

Modelos matemáticos para predição dos valores energéticos do milho para suínos

Mathematical models to predict energetic values of corn for pigs

CASTILHA, Leandro Dalcin^{1*}; POZZA, Paulo Cesar²; KLOSOWSKI, Élcio Silvério¹;
NUNES, Ricardo Vianna¹; LAZZERI, Douglas Batista³; POZZA, Magali Soares dos
Santos¹; RICHART, Edson³

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil.

²Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Zootecnia, Maringá, Paraná, Brasil.

³Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil.

*Endereço para correspondência: leandrocastilha@hotmail.com

RESUMO

Com o objetivo de determinar a composição química e energética de quatro cultivares de milho para suínos e avaliar modelos matemáticos para predizer seus valores energéticos, foram utilizados 20 suínos, machos castrados, distribuídos em blocos ao acaso, constituídos por quatro tratamentos mais a ração referência e quatro repetições por tratamento. O milho grão, oriundo de diferentes cultivares substituiu em 30% a ração referência. Foi determinada a composição química das cultivares, e a matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose (Hemi), cálcio (Ca) e fósforo (P) variaram de 86,29 a 89,04; 1,12 a 1,99; 8,13 a 8,38; 0,61 a 2,33; 12,39 a 16,70; 4,42 a 5,35; 7,04 a 11,51; 0,027 a 0,043 e 0,214 a 0,359%, respectivamente. Os valores de energia bruta (EB), energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) variaram de 3.829 a 4.016; 3.397 a 3.522 e 3.280 a 3.383kcal/kg, respectivamente, e os coeficientes de digestibilidade e metabolizabilidade da energia bruta tiveram variação de 87,42 a 89,37 e 84,01 a 86,00 %, respectivamente.. Para se estimar os valores de ED foram utilizadas quatro equações de predição e nenhuma se ajustou. Para a EM, foram utilizadas nove equações, das quais a $EM = 1,000ED - 0,68PB$ ($R^2=0,99$) e a $EM = 0,997ED - 0,68PB + 0,23EE$ ($R^2=0,99$) se ajustaram, apresentando correlação de Spearman significativa.

Palavras-chave: composição química, energia metabolizável, equação de predição

SUMMARY

Aiming to determine the chemical composition and energetic values of four varieties of corn for pigs and evaluate mathematical models to predict its energetic values, twenty crossbred barrows were used, distributed in a randomized blocks design with four treatments plus the reference ration and four replicates per treatment. The corn cultivars replaced 30% of the reference ration. The chemical composition of the corn cultivars was determined. The dry matter (DM), mineral matter (MM), crude protein (CP), ether extract (EE), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), hemicellulose (Hemi), calcium (Ca) and phosphorus (P) ranged from 86.29 to 89.04; 1.12 to 1.99; 8.13 to 8.38, 0.61 to 2.33, 12.39 to 16.70; 4.42 to 5.35, 7.04 to 11.51; 0.027 to 0.043 and 0.214 to 0.359%, respectively. The values of gross energy (GE), digestible energy (DE) and metabolizable energy (ME) ranged from 3,829 to 4,016; 3,397 to 3,522 and 3,280 to 3,383kcal/kg, respectively, and the digestibility and metabolizability coefficients of gross energy ranged from 87.42 to 89.37 and 84.01 to 86.00%. The ME:DE ratio ranged between 0.96 and 0.97. Four predictive equations were used to estimate the values of DE and none of those was adjusted. Nine predictive equations such as used to determine ME, where $ME = 1.000DE - 0.68CP$ ($R^2 = 0.99$) and $ME = 0.997DE - 0.68CP + 0.23EE$ ($R^2 = 0.99$) had a good adjustment, presenting significant Spearman correlation.

Keywords: chemical composition, metabolizable energy, prediction equations

INTRODUÇÃO

O milho corresponde a cerca de 60% do total de alimentos utilizados na fabricação de rações para suínos, considerado como um ingrediente de composição química conhecida e padronizada, estabelecida pela média de valores e publicada em tabelas de composição de alimentos. No entanto, ocorre variação substancial na composição química do milho (SAVARIS et al., 2007).

São diversas as causas de variação na composição centesimal do milho grão. A adubação nitrogenada da planta, por exemplo, pode influenciar os níveis de proteína bruta presentes no milho grão, enquanto a quantidade de chuvas ou de irrigação pode interferir nos seus níveis de umidade (EYNG et al., 2009).

