



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**EVERARDO AYRES CORREIA ELLERY**

**EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DOS VALORES ENERGÉTICOS DO MILHO E DO  
FARELO DE SOJA PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO COM VALIDAÇÃO *EX  
POST***

**FORTALEZA-CE**

**BRASIL**

**2013**

**EVERARDO AYRES CORREIA ELLERY**

**EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DOS VALORES ENERGÉTICOS DO MILHO E DO  
FARELO DE SOJA PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO COM VALIDAÇÃO *EX  
POST***

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Zootecnia. Área de concentração: Nutrição Animal e Forragicultura.

**FORTALEZA-CE**

**BRASIL**

**2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- E48e      Ellery, Everardo Ayres Correia.  
Equações de predição dos valores energéticos do milho e do farelo de soja para suínos em crescimento com validação *Ex Post*. / Everardo Ayres Correia Ellery. – 2013.  
55f. : il., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Mestrado em Zootecnia, Fortaleza, 2013.  
Área de Concentração: Nutrição e Forragicultura.  
Orientação: Prof. Dr. Pedro Henrique Watanabe.
1. Energia digestível. 2. Energia metabolizável. 3. Modelos matemáticos. I. Título.

---

CDD 636.08

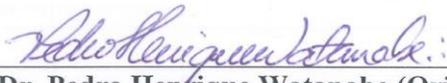
EVERARDO AYRES CORREIA ELLERY

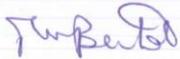
**EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DOS VALORES ENERGÉTICOS DO MILHO E DO  
FARELO DE SOJA PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO COM VALIDAÇÃO EX  
POST**

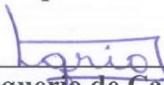
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Zootecnia. Área de concentração: Nutrição Animal e Forragicultura.

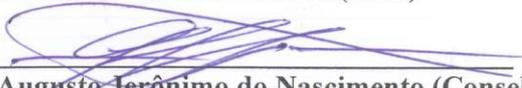
Aprovada em : 26 / 04 / 2013

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. Dr. Pedro Henrique Watanabe (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

  
PhD. Teresinha Marisa Bertol (Conselheira)  
Embrapa Suínos e Aves

  
Prof. Dr. Luiz Euquerio de Carvalho (Conselheiro)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

  
Prof. Dr. Germano Augusto Jerônimo do Nascimento (Conselheiro)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus pelo o dom da vida e por me abençoar em cada momento da minha vida.

Aos meus pais, João Ellery Junior e Erika Oliveira Correia Ellery que sempre me deram suporte nos caminhos que eu decidi seguir, acreditando no meu sucesso.

Ao meu grande amor Naiara, pelo carinho, companheirismo, amizade e por me proporcionar bons momentos, além dos incentivos aos grandes desafios.

As minhas avós Miriam Góes Ellery (*in memoria*) e Sônia Maria Oliveira Correia e avôs *in memoria* João Sedrim Ellery e Everardo Ayres Correia, tias, tios, primos, irmãos João e Mariana, que mesmo distantes sempre estiveram comigo acreditando e contribuindo em todos os sentidos e que desde o início acreditaram em mim e graças ao apoio contribuíram para que eu chegasse ao fim de mais essa jornada.

A todos os meus amigos que sempre estiveram ao meu lado dando força e apoio, acreditando e torcendo, comemorando comigo cada conquista. As amizades conquistadas durante este trabalho, onde juntos, superamos as dificuldades, e que, com certeza levarei por toda a minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro Henrique Watanabe, pela confiança, credibilidade e apoio durante a convivência no trabalho, por partilhar o seu conhecimento sempre que solicitado, por ser um exemplo de profissional.

Aos meu amigo e conselheiro de mestrado, Prof. Dr. Luiz Euquerio de Carvalho, que me ensinou bem mais do que conhecimentos valiosos, desde a graduação em Zootecnia.

A minha conselheira, Pesquisadora Teresinha Marisa Bertol, pela disponibilidade e acessibilidade, além do seu conhecimento valioso, bem como sua contribuição com esta dissertação e sua participação na banca examinadora.

Ao Prof. Dr. Germano Augusto Jerônimo do Nascimento pela contribuição com esta dissertação e pela participação na banca examinadora.

A toda equipe de pesquisa da EMBRAPA Suínos e Aves, principalmente ao pesquisador Dirceu Luis Zanotto, a equipe do Laboratório Análises Físico Química e aos funcionários da Granja de Produção de Suínos.

A doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia – UFRPE, Andreza Lourenço Marinho pela colaboração e convivência neste trabalho.

Ao NESUI - UFC (Núcleo de Ensino e Estudos em Suinocultura da Universidade Federal do Ceará).

Aos colegas do programa de pós-graduação em Zootecnia, Rafael Nepomuceno, Emanuela Lima, Thalles Ribeiro, Kassia Moreira, Tiago Silva, Nadja Farias, Regina Patrícia, Danilo Rodrigues, Thales Marcel, Ivan Quevedo, Aleksandro Nunes, pela convivência.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que eu me tornasse a pessoa que sou.

Ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de Mestrado.

Eu sou de uma terra que o povo padece  
Mas não esmorece e procura vencer.

Da terra querida, que a linda cabocla,  
De riso na boca zomba no sofrer.

Não nego meu sangue, não nego meu nome,  
Olho para a fome, pergunto o que há?

Eu sou brasileiro, filho do Nordeste,  
Sou cabra da peste, sou do Ceará.

*Patativa do Assaré*

## EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DOS VALORES ENERGÉTICOS DO MILHO E DO FARELO DE SOJA PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO COM VALIDAÇÃO *EX POST*

