

## Precisão das estimativas em modelos de regressão da energia metabolizável do milho para suínos em crescimento

CAROLINA NATALY LANGER<sup>1\*</sup>; NEWTON TAVARES ESCOCARD DE OLIVEIRA<sup>2</sup>;  
PAULO CESAR POZZA<sup>3</sup>; CLEITON PAGLIARI SANGALI<sup>4</sup>; LEANDRO DALCIN  
CASTILHA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Zootecnista, Mestranda, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Rua Pernambuco 1777, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon/PR. E-mail: [carolina\\_langer@hotmail.com](mailto:carolina_langer@hotmail.com). \*Autor para correspondência

<sup>2</sup>Zootecnista, Doutor, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Rua Pernambuco 1777, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon/PR. E-mail: [newtonescocard@hotmail.com](mailto:newtonescocard@hotmail.com)

<sup>3</sup>Zootecnista, Doutor, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Avenida Colombo 5790, CEP 87020-900, Maringá/PR. E-mail: [pcpozza@uem.br](mailto:pcpozza@uem.br)

<sup>4</sup>Zootecnista, Mestre, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Rua Pernambuco 1777, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon/PR. E-mail: [sangalicp@hotmail.com](mailto:sangalicp@hotmail.com)

<sup>5</sup>Zootecnista, Doutorando, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Avenida Colombo 5790, CEP 87020-900, Maringá/PR. E-mail: [leandrocastilha@hotmail.com](mailto:leandrocastilha@hotmail.com)

### RESUMO

O objetivo proposto no presente trabalho foi avaliar a precisão das estimativas dos parâmetros de equações de predição da energia metabolizável (EM) do milho para suínos em função da composição química, obtidas por meio do método dos mínimos quadrados (MMQ) e do método de simulação *p-bootstrap* com diferentes números de re-amostras. Elaborou-se um banco de dados contendo informações sobre ensaios de metabolismo, em que se utilizou o método de coleta total de fezes e urina, que objetivaram determinar a composição química e o valor de EM do milho para suínos com massa corporal entre 10 e 65 kg. Foi ajustado um modelo de regressão múltipla da EM do milho em função de proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta, matéria mineral e energia digestível, utilizando-se do MMQ. Em seguida, foram ajustados dois modelos de regressão por simulação *bootstrap*, em que se utilizaram 1000 e 10000 re-amostragens. O modelo de regressão estimado pelo MMQ apresentou a proteína bruta e a energia digestível como regressoras significativas, sendo observado menor amplitude nos intervalos de confiança (IC) quando comparado às estimativas utilizando o método *p-bootstrap* com diferentes tamanhos de re-amostras. As amplitudes dos IC dos parâmetros foram: intercepto (1104,31, 1320,59 e 1348,63), proteína bruta (40,1, 44,34 e 43,79) e energia digestível (0,264, 0,327 e 0,323) para o MMQ, *bootstrap*<sub>1000</sub> e *bootstrap*<sub>10000</sub>, respectivamente. Nas condições observadas, as estimativas dos parâmetros do modelo de regressão da EM do milho para suínos em função de proteína bruta e energia digestível são mais precisas quando utilizado o MMQ.

**Palavras-chave:** composição química, estimação, método de simulação, mínimos quadrados, produção de suínos.

### ABSTRACT

#### Precision of estimates in regression models of metabolizable energy of corn for growing pigs

The proposed objective of this study was to evaluate the accuracy of estimates of the parameters of equations to predict the metabolizable energy (ME) of corn to pigs in function of chemical composition, obtained by the least squares method (LSM) and the simulation method *p-bootstrap* with different numbers of re-samples. We developed a database containing information about metabolism trials, which used the method of total collection of feces and urine

in order to determine the chemical composition and ME value of corn for pigs with body weight between 10 and 65 kg. It was adjusted a multiple regression model of ME of corn in function of crude protein, ether extract, crude fiber, ash and digestible energy, using the LSM. Then, were adjusted two regression models by bootstrap simulation, in which if used 1000 and 10000 re-sampling. The regression model estimated by LSM presented the crude protein and the digestible energy as significant regressives, being watched smaller amplitude us confidence intervals (CI) compared the estimates using the p-bootstrap method with different sizes of re-samples. The amplitudes of CI of parameters were: intercept (1104.31, 1320.59 and 1348.63), crude protein (40.1, 44.34 and 43.79) and digestible energy (0.264, 0.327 and 0.323) for the LSM, bootstrap<sub>1000</sub> and bootstrap<sub>10000</sub>, respectively. In the conditions observed, the parameter estimates of the regression model the ME of corn for pigs in function of crude protein and digestible energy are more accurate when used the LSM.