A variabilidade na composição química dos alimentos leva à variação nos valores energéticos do milho. Existe grande variação nas atuais linhagens de milho, nas quais se incluem os híbridos com alto teor de óleo, os com altos níveis de proteína, os com alta lisina, entre outros (LIMA et al., 2005). Diferenças na composição química do milho levam à necessidade de realização de ensaios de metabolismo para a correção da matriz nutricional nas formulações de rações. No entanto, a determinação por meio de ensaios de metabolismo demanda tempo, infraestrutura e recursos financeiros, o que se torna inviável para a indústria suinícola (POZZA et al., 2008a).

Nesse contexto, o desenvolvimento de equações de predição baseadas na composição proximal dos alimentos, obtida rotineiramente em laboratórios, pode ser uma alternativa prática para estimar o valor energético dos alimentos (ZONTA et al., 2004). Para a indústria de rações, o uso de equações de predição é importante para determinar o

valor energético dos alimentos e demais ajustes necessários da matriz nutricional dos ingredientes, principalmente com base na variação dos teores de proteína, gordura e fibra (SANTOS et al., 2005). Dessa forma, os objetivos foram determinar a composição química e energética do milho de quatro cultivares diferentes e avaliar modelos para prever seus valores energéticos, com a utilização do suíno como modelo.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio de metabolismo para a determinação dos valores de energia digestível e metabolizável foi realizado no ano de 2007, no Núcleo de Estações Experimentais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *Campus* Marechal Cândido Rondon, latitude 24°33'40" S e longitude 54°04'12" W. Para a condução deste experimento, foram utilizados 20 suínos mestiços (Landrace x Large White x Piétrain), machos castrados, com peso médio inicial de 23,80kg ± 0,83kg, os quais foram distribuídos individualmente em gaiolas de metabolismo.

Foi avaliado milho de quatro diferentes cultivares, que substituíram em 30% a ração referência (Tabela 1) à base de milho, farelo de soja, vitaminas, minerais e aminoácidos, formulada com o auxílio do *software* Super Crac® 1.0, para atender às exigências nutricionais propostas por Rostagno et al. (2005).

As médias de temperatura e umidade relativa do ar foram monitoradas diariamente e registradas a mínima e a máxima obtidas.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições, divididos em dois blocos de 10 animais. Devido ao número limitado de gaiolas de

metabolismo disponíveis para a execução do experimento, o bloco foi utilizado para controlar o período. O período experimental teve duração de 12 dias (sete de adaptação às gaiolas, rações experimentais e manejo

alimentar, seguidos de cinco dias de coleta total de fezes e urina). Ao final do primeiro período, os mesmos animais foram redistribuídos e houve reajuste de consumo para o segundo período.

Tabela 1. Composição centesimal da ração referência, em percentagem na matéria natural

Ingredientes	%
Milho grão moído	58,64
Farelo de soja	36,68
Fosfato bicálcico	1,55
Calcário	0,61
Sal (NaCl)	0,46
L – lisina HCl (78,40%)	0,14
DL - metionina (99,00%)	0,03
Óleo de soja degomado	1,29
Sulfato de cobre	0,08
Antioxidante ¹	0,01
Vitaminas + minerais ²	0,45
Coccidiostático ³	0,02
Promotor de crescimento ⁴	0,05
Composição calculada	
Energia Metabolizável (kcal/kg)	3.230
Proteína Bruta (%)	21,60
Lisina digestível (%)	1,145
Metionina + cistina digestível (%)	0,641
Treonina digestível (%)	0,721
Cálcio (%)	0,720
Fósforo disponível (%)	0,400
Sódio (%)	0,200

¹BHT; ²Conteúdo/kg: ferro, 100g; cobre, 10g; cobalto, 1g; manganês, 40g; zinco, 100g; iodo, 1,5g; e veículo q.s.p. p/ 1000g; vit. A, 10.000.000 U.I.; vit. D₃, 1.500.000 U.I.; vit. E, 30.000 U.I.; vit. B₁, 2,0g; vit. B₂, 5,0g; vit. B₆, 3,0g; vit. B₁₂, 30.000mcg; ácido nicotínico, 30.000mcg; ácido pantotênico, 12.000mcg; vit. K₃, 2.000mg; ácido fólico, 800mg; biotina, 100mg; selênio, 300mg; e veículo q.s.p., 1.000g; ³Coxistac; ⁴Tylan 40.