### RESUMO

Com esse estudo objetivou-se determinar e validar equações de predição para energia digestível (ED) e metabolizável (EM) do milho e do farelo de soja com suínos em crescimento. Para obtenção das equações de predição foram utilizados dados de composição química, digestibilidade e metabolizabilidade de 30 amostras de grãos de milho e 25 amostras de farelo de soja avaliadas em experimentos na Embrapa Suínos e Aves, sendo as equações estimadas por meio da análise de regressão, utilizando-se o procedimento REG do pacote estatístico SAS e o  $R^2$  ajustado como critério de escolha para selecionar os melhores modelos. Foram estimadas duas equações para ED e duas para EM, do milho e do farelo de soja. Para a validação das equações foram realizados dois experimentos para a determinação dos valores de ED e EM de cinco amostras de milho (Experimento I) e cinco amostras de farelo de soja (Experimento II). Em cada experimento, 48 leitões machos castrados, com peso inicial de  $54,21 \pm 1,68$  kg (Experimento I) e  $54,40 \pm 1,76$  kg (Experimento II), foram distribuídos em um delineamento em blocos ao acaso, com 6 tratamentos (Experimento I: 1 ração referência e 5 rações testes, compostas por 60% da dieta referência e 40% de diferentes milhos e para o Experimento II: 1 ração referência e 5 rações testes, compostas por 70% da dieta referência e 30% de diferentes farelos de soja) e 8 repetições, sendo a unidade experimental constituída por um animal. Com base nos resultados de ED e EM obtidos nos experimentos e os valores preditos nas equações, procedeu-se a validação das equações, utilizando-se o procedimento REG do programa SAS, sendo o critério de seleção o menor erro de predição ( $e_p$ ). Após a validação, as equações que melhor se ajustaram para predição dos valores de energia digestível e metabolizável do milho para suínos em crescimento foram as seguintes:  $ED = 11812 - 1015,9(PB) - 837,9(EE) - 1641(FDA) + 2616,3(MM) + 47,5(PB^2) + 114,7(FB^2) + 46(FDA^2) - 1,6(FDN^2) - 997,1(MM^2) + 151,9(EEFB) + 23,2(EEFDN) - 126,4(PBFB) + 136,4(PBFDA) - 4,0(PBFDN)$ , com  $R^2$  de 0,81 e  $e_p = 2,33$  e  $EM = 12574 - 1254,9(PB) - 1140,5(EE) - 1359,9(FDA) + 2816,3(MM) + 77,6(PB^2) + 92,3(FB^2) + 54,1(FDA^2) - 1,8(FDN^2) - 1097,2(MM^2) + 240,6(EEFB) + 26,3(EEFDN) - 157,4(PBFB) + 96,5(PBFDA) - 4,4(PBFDN)$ , com  $R^2$  de 0,89 e  $e_p = 2,24$ . Para o farelo de soja as equações que melhor se ajustaram foram:  $ED = 48153 - 1586,1(PB) + 744,5(EE) + 363,6(FB) - 1398,3(MM) +$

$15,5(PB^2) - 170,8(EE^2) - 29,3(FB^2) + 5,4(FDA^2) - 2,5(FDN^2) + 90,6(MM^2) - 48,2(EEFDA)$   
 $+ 33(EEFDN)$ , com  $R^2$  de 0,88 e o  $e_p = 2,32$ ,  $EM=12692 - 2397,7(MM) - 56,8(EE^2) +$   
 $164,9(MM^2) - 102,2(EEFB) - 12,25(EEFDA) + 67,6(EEFDN) + 5,5(PBFB) - 2,9(PBFDN)$   
com  $R^2$  de 0,65 e o  $e_p = 1,69$

**Palavras-chave:** energia digestível, energia metabolizável, modelos matemáticos.

**PREDICTION EQUATIONS OF ENERGY VALUES OF CORN AND SOYBEAN  
MEAL FOR GROWING PIGS WITH *EX POST* VALIDATION**

**ABSTRACT**

The aim of this study was to determine and validate prediction equations for digestible (DE) and metabolizable energy (ME) of corn and soybean meal for growing pigs. The prediction equations were developed using data from chemical composition and digestibility and metabolizability of 30 and 25 samples of corn grain and soybean meal, respectively, evaluated in experiments at the Embrapa Suínos e Aves. The equations were estimated through regression analysis, using the REG procedure of SAS and adjusted  $R^2$  was the criterion of choice to select the best models. Two equations were estimated for DE and two for ME, of corn and soybean meal. To validate the equations, two experiments were performed to determine the values of DE and ME with five samples of corn grain (Experiment I) and five samples of soybean meal (Experiment II). In each experiment, 48 growing pigs with an initial weight of  $54,21 \pm 1,68$  kg (Experiment I) and  $54.40 \pm 1.76$  kg (Experiment II), were sorted in a complete randomized block design with 6 treatments (Experiment I: 1 reference diet and 5 test diets composed of 60% of the reference diet and 40% corn, and Experiment II: 1 reference diet and 5 test diets composed of 70% of the reference diet and 30% soybean meal) and 8 replicates. The experimental unit was the animal. Based on the DE and ME values obtained in the experiments, and in the predicted values obtained with the equations, we proceeded to validate the equations, using the REG procedure of SAS. The criterion for selection of the best model was the lowest prediction error ( $p_e$ ). After validation, the equations that best fit to estimate the digestible and metabolizable energy of corn for growing pigs were:  $DE = 11812 - (1015.9CP) - (837.9EE) - (1641ADF) + (2616.3Ash) + (47.5CP^2) + (114.7CF^2) + (46ADF^2) - (1.6NDF^2) - (997.1Ash^2) + (151.9EECF) + (23.2EENDF) - (126.4CPCF) + (136.4CPADF) - (4.0CPNDF)$ , with  $R^2 = 0.81$ ;  $p_e = 2.33$  and  $ME = 12574 - (1254.9CP) - (1140.5EE) - (1359.9ADF) + (2816.3Ash) + (77.6CP^2) + (92.3CF^2) + (54.1ADF^2) - (1.8NDF^2) - (1097.2Ash^2) + (240.6EECF) + (26.3EENDF) - (157.4CPCF) + (96.5CPADF) - (4.4CPNDF)$ , with  $R^2 = 0.89$  e  $p_e = 2.24$ . For soybean meal the equations that best fit were:  $DE = 48153 - (1586,1CP) + (744,5EE) + (363,6CF) - (1398,3Ash) + (15,5CP^2) - (170,8EE^2) - (29,3CF^2) + (5,4ADF^2) - (2,5NDF^2) + (90,6Ash^2) - (48,2EEADF) + (33EENDF)$ , with  $R^2 = 0.88$  and  $p_e = 2.32$  e  $ME = 12692 - (2397,7Ash) - (56,8EE^2) +$

$(164,9\text{Ash}^2) - (102,2\text{EECF}) - (12,2\text{EEADF}) + (67,6\text{EENDF}) + (5,5\text{CPCB}) - (2,9\text{CPNDF})$ ,  
with  $R^2 = 0.65$  and  $p_e = 1.69$ .

