja expandido, por não terem sido encontrados dados nesse sentido. Ao que parece, esse alimento ainda não foi estudado após ter sido submetido ao processo de expansão, talvez por não se tratar de um alimento eminentemente amiláceo.

Não houve diferença significativa ($P>0,05$) entre a PD dos dois alimentos de soja. Os teores de PD do farelo de soja encontrados por Mendes (2002) foram de 35,8% na matéria seca. De acordo com Tabela...(1991) e Rostagno et al. (2000), os teores de PD desse alimento são, em média, de 38,9% e 40,9% na matéria natural, respectivamente, indicando variação nos farelos de soja disponíveis no mercado. No farelo de soja expandido, o teor de PD foi de 41,2%, na base de matéria seca. Não houve comparação com dados de outros autores, por não terem sido encontrados estudos com esse alimento.

Os dados das Tab. 4 e 5 mostram que os ENND foram ($P<0,05$) influenciados pelo processo de expansão. Ele resultou na gelatinização do amido e no aumento ($P<0,05$) da digestibilidade da fração amilácea e, possivelmente, de outros CHO no milho expandido em relação ao milho. Embora tenha havido gelatinização do amido no farelo de soja expandido, o teor dos ENND foi maior no farelo de soja ($P<0,05$). É possível que o processamento excessivo desse último alimento tenha prejudicado a digestibilidade dos componentes dos ENN, reduzindo o teor de ENND do farelo de soja expandido.

CONCLUSÕES

O processo da expansão atua diferentemente nas avaliações de laboratório e da digestibilidade dos nutrientes do milho e do farelo de soja expandidos. É preciso padronizar as condições operacionais do equipamento e avaliar maior número de alimentos expandidos com variados conteúdos de amido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARABA, M.; DALE, N.M. Evaluation of protein solubility as an indicator of overprocessing of soybean meal. *Poult. Sci.*, v.69, p.76-82, 1990a.
- ARABA, M.; DALE, N.M. Evaluation of protein solubility as an indicator of underprocessing of soybean meal. *Poult. Sci.*, v.69, p.1749-1752, 1990b.
- COMPÊNDIO Brasileiro de Alimentação Animal- ANFAR. - Sindirações - CBNA/ Ministério da Agricultura, 1998.
- CUNNIF, P. (Ed.). *Official method of analysis of AOAC International*. 16.ed. Arlington: AOAC International, 1995. v.1.
- CUTTER, E.G. *Anatomia vegetal*. Parte I - células e tecidos. 2.ed. São Paulo: Roca, 1986.
- DALE, N. Ingredient analyses table. *Feedstuffs*, v.72, p.24-35, 2000.
- FANCHER, B.I.; ROLLINS, D.; TRIMBEE, B. Feed processing using the annular gap expander and its impact on poultry performance. *Poult. Res.*, v.5, p.386-394, 1996.
- FERREIRA, E.R.A.; FIALHO, E.T.; TEIXEIRA, A.S. et al. Avaliação da composição química e determinação de valores energéticos e equações de predição de alguns alimentos para suínos. *Rev. Soc. Bras. Zootec.*, v.26, p.514-523, 1997.
- HANSEN, B.C.; FLORES, E.R.; TANKSLEY, J.R.T.D. et al. Effects of different heat treatments during processing of soybeans meal on nursery and growing pig performance. *J. Anim. Sci.*, v.65, p.1283-1291, 1987.
- HARRIS, L.E. *Os métodos químicos e biológicos empregados na análise de alimentos*. Gainesville: Universidade da Flórida, Centro de Agricultura Tropical, 1970. v.1.
- HEIDENREICH, E. Operation strategies for expansion cooking. *Feed Mix*, v.2, p.32-34, 1994.
- HERKELMAN, K.L.; RODHOUSE, S.L.; VEUM, T.L. et al. Effect of extrusion on the ileal and fecal digestibilities of lysine in yellow corn in diets for young pigs. *J. Anim. Sci.*, v.68, p.2414-2424, 1990.
- KARKALAS, J.J. An improved enzymatic method for determination of native and modified starch. *J. Sci. Food Agr.*, v.36, p.1019-1027, 1985.
- KUIKEN, K.A.; LYMAN, C.M. Availability of amino acids in some foods. *J. Nutr.*, v.36, p.359, 1948.
- LEHNINGER, A. L. *Princípio de bioquímica*. 4.ed. São Paulo: Savier, 1998. p.105.
- MATTERSON, L.D.; POTTER, L.M.; STUTZ, N.W. et al. The metabolizable energy of feed ingredients for chicken. *Res. Rep.*, v.7, p.3-11, 1965.
- McNAUGHTON, N. Under and over processing of soybean meal - the quality control program. In: GEORGIA NUTRITION CONFERENCE, 1982, Atlanta, GA. *Proceedings...* Atlanta, GA: University of Georgia, 1982. p.58-68.
- MEDEL, P.; SALADO, S.; BLAS, J.C. et al. Processed cereals in diets for early-weaned piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.82, p.145-156, 1999.
- MENDES, W.S. *Valor nutritivo do milho, sorgo e soja submetidos ou não a diferentes processamentos térmicos para suínos em*