Os animais receberam ração umedecida, em quantidade pré-estabelecida individualmente de acordo com o peso metabólico de cada animal ($\text{kg}^{0,75}$), em duas porções, às 07h e às 19h. A água foi fornecida à vontade, após a ingestão da ração.

Foi empregada a coleta total de fezes mediante utilização de óxido férrico (Fe_2O_3) como marcador fecal. As coletas foram realizadas diariamente, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em congelador (-18°C). A urina foi filtrada e coletada, diariamente, em baldes de plástico que

continham 10mL de HCL 1:1, para evitar perdas de nitrogênio e proliferação bacteriana. Após nova filtragem, a urina foi acondicionada em recipientes de vidro, armazenados em geladeira (3 °C), para posteriores análises da energia da urina de cada animal.

Das cultivares de milho, foram analisadas matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), cálcio (Ca), fósforo (P), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose (Hemi) e energia bruta (EB), conforme metodologias descritas por Silva & Queiroz (2002).

Foram determinados os valores de energia digestível (ED), energia

metabolizável (EM), coeficientes de digestibilidade da energia bruta (CDEB) e de metabolizabilidade da energia bruta (CMEB), assim como a relação EM:ED das cultivares de milho.

Para estimar os valores de energia digestível foram utilizadas quatro equações de predição, propostas por Noblet & Perez (1993), e para os valores de energia metabolizável, foram utilizadas seis equações propostas pelos mesmos autores (EM₁, EM₂, EM₃, EM₄, EM₅ e EM₆), e três propostas por Castilha et al. (2007) - (EM₇, EM₈ e EM₉), para dados expressos em g/kg ou kcal/kg na matéria seca, onde os sufixos ED_x e EM_y correspondem ao número das equações, como segue:

$$ED_1 = 4,443 - 6,9MM + 3,9EE - 4,0FDN (R^2 = 0,88)$$

$$ED_2 = 4,168 - 9,1MM + 1,9PB + 3,9EE - 3,6FDN (R^2 = 0,92)$$

$$ED_3 = 4,162 - 9,4MM + 2,0PB + 3,9EE - 2,7Hemi - 4,5FDA (R^2 = 0,93)$$

$$ED_4 = 1,161 + 0,749EB - 4,3MM - 4,1FDN (R^2 = 0,91)$$

$$EM_1 = 4,334 - 8,1MM + 4,1EE - 3,7FDN (R^2 = 0,91)$$

$$EM_2 = 4,194 - 9,2MM + 1,0PB + 4,1EE - 3,5FDN (R^2 = 0,92)$$

$$EM_3 = 4,182 - 9,6MM + 1,1PB + 4,1EE - 2,4Hemi - 4,4FDA (R^2 = 0,93)$$

$$EM_4 = 1,099 + 0,740EB - 5,5MM - 3,7FDN (R^2 = 0,91)$$

$$EM_5 = 1,000ED - 0,68PB (R^2 = 0,99)$$

$$EM_6 = 0,997ED - 0,68PB + 0,23EE (R^2 = 0,99)$$

$$EM_7 = 462,93 - 7,032PB + 1,572EE + 0,17EB + 0,85ED - 45,459P (R^2 = 0,80)$$

$$EM_8 = 989,76 + 0,86ED (R^2 = 0,79)$$

$$EM_9 = 4184,32 - 2,683PB + 1,723EE - 62,751P (R^2 = 0,19)$$

Como procedimento estatístico, foi realizada a análise de variância (ANOVA), com o auxílio do *software* SAEG® (UFV, 2000), seguida do Teste de *Student Newman Keuls* – SNK, para comparar os tratamentos quanto às variáveis coeficientes de digestibilidade da energia bruta e de metabolizabilidade da energia bruta.

A fim de se verificar a aplicabilidade das equações supracitadas, realizou-se uma análise de correlação (Correlações

de *Spearman*), na qual se conferiu a correlação existente entre os valores energéticos observados e os valores energéticos estimados por meio das equações de predição.

Além disso, foi calculado o desvio padrão dos valores de energia digestível estimados para cada cultivar de milho avaliada no ensaio de metabolismo. Para todos os procedimentos estatísticos descritos, o nível de significância adotado foi de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias das temperaturas mínima e máxima registradas na sala de metabolismo foram de $21,60^{\circ}\text{C} \pm 2,39$ e $31,50^{\circ}\text{C} \pm 4,37$, respectivamente, e a média de umidade relativa mínima e máxima variou entre $43,41\% \pm 15,93$ e $77,18\% \pm 12,48$.