**Keywords:** digestible energy, mathematical models, metabolizable energy.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores energéticos e composição química média dos grãos de milho de 30 cultivares (valores expressos com base na matéria seca).....	35
Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre as variáveis da composição química e os valores energéticos dos milhos.....	36
Tabela 3 - Composição química e valores energéticos dos grãos de milho das cinco cultivares utilizados nos ensaios de metabolizabilidade (valores expressos com base na matéria seca).....	38
Tabela 4 - Coeficientes de determinação, erro de predição e acurácia das equações de predição para estimar os valores energéticos do milho para suínos em crescimento.....	38
Tabela 5 - Valores energéticos e composição química média das 25 amostras de soja em estudo (valores expressos com base na matéria seca).....	50
Tabela 6 - Coeficientes de correlação entre as variáveis da composição química e dos valores energéticos dos farelos de soja.....	51
Tabela 7 - Composição química e valores energéticos dos cinco farelos de soja utilizados para validação (valores expressos com base na matéria seca).....	52
Tabela 8 - Coeficientes de determinação, erro de predição e acurácia das equações de predição para estimar os valores energéticos do farelo de soja para suínos em crescimento.....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOAC	Association Analytical Chemists
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
EB	Energia bruta
ED	Energia digestível
EE:	Extrato etéreo
EL	Energia líquida
ELm	Energia líquida de manutenção
ELp	Energia líquida de produção
EM	Energia metabolizável
EMA	Energia metabolizável aparente
EMAn	Energia metabolizável aparente corrigida
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMVn	Energia metabolizável verdadeira corrigida
$e_p$	Erro de previsão
FB:	Fibra bruta
FDA	Fibra em detergente ácido
FDN:	Fibra em detergente neutro
$Fe_2O_3$	Óxido férrico
FS	Farelo de soja
g	Gramas
h	Hora
HCl	Ácido clorídrico
IC	Incremento calórico
kcal	Quilocalorias
kcal/kg	Quilocalorias por quilograma
kg	Quilograma
$kg^{0,75}$	Peso metabólico
LAFAQ	Laboratório de Análises Físico-Químicas
mL	Mililitros
mm	Milímetro
MM:	Matéria mineral
MS	Matéria Seca

NESUI – UFC	Núcleo de Ensino e Estudos em Suinocultura
NRC	National Research Council
PB	Proteína bruta
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
SAS	Statistical Analysis System
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco

**LISTA DE SÍMBOLOS**

°C	Grau centígrado
%	Porcentagem
R\$	Reais
+	Mais
-	Menos
>	Maior
<	Menor
±	Mais ou menos
*(asterisco)	significativo a 5% de probabilidade pelo teste t (P<0,05);
** (duplo asterisco)	significativo a 1% de probabilidade pelo teste t (P<0,01).

## SUMÁRIO

CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	17
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Utilização da energia dos alimentos pelos suínos .....	18
2.2 Determinação dos valores de energia digestível e metabolizável.....	19
2.3 Equações de predição dos valores energéticos do milho.....	20
2.4 Equações de predição dos valores energéticos do farelo de soja.....	21
2.5 Limitações do uso de equações de predição.....	22
2.6 Principais métodos para validação de equações de predição.....	23
REFERÊNCIAS.....	25
CAPÍTULO II - EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DOS VALORES ENERGÉTICOS DO MILHO PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO COM VALIDAÇÃO <i>EX</i> <i>POST</i> .....	28
RESUMO .....	29
ABSTRACT.....	30
1 INTRODUÇÃO.....	31
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4 CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS.....	41
CAPÍTULO III - EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DOS VALORES ENERGÉTICOS DO FARELO DE SOJA PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO COM VALIDAÇÃO <i>EX POST</i> .....	43
RESUMO .....	44
ABSTRACT.....	45
1 INTRODUÇÃO.....	46
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	47
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4 CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

## **CAPÍTULO I. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

### **1 INTRODUÇÃO**

A determinação dos valores de energia digestível e metabolizável dos alimentos utilizados na formulação de dietas para suínos, demanda tempo, infra-estrutura e recursos financeiros, o que, na maioria das vezes, dificulta esta determinação pela indústria suinícola (POZZA *et al.*, 2008a). Nesse sentido, a identificação dos valores energéticos dos alimentos também pode ser determinada indiretamente com o uso de equações de predição, nas quais, por meio de dados de composição química, pode-se estimar os valores de energia digestível e metabolizável dos alimentos de maneira rápida e com menor custo (FERREIRA *et al.*, 1997).

A maior porcentagem das equações de predição com abordagem fundamentada na variação da composição dos nutrientes para estimar o valor energético do alimento, não são específicas para o milho e farelo de soja, como as equações propostas por Noblet e Perez, (1993).

Para atender adequadamente às exigências nutricionais dos suínos e para que possam expressar o máximo do seu potencial, é imprescindível que se formulem rações eficientes, evitando que haja uma maior excreção de dejetos, fato este preocupante no que se refere à questão ambiental. Por isso, é necessário conhecer, com uma maior precisão e rapidez, a composição química e os valores energéticos dos alimentos (ZONTA, 2004a).

Sabe-se bem que existem alguns fatores que interferem na concentração de nutrientes dos ingredientes que compõem uma dieta, como fertilidade de solo, clima, cultivar, armazenamento, amostragem, os tipos de processamento e as substâncias antinutricionais (ZONTA, 2004a). A variação na composição dos alimentos é inevitável e o uso de tabelas estrangeiras, na maioria das vezes, não pode ser aplicada nas condições brasileiras, levando à necessidade de uma constante atualização das tabelas nacionais.

Neste contexto, o uso de equações de predição são importantes por possibilitar uma forma rápida e de fácil determinação dos valores energéticos dos alimentos (ZONTA, 2004a).

Com o presente trabalho objetivou-se determinar e validar equações de predição para energia digestível (ED) e metabolizável (EM) do milho e do farelo de soja para suínos em crescimento.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Utilização da energia dos alimentos pelos suínos

A energia não é um nutriente, mas o resultado da oxidação dos nutrientes durante o metabolismo animal. Dentre os constituintes dos alimentos, os carboidratos solúveis, os lipídeos, as proteínas (aminoácidos) e parte da fibra são fornecedores de energia para o organismo animal, mas nem toda energia produzida pela oxidação dos nutrientes pode ser aproveitada pelos animais (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

A energia dos alimentos é biologicamente dividida em energia bruta (EB), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e energia líquida (EL). A energia bruta é produzida pela oxidação total da matéria orgânica dos alimentos e medida em bomba calorimétrica (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

A energia digestível representa a energia do alimento que é absorvida após o processo de digestão nos animais. É determinada pela diferença entre a energia bruta do alimento consumido e a energia bruta das fezes. A energia metabolizável é determinada pela diferença entre a energia digestível e a energia bruta perdida na urina e dos gases oriundos da digestão. A eficiência da EM varia de acordo com a finalidade para a qual é utilizada, podendo ser para ganho de proteína ou para ganho de gordura ou a combinação de proteína e gordura. Considerando que a energia perdida na forma de gases nos monogástricos é muito baixa, esta é desprezada nos cálculos da energia metabolizável (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

Energia líquida é aquela obtida da energia metabolizável menos a energia perdida como incremento calórico (IC). O IC representa toda perda de energia durante os processos de digestão, absorção e metabolismo de nutrientes. A energia do IC não é usada para os processos produtivos, mas pode ser utilizada para manter a temperatura corporal em condições de baixa temperatura ambiente (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007). A energia líquida é a energia que o animal utiliza para a manutenção (ELm), ou seja, garante o metabolismo basal (animal em repouso, em jejum e na zona de neutralidade térmica) e produção (ELp), ganho de peso, no caso de suínos (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

De acordo com Noblet (2001), a eficiência de utilização da energia metabolizável (EM) para suínos à partir da energia bruta (EB) dos alimentos é de 90% para gordura, 82% para amido, 58% para a proteína e 58% para fibra dietética. Assim, em função da composição química, os ingredientes utilizados na formulação de dietas para suínos podem apresentar valores energéticos variáveis, sendo importante mensurá-los para a adequação da ração.