**Keywords:** chemical composition, estimation, least squares, pig production, simulation method.

## INTRODUÇÃO

O milho contribui com aproximadamente 75% do volume total da ração de suínos, sendo considerado como um ingrediente de composição química conhecida e padronizada, estabelecida pela média de valores e publicada em tabelas de composição de alimentos (NRC, 1998; ROSTAGNO et al., 2011), 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). Além disto, variedades melhoradas geneticamente estão sempre sendo apresentadas ao mercado, assim como várias novas técnicas de processamento o que originam subprodutos com uma composição química bastante variada (SANTOS et al., 2005).

Desta forma, para se formular rações mais eficientes e atender adequadamente às exigências nutricionais dos animais, é necessário conhecer com maior precisão, dentre outros, os valores energéticos dos alimentos, que podem ser determinados por meio de métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos ou convencionais requerem a utilização de uma bomba calorimétrica e de ensaios metabólicos, sendo metodologias trabalhosas, demoradas e dispendiosas, o que dificulta sua utilização pela indústria suinícola (SAKOMURA & ROSTAGNO et al., 2007; POZZA et al., 2008).

Como método indireto surgem os modelos de predição, utilizados para determinar o conteúdo de energia metabolizável do alimento em função da sua composição química (OLIVEIRA & WARPECHOWSKI, 2009), se constituindo como uma alternativa rápida, prática e econômica (ZONTA et al., 2006).

Na obtenção de valores de composição química e energética do milho tem-se utilizado a meta-análise, em que diversos resultados encontrados na literatura científica podem resultar em resposta única e confiável para o conjunto de resultados publicados (LOVATTO et al., 2007).

O método dos mínimos quadrados tem sido usado rotineiramente para obter as estimativas dos parâmetros da regressão e para estimar intervalos de confiança assintóticos. Porém, este método sofre a influencia de *outliers* provenientes das variações encontradas, podendo comprometer a precisão das estimativas.

As estimativas e os intervalos de confiança dos parâmetros podem ser obtidos via simulação *bootstrap*, em que grandes quantidades de re-amostras não paramétricas podem ser geradas aleatoriamente, com reposição, a partir de uma base de dados. Este método permite obter um estimador de forma empírica quando o número de amostras não é satisfatório (EFRON & TIBSHIRANI, 1993).

Sendo assim, o objetivo proposto no presente trabalho foi a avaliação da precisão das estimativas dos parâmetros de equações de predição da energia metabolizável (EM) do milho para suínos em função da composição química, obtidas por meio do método dos mínimos quadrados (MMQ) e do método de simulação *p-bootstrap* com diferentes números de re-amostras.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, localizado no município de Marechal Cândido Rondon/PR.

Elaborou-se um banco de dados contendo informações sobre ensaios de metabolismo, em que se utilizou o método de coleta total de fezes e urina, com o objetivo de determinar a composição química e o valor de energia metabolizável (EM) do milho para suínos com massa corporal entre 10 e 65 kg.

Após triagem, foi obtido um total de 39 dados de amostras de composição química e energética do milho, provenientes de estudos realizados em diferentes instituições de pesquisa nacionais, no período de 1985 a 2011. Todos os dados utilizados foram corrigidos para a base da matéria seca. Foi ajustado um modelo de regressão múltipla da energia metabolizável do milho em função de proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta, matéria mineral e energia digestível, utilizando-se do método dos mínimos quadrados.