Os valores de MS variaram de 86,29 a 89,04% (Tabela 2), estando entre os valores máximos e mínimos encontrados por Tucci et al. (2003), que avaliaram a composição química e energética de seis variedades de milho obtido no estado do Paraná, na safra de julho de 2002. De acordo com os autores, após a colheita, o milho

grão foi armazenado em silos de cooperativas da região, ao abrigo da luz e de umidade, para posterior comercialização ou moagem em peneira de 2mm.

Os valores de MS, MM e PB obtidos estão entre os valores mínimos e máximos encontrados por Eyng et al. (2009), que avaliaram oito amostras de milho na região de Marechal Cândido Rondon-PR. Entretanto, os valores de MM encontram-se superiores à maioria dos valores obtidos por Vieira et al. (2007), para a mesma variável, ao avaliarem a composição química de 45 amostras de milho grão na cidade de Lavras-MG, entre julho e outubro de 2006.

Tabela 2. Composição química do milho de diferentes cultivares, em porcentagem na matéria natural

Composição química ¹	Cultivares de milho			
	1	2	3	4
MS (%)	86,29	87,00	89,04	88,82
MM (%)	1,75	1,99	1,46	1,12
PB (%)	8,38	8,18	8,16	8,13
EE (%)	0,82	0,61	2,10	2,33
FDN (%)	16,70	12,52	12,39	12,60
FDA (%)	5,19	5,26	5,35	4,42
Hemi (%)	11,51	7,26	7,04	8,18
Ca (%)	0,039	0,043	0,034	0,027
P (%)	0,318	0,359	0,275	0,214

¹MS = matéria seca, MM = matéria mineral, PB = proteína bruta, EE = extrato etéreo, FDN = fibra em detergente neutro, FDA = fibra em detergente ácido, Hemi = hemicelulose, Ca = cálcio, P = fósforo.

Com relação à PB, os valores mínimo e máximo obtidos na cultivares de milho avaliados foram de 8,13 e 8,38%, respectivamente, portanto, superiores ao valor de PB proposto por Rostagno et al. (2011), de 7,88%; mas próximos ao proposto pelo NRC (1998), de 8,30%. Os valores obtidos de EE variaram de 0,61 a 2,33%, e estes que podem ser

considerados baixos se observados os valores propostos na literatura, de 3,90% (NRC, 1998) e 5,00% (LIMA et al., 2005).

O Cálcio apresentou um valor médio de 0,0357, próximo a 0,030% (ROSTAGNO et al., 2011 e NRC, 1998). Para o fósforo, a média observada foi de 0,29; próxima a 0,25% (ROSTAGNO et al., 2011).

Para a FDA, os valores obtidos apresentaram-se entre 4,42 e 5,35%, ambos superiores aos valores apresentados no NRC (1998), correspondentes a 2,80%; com relação ao FDN, observou-se uma variação entre 12,39 e 16,70%.

Fatores como o material genético do milho, solo, adubação e o clima podem ter contribuído para as variações observadas na composição química das cultivares (LIMA et al., 2005; ROCHA JUNIOR et al., 2003).

A variação ocorrente na composição química do milho pode levar ao desbalanceamento de dietas quando na matriz nutricional forem utilizados

valores pré-estabelecidos (PEREIRA et al., 2008).

Os valores de coeficiente de digestibilidade da energia bruta obtidos variaram entre 87,42 e 89,37% (Tabela 3), próximos ao valor proposto por Rostagno et al. (2011), de 87,80%. Esta variação entre os coeficientes de digestibilidade da energia bruta pode ter ocorrido pelas diferenças na composição química das diferentes cultivares de milho em estudo, pois a composição química dos alimentos é o principal determinante da energia digestível (NRC, 1998). Contudo, a variação não foi significativa ($P>0,05$).