## 2.2 Determinação dos valores de energia digestível e metabolizável

Os valores energéticos do milho e do farelo de soja podem ser determinados por meio de métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos ou convencionais requerem a utilização de uma bomba calorimétrica e ensaios de metabolismo, sendo metodologias trabalhosas, demoradas e dispendiosas. Em contrapartida, com o método indireto, surgem as equações de predição, que são baseadas na composição proximal dos alimentos e obtidas rotineiramente em laboratórios, considerada uma alternativa rápida, prática e econômica na avaliação nutricional dos alimentos (ZONTA *et al.*, 2004b).

O método direto ou convencional utiliza a coleta total de fezes e urina, sendo um dos métodos mais utilizados para determinar os valores de energia digestível e metabolizável das rações ou dos ingredientes das rações para suínos. O método de coleta total das fezes e urina baseia-se no princípio de mensurar o total de alimento consumido e total de fezes e urina excretadas durante certo período de tempo (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007). Em ensaios biológicos para determinação dos valores energéticos dos alimentos para suínos, o ingrediente a ser avaliado geralmente substitui uma quantidade da ração basal ou referência e por meio de equações faz-se a mensuração da energia digestível ou metabólica (MATTERSON, *et al.* 1965).

Os métodos indiretos podem ser determinados por meio de equações de predição, ou por meio de técnicas físico-químicas. Dentre eles, as equações de predição têm se destacado. Diversas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de se obter equações para prever os valores energéticos dos alimentos por meio da composição proximal de ingredientes de origem animal (OLUKOSI; ADEOLA, 2009; POZZA *et al.*, 2008a; POZZA *et al.*, 2008b; NOBLET; PEREZ, 1993 ) ou vegetal (ANDERSON *et al.*, 2012; CASTILHA *et al.*, 2011; POZZA *et al.*, 2010; NOBLET; PEREZ, 1993) para suínos.

Além disso, as equações de predição são importantes para complementação dos valores energéticos e do conhecimento dos ingredientes nacionais, já que os valores obtidos na análise dos ingredientes diferem, em alguns pontos, dos valores obtidos nas tabelas estrangeiras (AZEVEDO, 1996).

A determinação dos valores de energia digestível e metabolizável utilizando equações de predição tem sido uma importante ferramenta para aumentar a precisão no processo de formulação de rações, de tal forma que se possam corrigir os valores energéticos, de acordo com as variações da composição química dos ingredientes.

### 2.3 Equações de predição dos valores energéticos do milho

O conhecimento do valor energético do milho é de fundamental importância para formulação de rações visando o ótimo desempenho zootécnico e econômico dos suínos.

O milho é o ingrediente que tem sua inclusão média de aproximadamente 65% nas rações de aves e suínos, contribuindo com cerca de 65% da energia metabolizável e 25% da proteína bruta destas rações (BARBARINO JUNIOR, 2001). A conservação e armazenamento são relativamente simples, 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), levando em consideração a variação nos valores energéticos do milho, somado a variabilidade decorrente das variedades 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).

Assim, 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 oneroso para a indústria suinícola (POZZA *et al.*, 2008a).

Pozza *et al.* (2010) não obtiveram bom ajuste das equações de predição para os valores de ED e EM da silagem de grãos úmidos do milho, devido a variabilidade nutricional existente.

Castilha *et al.* (2011) determinaram a composição química e energética de quatro cultivares de milho para suínos e avaliaram modelos matemáticos para prever seus valores energéticos, não encontrando equações adequadas para o valor de ED. No entanto, os mesmos autores encontraram duas equações para o valor de EM.

Anderson *et al.* (2012) avaliaram vinte subprodutos do milho de várias usinas de etanol, determinando energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) e geraram equações de predição de ED e EM destes para suínos em crescimento com base na composição química e digestibilidade *in vitro* e indicaram que para gerar as equações de predição para coprodutos de milho com suínos em terminação, necessitam da energia bruta e fibras digestíveis totais (FDT), estas, variáveis chave para estimar ED e EM. Além disso, a fibra em detergente neutro (FDN) pode ser utilizada como uma substituta para a FDT em coprodutos de milho, mas algum grau na acúrcia será perdido.

Observa-se maior proporção de estudos de equações de predição para aves quando comparado com suínos. Nesse sentido, Nascimento *et al.* (2011a) que obtiveram equações de predição dos valores de energia metabolizável aparente corrigida (EMAn) para alimentos energéticos mais utilizados nas dietas de frangos de corte por meio do princípio da meta-análise. Estes autores relataram que as variáveis de composição química consideradas as mais importantes nas equações de predição ajustadas foram FB, FDN e FDA, pois explicam a maior parte da variabilidade nos valores de EMAn dos alimentos energéticos.

#### **2.4 Equações de predição dos valores energéticos do farelo de soja**

No processamento da soja são produzidos vários ingredientes comumente utilizados na nutrição animal, entre os quais os principais são os farelos de soja 45 ou 48% de proteína bruta e o óleo degomado de soja.

Embora seja uma fonte primariamente protéica na ração, o farelo de soja também contribui para a energia da dieta. Por esta razão deve-se conhecer o valor energético do farelo de soja e adequar equações para predizer os valores de energia digestível e energia metabolizável. O conteúdo de energia do farelo de soja pode ser variável, sendo afetado pelo conteúdo de fibra, conteúdo residual de óleo e a qualidade da proteína.

Diferentemente dos estudos de equações de predição dos valores energéticos do milho para suínos, para o farelo de soja os relatos são escassos. Em sua maioria as equações não são específicas, sendo geralmente gerais para alimentos protéicos de origem vegetal, como as equações de Noblet e Perez (1993). Assim, observa-se a necessidade de estudos para determinar as equações de predição da ED e EM específicas para o farelo de soja.