O critério principal para a seleção das regressoras foi a significância dos parâmetros do modelo de regressão, avaliada pelo teste *t* parcial. Os parâmetros não significativos ( $p > 0,05$ ) foram retirados do modelo e a análise foi reprocessada. A qualidade de ajuste da equação aos dados de EM foi avaliada pelo coeficiente de determinação.

A partir das regressoras incluídas no modelo estimado pelo MMQ, foram ajustados dois modelos de regressão por simulação *bootstrap*, em que se utilizaram 1000 e 10000 re-amostragens, respectivamente.

A aderência à distribuição normal das estimativas dos coeficientes de regressão obtidas nas re-amostras foi verificada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade.

As estimativas dos coeficientes de regressão  $\beta$  e seus respectivos intervalos de confiança (IC) foram baseados na expressão  $IC_{(1-\alpha\%, \beta_j)} = b_j \pm t_{(\alpha/2; n-p)} \times (QM_{RES} \times C_{jj})^{1/2}$ , utilizando a distribuição *t*-student pelo MMQ, em que  $C_{jj}$  é o elemento da diagonal principal da matriz  $(X'X)^{-1}$  correspondente ao  $b_j$  coeficiente (BARROS et al., 2008), e nos percentis da distribuição *bootstrap* de  $\beta$ , denominado de *p-bootstrap* (EFRON & TIBSHIRANI, 1993). O índice de confiança adotado nos intervalos foi de 95%.

A precisão das estimativas das regressões obtidas pelo MMQ e pelo método de *p-bootstrap* com diferentes tamanhos de re-amostras foi avaliada por meio da amplitude dos intervalos de confiança estimados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de regressão estimado pelo MMQ da EM do milho para suínos a partir de sua composição química apresentou a proteína bruta e a energia digestível como regressoras significativas (Tabela 1).

A partir da meta-análise, não se observou efeito significativo ( $p > 0,05$ ) da fibra bruta, do extrato etéreo e da matéria mineral sobre a energia metabolizável (EM), indicando a baixa influência desses componentes para explicar os valores energéticos do milho, resultando na exclusão dessas regressoras do modelo estimado. A equação explicou 84,01% da variação encontrada nos dados de EM, indicando uma qualidade de ajuste de elevada magnitude.

Uma explicação para a significância da proteína bruta (PB) e energia digestível (ED) no modelo estimado é o baixo valor de coeficiente de variação (CV) encontrado na amostra-base de dados nacionais para tais regressoras ( $CV_{PB} = 7,54\%$  e  $CV_{ED} = 2,84\%$ ), quando comparado com

os valores de CV das regressoras excluídas ( $CV_{FB} = 24,87\%$ ,  $CV_{EE} = 29,76\%$  e  $CV_{MM} = 26,96\%$ ), sugerindo uma menor variabilidade para PB e ED.

**TABELA 1.** Estimativas, desvios-padrão e intervalos de confiança dos parâmetros estimados pelo método dos mínimos quadrados (MMQ) e por simulação *p-bootstrap* com diferentes números de re-amostras.

Método <sup>1</sup>	Parâmetro <sup>2</sup>	Estimativa	DP <sup>3</sup>	IC <sub>(95%)</sub> <sup>4</sup>
MMQ	Intercepto	610.03	272.25	(57,89; 1162,2)
	PB	-27.36	9.89	(-47,41; -7,31)
	ED	0.881	0.065	(0,749; 1,013)
<i>Bootstrap</i> (B=1000)	Intercepto	595,03	343,33	(41,71; 1362,3)
	PB	-29,11	11,20	(-51,67; -7,33)
	ED	0,887	0,085	(0,701; 1,028)
<i>Bootstrap</i> (B=10000)	Intercepto	598,74	340,46	(25,47; 1374,1)
	PB	-28,46	11,34	(-51,36; -7,57)
	ED	0,885	0,084	(0,706; 1,029)

<sup>1</sup>B = número de re-amostras; <sup>2</sup>PB = proteína bruta; ED = energia digestível; <sup>3</sup>DP = desvio-padrão; <sup>4</sup>IC = intervalo de confiança com 95% de índice de confiança.