Tabela 3. Energia bruta (EB), coeficiente de digestibilidade da energia bruta (CDEB), energia digestível (ED), coeficiente de metabolizibilidade da energia bruta (CMEB), energia metabolizável (EM) e relação energia metabolizável:energia digestível (EM:ED) de milho de diferentes cultivares para suínos

Variáveis ¹	Cultivares de milho				CV ³ (%)
	1	2	3	4	
EB (kcal/kg)	3829	3870	4016	3977	
CDEB (%) ²	89,37	87,78	87,70	87,42	3,42
ED (kcal/kg)	3422	3397	3522	3477	3,42
CMEB (%) ²	86,00	84,75	84,23	84,01	3,23
EM (kcal/kg)	3293	3280	3383	3341	3,23
EM:ED	0,96	0,97	0,96	0,96	1,00

¹Análise estatística realizada apenas para as variáveis CDEB e CMEB; ²Não significativo pelo teste SNK ($P>0,05$); ³ Coeficiente de variação.

Não houve diferença ($P>0,05$) para os valores do coeficiente de metabolizibilidade da energia bruta, os quais estiveram próximos aos valores apresentados por Rostagno et al. (2011). Os valores obtidos para energia metabolizável estiveram entre 3280 e 3383kcal/kg, com variação de 3,14% (103kcal/kg) em relação ao menor valor, sendo inferiores ao valor apresentado pelo NRC (1998), de 3420kcal/kg.

Embora os valores de energia metabolizável não tenham sido submetidos à análise estatística, a variação ocorrente entre os valores energéticos deve ser considerada ao se formular rações devido à sua expressiva utilização pelas indústrias, o que pode indicar a demanda por outras fontes energéticas para inclusão na ração (POZZA et al., 2008a).

As relações EM:ED variaram entre 0,96 e 0,97 onde somente a cultivar 2 foi similar a 0,97 (NRC, 1998); os demais

tratamentos apresentaram um valor de 0,96. Entretanto, a cultivar 2 não apresentou o maior valor de PB, pois segundo Noblet & Perez (1993) a relação EM:ED está linearmente relacionada com o conteúdo de proteína bruta da dieta, o que não foi observado no presente trabalho. Além disso, a cultivar 2 apresentou o maior valor de MM, associado ao menor valor de EE, sendo que a MM apresenta efeito negativo para a energia metabolizável, pois atua como diluente da energia bruta, o que reduz o conteúdo de matéria orgânica dos alimentos, enquanto o EE apresenta efeito positivo (POZZA et al., 2010).

Os valores de energia digestível (Tabela 4) estimados por meio das equações de

predição propostas por Noblet & Perez (1993), para as quatro cultivares de milho, variaram entre 3508 e 3898kcal/kg, o que demonstra baixos valores de desvio padrão, embora o NRC (1998) proponha um valor de 3525kcal/kg para energia digestível.

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados das Correlações de *Spearman* entre a média dos valores de energia digestível observados no ensaio metabólico com a média de energia digestível estimada por meio das equações de predição. Nenhuma das equações de predição utilizadas para estimar os valores de energia digestível foi significativa ($P > 0,05$).

Tabela 4. Valores observados e estimados de energia digestível (ED) na matéria seca de milho de diferentes cultivares para suínos, seguidos do desvio padrão

Equações ^a	Cultivares de milho			
	1	2	3	4
ED observada (kcal/kg MS)	3.966	3.905	3.956	3.915
ED ₁ estimada (kcal/kg MS)	3.566	3.737	3.865	3.891
ED ₂ estimada (kcal/kg MS)	3.508	3.648	3.784	3.819
ED ₃ estimada (kcal/kg MS)	3.572	3.665	3.799	3.856
ED ₄ estimada (kcal/kg MS)	3.604	3.879	3.898	3.879
Desvio padrão	40	105	54	32

^aED₁ = 4,443 - 6,9MM + 3,9EE - 4,0FDN (R² = 0,88); ED₂ = 4,168 - 9,1MM + 1,9PB + 3,9EE - 3,6FDN (R² = 0,92); ED₃ = 4,162 - 9,4MM + 2,0PB + 3,9EE - 2,7Hemi - 4,5FDA (R² = 0,93); ED₄ = 1,161 + 0,749EB - 4,3MM - 4,1FDN (R² = 0,91).

Tabela 5. Correlação de *Spearman* entre as médias dos valores de energia digestível (ED) observados e estimados em milho de diferentes cultivares para suínos

Variável	Variável	Observações	Correlação*	Z	Significância
Ensaio	ED ₁	4	0,4021	0,6928	0,2442
Ensaio	ED ₂	4	0,3898	0,5986	0,3051
Ensaio	ED ₃	4	0,3460	0,5215	0,3270
Ensaio	ED ₄	4	0,3162	0,5477	0,1920

*Correlações não significativas ($P > 0,05$).