Ferreira *et al.* (1997) determinaram os valores energéticos e equações de predição de alguns alimentos para suínos e obtiveram uma equação de predição de ED e EM para alimentos protéicos, relatando que é possível predizer os valores de energia digestível e energia metabolizável de alimentos, utilizados pelos suínos, mediante a composição química e os valores de matéria seca digestível e energia bruta.

Embora o farelo de soja seja um ingrediente processado e de alta padronização, as pesquisas com suínos são escassas, o que existe em maior diversidade são estudos com aves (ZONTA *et al.* 2004b; OST *et al.* 2005; NASCIMENTO *et al.*, 2011b).

Zonta *et al.* (2004b) determinaram a energia metabolizável aparente corrigida (EMAn) de oito alimentos, sendo cinco amostras de farelos de soja diferentes, relatando que a utilização das equações para predizer a EMAn da soja integral e farelos de soja é viável.

Estimando os valores energéticos de sojas integrais e de farelos de soja para galos adultos Ost *et al.* (2005) não obtiveram sucesso no desenvolvimento de equações de predição dos valores de energia metabolizável verdadeira corrigida (EMVn), portanto, relatam que não são seguras para utilização na prática.

Nascimento *et al.* (2011b) obtiveram uma equação para estimar os valores de energia metabolizável aparente corrigida (EMAn) dos alimentos proteicos usualmente utilizados em rações para frangos de corte utilizando-se o princípio da meta-análise. Esses autores relataram que o extrato etéreo é a variável mais importante, em se tratando de possíveis variações nos teores energéticos dos alimentos protéicos.

## **2.5 Limitações do uso de equações de predição**

Existem fatores que podem influenciar os valores de energia obtidos e podem resultar em baixa exatidão das equações de predição como a presença de fatores antinutricionais, variações na digestibilidade dos nutrientes e a palatabilidade dos alimentos (BARBARINO JUNIOR, 2001).

Para Bertol e Ludke (1999), a capacidade digestiva dos suínos e o processamento ao qual são submetidos os subprodutos industriais são fatores que alteram a disponibilidade dos nutrientes, variando o valor nutricional dos alimentos. Além disso, nas tabelas de composição de alimentos, nem sempre são encontrados valores de energia de determinados alimentos utilizados exclusivamente em dietas para suínos em crescimento.

A limitada amplitude de valores nos parâmetros analíticos de amostras experimentais dificulta a predição de valores energéticos de matérias-primas, pois a pequena amplitude nos valores analíticos resulta, frequentemente, em coeficientes de regressão com altos desvios padrão e baixa confiabilidade (BARBARINO JUNIOR, 2001). Além disso, os parâmetros analíticos de cada matéria-prima, geralmente, apresentam altas correlações entre si, gerando problemas de colinearidade. Como consequência, apenas alguns parâmetros podem ser incluídos nas equações e o uso destas equações deve ser limitado à amplitude de valores observados no experimento utilizado como base para a obtenção das equações (CARRÉ, 1990 citado por BARBARINO JUNIOR, 2001).

Para que as equações de predição sejam economicamente viáveis, o número de componentes utilizados e a complexidade das análises a serem realizadas devem ser mantidos em níveis razoáveis (BARBARINO JUNIOR, 2001). Além disso, o uso de equações de predição para os valores de energia metabolizável a partir do conteúdo de energia digestível,

como as propostas por Noblet e Perez (1993), Castilha *et al.* (2007) e Anderson *et al.* (2012), embora façam uso de menor número de variáveis, traz o inconveniente da necessidade de determinação do valor de energia obtido em bomba calorimétrica, bem como da execução de ensaios biológicos.

Castilha *et al.* (2007) ajustaram equações que incluíam a hemicelulose, lignina e fósforo. Embora a utilização de equações de predição de ED e EM compostas por apenas uma variável de composição química, ou por uma combinação de variáveis em número reduzido seria de maior interesse, mas quando observa-se os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) estes são baixos, como as equações propostas por Wiseman e Cole (1985), que apresentaram o  $R^2$  e  $R^2$  ajustado, 0,63 e 0,24 nas equações de predição para ED, respectivamente, e equações para EM (0,34 e 0,20).

Apesar de grande número de estudos terem sido conduzidos para a determinação de relações entre composição química e valores energéticos dos alimentos, poucos estudos foram reportados sobre a aplicabilidade das equações desenvolvidas, de modo que é difícil saber o grau de confiança que se pode ter nas equações disponíveis. Assim, valores de  $R^2$  obtidos na elaboração das equações possibilitam a estimativa do ajuste da equação aos dados originais, mas não, necessariamente, indicam a exatidão da equação na predição de valores de matérias-primas ou rações em outros dados que não os originais (BARBARINO JUNIOR, 2001).

O erro de predição reduzido e a acurácia das equações são importantes para determinação de equações de predição. No entanto, deve-se considerar que pequenas reduções na exatidão são mais que aceitáveis, caso resultem em melhorias consideráveis na velocidade das análises e no processo de controle de qualidade ou, ainda, em redução de custo, caso seja possível estabelecer relações que indiquem que os valores de energia dos alimentos possam ser estimados a partir de mensurações químicas.

## **2.6 Principais métodos para validação de equações de predição**

Várias pesquisas têm sido conduzidas para o desenvolvimento de equações para estimar os valores de energia digestível e metabolizável por meio da composição proximal dos alimentos (NRC, 1994 citado por ZONTA *et al.*, 2004b), mas existem poucos relatos a respeito de validação de tais equações (ZONTA *et al.*, 2004b).

De acordo com Sibbald (1982), nem toda tentativa de se relacionar composição química e energia tem sido obtida com sucesso e muitas equações de predição não respondem satisfatoriamente quando testadas com dados independentes, e a variabilidade das técnicas

analíticas podem estar contribuindo para tal. Dale *et al.* (1990) comentam que as equações de predição para serem consideradas confiáveis devem ser validadas.

A utilização de ferramentas estatísticas também tem proporcionado para a maior acurácia dos modelos de predição, e recomendadas para a validação dos mesmos. Os testes clássicos de validação para avaliar a qualidade de um modelo matemático são em geral baseados em considerações estatísticas, como por exemplo, a análise da autocorrelação dos erros de predição, análise de correlação cruzada entre entrada e resíduos, dentre outros (LJUNG, 1999; AGUIRRE, 2004). Nesse sentido, a adoção de equações que apresentam menor erro de predição torna as equações com maior acurácia e precisão.