Observou-se maior amplitude nos intervalos de confiança (IC) estimados utilizando o método *p-bootstrap* com diferentes tamanhos de re-amostras em relação ao MMQ, considerando cada parâmetro do modelo separadamente, sugerindo uma maior precisão para as estimativas obtidas pelo MMQ.

As amplitudes dos IC dos parâmetros foram: intercepto (1104,31, 1320,59 e 1348,63), proteína bruta (40,1, 44,34 e 43,79) e energia digestível (0,264, 0,327 e 0,323) para o MMQ, *bootstrap* com B = 1000 e *bootstrap* com B = 10000, respectivamente.

A metodologia de simulação possibilita avaliar a distribuição empírica dos parâmetros. No entanto, o método *p-bootstrap* de estimação de IC de parâmetros é confiável quando a distribuição *bootstrap* segue aproximadamente a distribuição normal (EFRON & TIBSHIRANI, 1986).

A suposição de normalidade da distribuição *bootstrap* não foi constatada no presente trabalho, pois as estatísticas dos testes de Kolmogorov-Smirnov para o intercepto, PB e ED estimados via *p-bootstrap* com B = 1000 e B = 10000 apresentaram-se com baixa magnitude, resultando em não-aderência à distribuição normal, à exceção da PB com 1000 re-amostras.

A presença de *outliers* nas distribuições empíricas dos parâmetros estimados via *bootstrap* com 1000 e 10000 resultou em distribuição assimétrica. Quando isso ocorre, é mais recomendável a utilização de métodos *bootstrap* de correção do intervalo de confiança (EFRON & TIBSHIRANI, 1986).

Os estimadores de mínimos quadrados dos coeficientes de regressão são combinações lineares das observações e por isso apresentam, teoricamente, distribuição normal (COELHO-BARROS et al., 2008). A não aderência à distribuição normal das estimativas *bootstrap* pode ter ocorrido devido à variabilidade da base de dados, obtida via meta-análise, e por tamanho amostral inadequado (n = 39), comprometendo a confiabilidade dos resultados.

## CONCLUSÕES

Nas condições observadas, conclui-se que as estimativas dos parâmetros do modelo de regressão da energia metabolizável do milho para suínos em função da proteína bruta e energia digestível são mais precisas quando utilizado o método dos mínimos quadrados.

## AGRADECIMENTOS

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, C.A.E.; SIMÕES, A.P.; ACHCAR, A.J.; MARTINEZ, Z.E.; SHIMANO, C.A. Métodos de estimação em regressão linear múltipla: aplicação a dados clínicos. **Revista Colombiana de Estadística**, v.31, n.1, p.111-129, 2008.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. Bootstrap methods for standard errors, confidence intervals, and other measures of statistical accuracy. **Statistical Science**, v.1, n.1, p.55-77, 1986.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. Introduction to bootstrap. In Exploring the Limits of Bootstrap. (R. LePage and L. Billard, eds.), 1993, p.3-10.
- 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, p.60-72, 2009.
- LOVATTO, P.A.; LEHNEN, C.R.; ANDRETTA, I.; CARVALHO, A.D.; HAUCHILD, L. Meta-análise em pesquisas científicas: enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.285-294, 2007.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of swine**. 10. ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1998. 189p.
- OLIVEIRA, D.E.V.; WARPECHOWSKI, M. Avaliação de modelos para predição da energia metabolizável do milho para aves. **Ciência Rural**, v.39, p.1514-1520, 2009.
- POZZA, P.C.; GOMES, P.C.; DONZELE, J.L. et al. Composição química, digestibilidade e predição dos valores energéticos da farinha de carne e ossos para suínos. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.30, n.1, p.33-40, 2008.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.
- SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2007, 283p.
- SANTOS, Z.A.S.; FREITAS, R.T.F.; FIALHO, E.T. et al. Valor nutricional de alimentos para suínos determinado na Universidade Federal de Lavras. **Revista 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.
- ZONTA, M.C.M.; RODRIGUES, P.B.; ZONTA, A.; PEREIRA, C.R. Energia metabolizável de farinhas de soja ou produtos de soja, determinada pelo método de coleta total e por equações de predição. **Arquivos de Zootecnia**, v.55, p.21-30, 2006.