Ainda assim, Cowieson et al., (2005) citam que existe uma alta correlação entre os valores de energia digestível e o conteúdo de fibra de uma dieta, este um preditor eficiente dos valores energéticos. Segundo os autores, a FB pode reduzir a digestão de outros nutrientes da dieta, aumentando a secreção endógena, tanto de proteína quanto de gordura, associada ao aumento da massa microbiana. Além

disso, a fermentação digestiva da fibra produz ácidos graxos voláteis, cuja eficiência metabólica é menor do que a da energia digerida no intestino delgado.

Com relação aos valores estimados de energia metabolizável (Tabela 6), houve uma variação nos valores entre 3466 e 4400kcal/kg MS, e o menor desvio padrão foi observado para a cultivar 4 (178kcal/kg MS).

Tabela 6. Valores observados e estimados de energia metabolizável (EM) na matéria seca de milho de diferentes cultivares para suínos, seguidos do desvio padrão

Equações ^a	Cultivares de milho			
	1	2	3	4
EM observada (kcal/kg MS)	3.816	3.770	3.799	3.762
EM ₁ estimada (kcal/kg MS)	3.493	3.645	3.783	3.814
EM ₂ estimada (kcal/kg MS)	3.466	3.603	3.744	3.781
EM ₃ estimada (kcal/kg MS)	3.548	3.628	3.768	3.829
EM ₄ estimada (kcal/kg MS)	3.555	3.732	3.832	3.818
EM ₅ estimada (kcal/kg MS)	3.900	3.841	3.893	3.852
EM ₆ estimada (kcal/kg MS)	3.890	3.831	3.887	3.847
EM ₇ estimada (kcal/kg MS)	3.752	3.700	3.844	3.840
EM ₈ estimada (kcal/kg MS)	4.400	4.348	4.391	4.356
EM ₉ estimada (kcal/kg MS)	3.709	3.685	3.785	3.833
Desvio padrão	294	229	198	178

^aEM₁ = 4,334 - 8,1MM + 4,1EE - 3,7FDN (R²= 0,91); EM₂ = 4,194 - 9,2MM + 1,0PB + 4,1EE - 3,5FDN (R²= 0,92); EM₃ = 4,182 - 9,6MM + 1,1PB + 4,1EE - 2,4Hemi - 4,4FDA (R²= 0,93); EM₄ = 1,099 + 0,740EB - 5,5MM - 3,7FDN (R²= 0,91); EM₅ = 1,000ED - 0,68PB (R²= 0,99); EM₆ = 0,997ED - 0,68PB + 0,23EE (R²= 0,99); EM₇ = 462,93 - 7,032PB + 1,572EE + 0,17EB + 0,85ED - 45,459P (R²= 0,80); EM₈ = 989,76 + 0,86ED (R²= 0,79); EM₉ = 4184,32 - 2,683PB + 1,723EE - 62,751P (R²= 0,19).

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados das Correlações de Spearman entre a média dos valores de energia metabolizável observados no ensaio metabólico com a média de energia metabolizável estimada por meio das equações de predição.

As equações EM₅ e EM₆ foram eficientes (P<0,05) na predição dos valores de EM das cultivares de milho avaliadas. Além disso, apresentaram os

maiores valores de R², correspondente a 0,99 para ambas. De acordo com Noblet & Perez (1993), as equações EM₅ (1,000ED - 0,68PB) e EM₆ (0,997ED - 0,68PB + 0,23EE) indicam que a energia metabolizável pode ser estimada a partir do conteúdo de energia digestível e da PB, apresentando alta acurácia dos resultados, e que o efeito da PB não é significativo para modelos que incluem EB para a estimativa da

energia metabolizável. No entanto, a PB pode apresentar efeito negativo sobre a energia metabolizável. Quando em excesso ou em má qualidade, a proteína é catabolizada, o que aumenta a demanda e as perdas energéticas via urina (NRC, 1998).

O coeficiente de determinação médio para as equações de predição da energia digestível (0,91) foi 9,64% (0,08) superior ao coeficiente de determinação médio de energia metabolizável (0,83), o que corrobora os relatos de

Just et al. (1984), de que a acurácia da predição dos valores de energia digestível é maior em relação à predição dos valores de energia metabolizável.