Castilha *et al.* (2011), a fim de verificar a aplicabilidade das equações de predição dos valores de energéticos propostas por Noblet e Perez (1993) e Castilha *et al.* (2007), realizaram uma análise de correlação (Correlações de *Spearman*), na qual verificaram a correlação existente entre os valores energéticos observados e os valores energéticos estimados por meio das equações de predição.

Zonta *et al.* (2004b) compararam os valores de EMAn estimados pelas equações de predição descritas por outros pesquisadores, com os valores de oito alimentos obtidos em ensaios de metabolismo. Estes autores verificaram que há correlação significativa entre os valores energéticos determinados e os valores energéticos estimados por meio das equações de predição.

Na literatura o que se encontra na maioria das pesquisas em relação à validação das equações de predição é validar utilizando a análise de correlação, ao invés do erro de predição. As duas medidas são importantes, contudo, podem existir casos em que a correlação é forte e o erro de predição é elevado, o que é indesejável. Assim, usar o erro de predição é um avanço em relação a usar somente o coeficiente de correlação. Nesse sentido, o erro de predição é a melhor forma de indicar se a predição é acurada ou não, ou seja, o quanto a equação vai acertar na predição.

## REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, L. **Introdução à identificação de Sistemas: técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2.ed., 2004. 714p.
- ANDERSON, P.V. *et al.* Determination and prediction of digestible and metabolizable energy from chemical analysis of corn coproducts fed to finishing pigs. **Journal of Animal Science**. v. 90, p. 1242–1254, 2012.
- AZEVEDO, D.M.S. **Fatores que afetam os valores de energia metabolizável da farinha de carne e ossos para aves**. 1996. 71f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.
- BARBARINO JÚNIOR, P. **Avaliação da qualidade nutricional do Milho pela utilização de técnicas de análise uni e multivariadas**. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2001.
- BERTOL, T.M.; LUDKE, J.V. Determinação dos valores de energia e do balanço de nitrogênio de alguns alimentos para leitões na fase inicial. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.6, p.1279-1287, 1999.
- CARRÉ, B. **Prediction of the dietary energy value of poultry feeds**. In: Feedstuff evaluation. Editado por WISEMAN, J., COLE, D.J.A. London: Butterworths, p.283-300, 1990.
- CASTILHA, L.D. *et al.* Estimativa dos valores de energia digestível e metabolizável do milho para suínos. In: XIII CONGRESSO DA ABRAVES, 2007, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC, 2007.
- CASTILHA, L. D. *et al.* Modelos matemáticos para predição dos valores energéticos do milho para suínos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.12, n.2, p.456-467, 2011.
- DALE, N.M., PESTI, G.M., ROGERS, S.R. True metabolizable energy of dried bakery product. **Poultry Science**, v.69, p.72-75, 1990.
- FERREIRA, E.R.A. *et al.* Avaliação da composição química e determinação de valores energéticos e equação de predição de alguns alimentos para suíno, **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.26, n.3, p.514-523, 1997.
- LIMA, G.J.M.M. *et al.* Qualidade nutricional do milho: padrões e valorização econômica. In: Conferência de ciência e tecnologia avícolas, 2005, Santos, SP. **Anais...** Santos, SP, p.235-248, 2005.
- LJUNG, L. **System Identification: Theory for the User**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 2.ed., 1999.

MATTERSON, L.D.; POTTER, L.M.; STUTZ, M.W. **The metabolizable energy of feed ingredients for chickens**. Agricultural Experimental Station Research Report, v.7, p.3-11, 1965.

NASCIMENTO, G.A.J. *et al.* Equações de predição para estimar valores da energia metabolizável de alimentos concentrados energéticos para aves utilizando meta-análise. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.63, n.1, p.222-230, fev. 2011a.

NASCIMENTO, G.A.J. *et al.* Equações de predição para estimar os valores da EMAn de alimentos protéicos para aves utilizando a meta-análise. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, n.10, p.2172-2177, out. 2011b

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of swine**. 9. ed. Washington: National Academic, 1994. 155p.

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.

NOBLET, J. **Digestive and metabolic utilization of dietary energy in pig feeds: comparison of energy systems**. In : Recent Developments in Pig Nutrition 3, p. 161-184. 2001.

OLUKOSI, O. A.; ADEOLA. O. Estimation of the metabolizable energy content of meat and bone meal for swine, 2009. **Journal of Animal Science**, v.87, p.2590-2599, 2009.

OST, P. R. *et al.* Valores energéticos de sojas integrais e de farelos de soja, determinados com galos adultos e por equações de predição. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 467-475, 2005.

POZZA, P.C. *et al.* 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. *et al.* 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.

POZZA, P.C. *et al.* 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.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de Pesquisa em Nutrição de Monogástricos**, Jaboticabal: FUNEP, 2007, 283p.

SAVARIS, V.D.L. *et al.* 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.

SIBBALD, I.R. Measurement of bioavailable energy in poultry feedstuffs: a review. **Canadian Journal of Animal Science**, v.62, p.983-1048, 1982.

WISEMAN, J.; COLE, D.J.L. Predicting the energy content of pig feeds. In: COLE, D.J.A.; HARESIGN, W. (Eds.). **Recent developments in pig nutrition**. London: Burtterworth Heinemann, p.59-70, 1985.

ZONTA, M.C.M. **Valores energéticos de farelos e grãos de soja processados, determinados com frangos de corte e por equações de predição**. 2004.44f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004a.

ZONTA, M.C.M. *et al.* 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, 2004b.

## **CAPÍTULO II**

### **EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DOS VALORES ENERGÉTICOS DO MILHO PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO COM VALIDAÇÃO *EX POST***

## CAPÍTULO II - EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DOS VALORES ENERGÉTICOS DO MILHO PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO COM VALIDAÇÃO *EX POST*