- crescimento*. 2002. 49f. Tese (Mestrado). Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- MENDES, W.S.; SILVA, I.J.; FONTES, D.O. et al. Composição química e valor nutritivo de soja crua e submetida a diferentes processamentos técnicos para suínos em crescimento. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.56, p.207-213, 2004.
- MOREIRA, I.; ROSTAGNO, H.S.; COELHO, D.T. et al. Determinação dos coeficientes de digestibilidade, valores energéticos e índices de controle de qualidade do milho e soja integral processadas a calor. *Rev. Soc. Bras. Zootec.*, v.23, p.916-929, 1994.
- NASCIMENTO, A.H.; GOMES, P.C.; ALBINO, L.F.T. et al. Valores de composição química e energética de alimentos para frangos de corte. *Rev. Soc. Bras. Zootec.*, v.27, p.579-583, 1998.
- NUTRIENT requirement of swine. 10.ed. Washington: NRC/National Academy of Science. 1988. 189p.
- OSTERGARD, K.; BJORCK, I.; VAINIOMPA, J. Effects of extrusion cooking on starch and dietary fibre in barley. *Food Chem.*, v.34, p.215-227, 1989.
- PEISKER, M. Influence of expansion on feed component. *Feed Mix*, v.2, p.26-31, 1994.
- PEISKER, M. Physical and chemical changes during expansion. *Feed Int.*, v.13, p.16-34, 1992.
- RODRIGUES, E.N. *Digestibilidade aparente de dietas contendo feno de Tifton 85 (Cynodon spp) e níveis crescentes de milho moído e milho expandido em ovinos*. 2002. 30f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- RODRIGUES, P.B.; ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T. et al. Valores energéticos do milho, do milho e subprodutos do milho, determinados com frangos de corte e galos adultos. *Rev. Bras. Zootec.*, v.6, p.1767-1778, 2001.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa: UFV, 2000. 141p.
- SAMPAIO, I.B.M. *Estatística aplicada à experimentação animal*. Belo Horizonte: FEPMVZ. 1998. 221p.
- SIBBALD, I.R.; SLINGER, S.J. A biological assay for metabolizable energy in poultry feed ingredients together with finding which demonstrate some of problems associated with the evaluation of fats. *Poult. Sci.*, v.42, p.313-325, 1963.
- TABELA de composição química e valores energéticos de alimentos para suínos e aves. 3 ed. Concórdia, SC: EMBRAPA/CNPASA, 1991. 97p. (Documento 19)
- TOMAS, R.L.; OLIVEIRA, J.C., AKDOGAN, H. et al. Effect of operating conditions on physical characteristics of extruded rice starch. *Int. J. Food Sci. Technol.*, v.29, p.503-514; 1994.
- USER'S guide: basics. Version 5. Cary, NC: SAS Institute, 1985.
- VAN SOEST, P.J. Carbohydrates. In: NUTRITIONAL ecology of the ruminant. 2.ed. Ithaca, New York: Cornell University, 1994. P.164.