Em geral, os coeficientes de determinação (R^2) das equações de predição da energia metabolizável apresentaram valor médio de 0,83. Isso pode indicar que 83% da variação no conteúdo de energia metabolizável das cultivares de milho é observada ao se considerar as variáveis independentes que fazem parte da equação (JUST et al., 1984).

Tabela 7. Correlação de *Spearman* entre as médias dos valores de energia metabolizável (EM) observados e estimados em milho de diferentes cultivares para suínos

Variável	Variável	Observações	Correlação	Z	Significância
Ensaio	EM ₁	4	0,8012	1,3856	0,0829
Ensaio	EM ₂	4	0,6139	1,0999	0,1930
Ensaio	EM ₃	4	0,5791	1,0046	0,2104
Ensaio	EM ₄	4	0,6345	1,1609	0,1827
Ensaio	EM ₅ *	4	0,9392	3,8675	0,0304
Ensaio	EM ₆ *	4	0,9105	3,1134	0,0448
Ensaio	EM ₇	4	0,0302	0,0428	0,4849
Ensaio	EM ₈	4	0,2548	0,3684	0,2640
Ensaio	EM ₉	4	0,3373	0,5067	0,3314

*Correlação significativa ($P < 0,05$).

Os valores estimados para energia metabolizável variaram de 3466 a 4400 kcal/kg (26,95%), na matéria seca. Entretanto, a média dos valores de energia metabolizável estimados foi apenas 0,95% (36 kcal/kg) superior à média dos valores de energia metabolizável observados. Dessa forma, pode-se inferir que, ao se utilizar equações de predição dos valores de energia metabolizável, deve-se utilizar várias equações simultaneamente para estimar o valor de energia metabolizável mais precisamente.

As melhores equações para prever os valores de energia metabolizável, ao se considerar apenas as variáveis de composição química, associadas aos maiores R^2 , foram $EM_5 = 1,000ED - 0,68PB$ ($R^2=0,99$) e $EM_6 = 0,997ED - 0,68PB + 0,23EE$ ($R^2=0,99$). Por outro lado, equações com menor R^2 (0,91), utilizando até três variáveis (EB, MM e FDN ou MM, EE e FDN), podem ser utilizadas na estimativa, pois proporcionam maior praticidade na realização das análises laboratoriais.

As equações compostas por até quatro variáveis de composição química requerem menor tempo e maior facilidade (POZZA et al., 2008b). Em função disso, há grande interesse pela utilização de equações de predição de energia digestível e energia metabolizável dos alimentos, compostas por uma ou mais combinações de variáveis da composição química (COSTA et al., 2005).

Os valores de energia digestível e metabolizável do milho grão de diferentes cultivares variaram de 3.905 a 3.966kcal/kg e 3.762 a 3.816kcal/kg, respectivamente.

As equações de predição $EM_5 = 1,000ED - 0,68PB$ ($R^2=0,99$) e $EM_6 = 0,997ED - 0,68PB + 0,23EE$ ($R^2=0,99$) permitem estimar com precisão os valores de energia metabolizável do milho grão para suínos.

REFERÊNCIAS

- CASTILHA, L.D.; POZZA, P.C.; NUNES, R.V.; LAZZERI, D.B.; POZZA, M.S.S.; RICHART, E.; BUSANELLO, M.; PEREIRA JÚNIOR, J.M. Estimativa dos valores de energia digestível e metabolizável do milho para suínos. In: XIII CONGRESSO DA ABRAVES, 2007, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC, 2007.
- COSTA, M.A.L.; VALADARES FILHO, S.C.; DINIZ, R.F.V.; PAULINO, M.F.; CECON, P.R.; PAULINO, P.D.R.; CHIZZOTTI, M.L.; PAIXÃO, M.L. Validação das equações do NRC (2001) para predição do valor energético de alimentos nas condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.1, p.280-287, 2005.
- COWIESON, A.J. Factors that affect the nutritional value of maize for broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v.119, p.293-305, 2005.
- EYNG, C.; NUNES, R.V.; POZZA, P.C.; POZZA, M.S.S.; NUNES, C.G.V.; NAVARINI, F.C.; SILVA, W.T.M.; APPELT, M.D. Composição química e valores energéticos de cultivares de milho para aves. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.10, n.1, p.60-72, 2009.
- JUST, A.; JORGENSEN, H.; FERNANDEZ, J.A. Prediction of metabolizable energy for pigs on the basis of crude nutrients in the feeds. **Livestock Production Science**, v.11, p.105-128, 1984.
- LIMA, G.J.M.M.; PASSOS, A.; COLDEBELLA, A. BARIONI JUNIOR, W.; SECHINATO, A.S. Qualidade nutricional do milho: padrões e valorização econômica. In: CONFERÊNCIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2005, Santos, SP. **Anais...** Santos, SP, 2005. p.235-248.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrients requirement of swine**. 10.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 1998. 189p.
- NOBLET, J.; PEREZ, J.M. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. **Journal of Animal Science**, v.71, p.3389-3398, 1993.
- PEREIRA, E.S.; REGADAS FILHO, J.G.L.; ARRUDA, A.M.V.; MIZUBUTI, I.Y.; VILLARROEL, A.B.S.; PIMENTEL, P.G.; CÂNDIDO, M.J.D. Equações do NRC (2001) para predição do valor energético de co-produtos da agroindústria no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.9, n.2, p.258-269, 2008.