### RESUMO

Com esse estudo objetivou-se determinar e validar equações de predição para energia digestível (ED) e metabolizável (EM) do milho com suínos em crescimento. Para obtenção das equações de predição foram utilizados dados de composição química e de digestibilidade e metabolizabilidade de 30 amostras de grãos de milho avaliadas em experimentos na Embrapa Suínos e Aves, sendo as equações estimadas por meio da análise de regressão, utilizando-se o procedimento REG do pacote estatístico SAS e o  $R^2$  ajustado como critério de escolha para selecionar os melhores modelos. Foram estimadas duas equações para ED e duas para EM. Para a validação das equações foi realizado um experimento com dois ensaios para a determinação dos valores de ED e EM dos grãos de milho de cinco cultivares. Em cada ensaio, 24 leitões machos castrados, com peso inicial de  $54,21 \pm 1,68$  kg, foram distribuídos em um delineamento em blocos ao acaso, com 6 tratamentos (1 ração referência e 5 rações testes, compostas por 60% da dieta referência e 40% de milho) e 4 repetições, sendo a unidade experimental constituída por um animal. Com base nos resultados obtidos no experimento e os valores preditos pelas equações, procedeu-se a validação das equações, utilizando o procedimento REG do pacote estatístico SAS, sendo o critério de seleção o menor erro de predição ( $e_p$ ). Após a validação, as equações que melhor se ajustaram para estimar os valores de energia digestível e metabolizável do milho para suínos em crescimento foram  $ED = 11812 - 1015,9(PB) - 837,9(EE) - 1641(FDA) + 2616,3(MM) + 47,5(PB^2) + 114,7(FB^2) + 46(FDA^2) - 1,6(FDN^2) - 997,1(MM^2) + 151,9(EEFB) + 23,2(EEFDN) - 126,4(PBFB) + 136,4(PBFDA) - 4,0(PBFDN)$ , com  $R^2$  de 0,81 e  $e_p = 2,33$  e  $EM = 12574 - 1254,9(PB) - 1140,5(EE) - 1359,9(FDA) + 2816,3(MM) + 77,6(PB^2) + 92,3(FB^2) + 54,1(FDA^2) - 1,8(FDN^2) - 1097,2(MM^2) + 240,6(EEFB) + 26,3(EEFDN) - 157,4(PBFB) + 96,5(PBFDA) - 4,4(PBFDN)$ , com  $R^2$  de 0,89 e  $e_p = 2,24$ .

**Palavras-chave:** energia digestível, energia metabolizável, modelos matemáticos.

## CHAPTER II - PREDICTION EQUATIONS OF THE ENERGY VALUES OF CORN FOR GROWING PIGS WITH *EX POST* VALIDATION

### ABSTRACT

The aim of this study was to determine and validate prediction equations for digestible (DE) and metabolizable energy (ME) values of corn for growing pigs. The prediction equations were developed using data from chemical composition and digestibility and metabolizability of corn grain of 30 samples evaluated in experiments at Embrapa Suínos e Aves. The equations were estimated through regression analysis, using REG procedure of SAS and adjusted  $R^2$  was the criterion of choice to select the best models. Two equations were estimated for DE and two for ME. To validate the equations, one experiment with two essays was performed to determine the values of DE and ME of five corn cultivars. In each essay 24 growing pigs with an initial weight of  $54.21 \pm 1.68$  kg, were sorted in a complete randomized block design with 6 treatments (1 reference diet and 5 test diets composed of 60% of the diet reference and 40% corn) and 4 replications. The experimental unit was the animal. Based on the results obtained in the metabolism experiment, and predicted values obtained with the equations, we proceeded to validation of the equations, using the REG procedure of SAS. The selection criterion was the lowest prediction error ( $p_e$ ). After validation, the equations recommended to estimate the digestible and metabolizable energy of corn for growing pigs were:  $DE = 11812 - (1015.9CP) - (837.9EE) - (1641ADF) + (2616.3Ash) + (47.5CP^2) + (114.7CF^2) + (46ADF^2) - (1.6NDF^2) - (997.1Ash^2) + (151.9EECF) + (23.2EENDF) - (126.4CPCF) + (136.4CPADF) - (4.0CPNDF)$ , with  $R^2 = 0.81$ ;  $p_e = 2.33$  and  $ME = 12574 - (1254.9CP) - (1140.5EE) - (1359.9ADF) + (2816.3Ash) + (77.6CP^2) + (92.3CF^2) + (54.1ADF^2) - (1.8NDF^2) - (1097.2Ash^2) + (240.6EECF) + (26.3EENDF) - (157.4CPCF) + (96.5CPADF) - (4.4CPNDF)$ , with  $R^2 = 0.89$  e  $p_e = 2.24$ .

**Keywords:** digestible energy, mathematical models, metabolizable energy.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil o milho é o principal ingrediente utilizado como fonte de energia, correspondendo a cerca de 60% do total de alimentos utilizados na fabricação de rações para suínos (CASTILHA *et al.*, 2011).

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, proporcionando redução de custos e maior eficiência de produção. No entanto, a determinação por meio de ensaios de metabolismo demanda tempo, infraestrutura e recursos financeiros, o que se torna oneroso para a indústria suinícola, em função da dinâmica na produção de ração (POZZA *et al.*, 2008).

O uso de equações de predição é de grande importância, por possibilitar uma forma rápida e de fácil determinação dos valores energéticos dos alimentos (ZONTA *et al.*, 2004) entretanto torna-se importante a determinação de novas equações de predição para os valores energéticos do milho em virtude do contínuo desenvolvimento e do potencial genético dos suínos atuais.

A utilização de ferramentas estatísticas também tem aumentado a acurácia dos modelos de predição, recomendados para a validação dos mesmos. Os testes clássicos de validação para avaliar a qualidade de um modelo estimado são em geral baseados em considerações estatísticas, como por exemplo, a análise da autocorrelação dos erros de predição, análise de correlação cruzada entre entrada e resíduos, dentre outros (LJUNG, 1999; AGUIRRE, 2004). Nesse sentido, as equações que apresentam menor erro de predição também apresentam maior acurácia e precisão.

O que se encontra na maioria das pesquisas publicadas em relação à validação das equações de predição é a utilização da análise de correlação, ao invés do erro de predição. As duas medidas são importantes, contudo, podem existir casos em que a correlação é forte e o erro de predição é elevado, o que é indesejável. Assim, usar o erro de predição é um avanço em relação a usar somente o coeficiente de correlação.

Com base no exposto, objetivou-se com o presente estudo, determinar e validar equações de predição para estimar os valores de energia digestível e metabolizável do milho para suínos em crescimento.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

As informações utilizadas neste trabalho foram obtidas a partir de dados de digestibilidade dos nutrientes e de metabolizabilidade da energia de diferentes milhos em grão utilizados nas rações de suínos, determinados por ensaios utilizando o método de coleta total de fezes e urina, conduzida nas duas últimas décadas, nas instalações experimentais de metabolismo para suínos da Embrapa Suínos e Aves, situada em Concórdia - Santa Catarina.

Os dados de 37 amostras de milho foram catalogados em uma planilha com todas as informações nutricionais, bem como seus valores energéticos. Para catalogação, as informações foram selecionadas, analisadas e posteriormente comparadas com valores atuais das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (ROSTAGNO *et al.*, 2011) e do NRC (2012), sendo considerados apenas aqueles que continham informações quanto aos teores de proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), fibra bruta (FB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), bem como os valores de energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) para suínos em fase de crescimento. Dos grãos de milho de 37 amostras do banco de dados, foram selecionadas 30 amostras para obtenção das equações de predição para estimar os valores de ED e EM.