POZZA, P.C.; NUNES, R.V.; POZZA, M.S.S.; RICHART, S.; SCHUMACHERS, G.C.; OLIVEIRA, F.G. Determinação e predição de valores energéticos de silagens de grãos úmidos de milho para suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.1, p.226-232, 2010.

POZZA, P.C.; GOMES, P.C.; DONZELE, J.L.; ROSTAGNO, H.S.; POZZA, M.S.S.; NUNES, R.V. Composição química, digestibilidade e predição dos valores energéticos da farinha de carne e ossos para suínos. **Acta Scientiarum - Animal Science**, v.30, n.1, p.33-40, 2008a.

POZZA, P.C.; GOMES, P.C.; DONZELE, J.L.; ROSTAGNO, H.S.; POZZA, M.S.S.; NUNES, R.V. Determinação e predição dos valores de energia digestível e metabolizável da farinha de vísceras para suínos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.9, n.4, p.734-742, 2008b.

ROCHA JUNIOR, V.R.; VALADARES FILHO, S.C.; BORGES, A.M.; DETMANN, E.; MAGALHÃES, K.A.; VALADARES, R.F.D.; GONÇALVES, L.C.; CECON, P.R. Estimativa o valor energético dos alimentos e validação das equações propostas pelo NRC. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.2, p.480-490, 2003.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, L.S.T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 2.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186p.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, L.S.T.; EUCLIDES, R.F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.

SANTOS, Z.A.S.; FREITAS, R.T.F.; FIALHO, E.T.; RODRIGUES, P.B.; LIMA, J.A.F.; CARELLOS, D.C.; BRANCO, P.A.C.; CANTARELLI, V.S. Valor nutricional de alimentos para suínos determinado na Universidade Federal de Lavras. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.1, p.232-237, 2005.

SAVARIS, V.D.L.; POZZA, P.C.; NUNES, R.V.; POZZA, M.S.S.; ÖELKE, C.A.; CARNEIRO, A.P.S. Perfil microbiológico e valores energéticos do milho e silagens de grãos úmidos de milho com adição de inoculantes para suínos. **Acta Scientiarum - Animal Science**, v.29, n.4, p.403-409, 2007.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235p.

TUCCI, F.M.; LAURENTIZ, A.C.; SANTOS, E.A.; RABELLO, C.B.V.; LONGO, F.A.; SAKOMURA, N.K. Determinação da composição química e dos valores energéticos de alguns alimentos para aves. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v.25, n.1, p.85-89, 2003.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. **Sistema de análises estatísticas e genéticas - SAEG**. Viçosa, 2000. 142 p.

VIEIRA, R.O.; RODRIGUES, P.B.;
FREITAS, R.T.F. NASCIMENTO,
G.A.J.; SILVA, E.L.; HESPANHOL, R.
Composição química e energia
metabolizável de híbridos de milho para
frangos de corte. **Revista Brasileira de
Zootecnia**, v.36, n.4, p.832-838, 2007.

ZONTA, M.C.M. Energia
metabolizável de ingredientes protéicos
determinada pelo método de coleta total
e por equações de predição. **Ciência e
Agrotecnologia**, v.28, n.6, p.1400-
1407, 2004.

Data de recebimento: 08/10/2010

Data de aprovação: 03/06/2011