Inicialmente, foram estimadas as correlações de *Pearson* (DRAPER; SMITH, 1981) para elucidar a estrutura de relações entre as variáveis em estudo, utilizando-se o procedimento CORR do programa estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2009).

As equações de predição foram estimadas através da análise de regressão, utilizando-se o procedimento REG do programa SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2009). O R<sup>2</sup> ajustado foi o critério de escolha para selecionar os melhores modelos. Entre as equações que apresentaram maior R<sup>2</sup> ajustado, o modelo final foi aquele que incluiu as variáveis de maior interesse, incluindo interações entre as variáveis para melhor ajuste das equações. Foram selecionados 2 modelos para ED e 2 modelos para EM, sendo validadas posteriormente.

Para a validação das equações de predição, foi realizado um experimento com dois ensaios de metabolizabilidade para a determinação dos valores de energia digestível e metabolizável de grãos de milho de cinco cultivares. Em cada ensaio foram utilizados 24 leitões machos castrados, da linhagem MS-115 x F1, com peso inicial de 54,21±1,68 kg, alojados em gaiolas para estudos metabólicos. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, para controlar as diferenças no peso inicial, com seis tratamentos e quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída por um animal.

Os tratamentos foram uma ração referência e cinco rações testes, compostas por 60% da ração referência e 40% do milho de 5 diferentes cultivares. A ração referência foi formulada para atender as exigências nutricionais mínimas para suínos machos castrados, com o peso vivo de 50 a 70 kg e alto potencial genético, de acordo com Rostagno *et al.* (2011).

Cada ensaio teve a duração de 12 dias, sendo os sete primeiros para adaptação dos animais às gaiolas e determinação do consumo de ração e os cinco finais para as coletas de fezes e urina. O arraçoamento foi realizado duas vezes ao dia, às 08h00 e às 14h00. Após 30 minutos do início do fornecimento, as sobras eram recolhidas e pesadas, determinando-se assim a quantidade ingerida. A água era fornecida à vontade depois de cada arraçoamento.

A quantidade de ração fornecida no período de coleta de fezes foi definida de acordo com o menor consumo obtido durante os 7 dias iniciais, baseado no peso metabólico ( $\text{kg}^{0,75}$ ) de cada unidade experimental. O óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) foi utilizado como marcador fecal, na proporção de 0,5%, para determinar o início e o final do período de coleta. Foi utilizado o método de coleta total de fezes e urina. As fezes foram colhidas em sacos plásticos duas vezes ao dia, pesadas e armazenadas em freezer a  $-8^\circ\text{C}$  para posterior análise. A urina foi coletada uma vez ao dia, em baldes plásticos, contendo 20 mL de solução 1:1, de água destilada e ácido clorídrico, com o objetivo de não permitir a perda de nitrogênio e a proliferação de bactérias e fungos. O volume de urina produzido foi mensurado, sendo retirada uma alíquota de 20% e armazenadas em freezer.

Ao final do experimento, as fezes e a urina de cada animal foram descongeladas e homogeneizadas para a obtenção de uma amostra composta para cada animal. As amostras de fezes foram submetidas à pré-secagem, em estufa com circulação de ar forçada a  $55^\circ\text{C}$  durante 72 horas, para posterior moagem, em moinho de facas com peneira com crivo de 1 mm. As amostras de urina foram secas em placas de Petri, em estufa com circulação de ar forçada a  $55^\circ\text{C}$  por 72 horas, sendo que a cada 24 horas o volume das placas foi completado. As amostras de ração e ingredientes foram moídas, seguindo os mesmos procedimentos descritos para as amostras de fezes.

As análises de composição química e energia bruta (EB) dos ingredientes, das rações, das fezes e da urina foram realizadas no Laboratório de Análises Físico-Químicas da Embrapa Suínos e Aves (LAFQ) de acordo com a AOAC (2005). As análises de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram realizadas conforme descrito por Van Soest *et al.* (1991). A determinação da EB dos ingredientes, rações, fezes e urina foi realizada em bomba calorimétrica adiabática da marca PARR modelo 1241EA. A determinação dos

valores de energia digestível e metabolizável do milho foi realizada a partir da equação proposta por Matterson *et al.* (1965).

Após as análises, foi realizada a validação das equações selecionadas anteriormente de acordo com o maior  $R^2$  ajustado, e submetidas à análise de regressão, pelo procedimento REG do programa estatístico SAS, utilizando como critério de validação o menor erro de predição ( $e_p$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos dados iniciais de 37 amostras de milho que foram catalogados com todas as informações nutricionais, bem como seus valores energéticos, foram selecionados dados de 30 amostras de milho, onde são apresentados na Tabela 1, os valores médios, máximos, mínimos e os desvios padrão para as variáveis de composição química e os valores energéticos das avaliadas nesse estudo.

Tabela 1 - Valores energéticos e composição química média dos grãos e 30 amostras de grãos de milho (valores expressos com base na matéria seca).

<b>Variável</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
ED (kcal/kg)	3926	122,71	3636	4115
EM (kcal/kg)	3791	116,54	3583	4005
PB (%)	8,82	0,70	7,74	11,22
EE (%)	4,20	0,56	3,19	5,99
FB (%)	2,71	0,73	1,66	3,88
FDA (%)	4,28	1,21	2,96	8,27
FDN (%)	20,59	7,47	10,46	40,46
MM (%)	1,24	0,17	0,66	1,56

ED: energia digestível (kcal/kg); EM: energia metabolizável (kcal/kg); PB: proteína bruta (%); EE: extrato etéreo (%); FB: fibra bruta (%); FDA: fibra em detergente ácido (%); FDN: fibra em detergente neutro (%); MM: matéria mineral (%).

Na análise de correlação entre todas as variáveis da composição química com os valores de ED do milho para suínos, houve correlação positiva ( $P < 0,05$ ) para a fibra bruta e correlação positiva ( $P < 0,01$ ) entre ED e EM (Tabela 2).

Entre as correlações das variáveis da composição química com os valores de EM do milho para suínos obteve-se efeito significativo ( $P < 0,05$ ) somente para a variável proteína bruta.

Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre as variáveis da composição química e os valores energéticos de 30 amostras de grãos de milho.

	<b>ED</b>	<b>EM</b>	<b>PB</b>	<b>EE</b>	<b>FB</b>	<b>FDA</b>	<b>FDN</b>	<b>MM</b>
<b>ED</b>	1,000							
<b>EM</b>	0,878**	1,000						
<b>PB</b>	0,211	0,351*	1,000					
<b>EE</b>	0,032	-0,053	0,061	1,000				
<b>FB</b>	0,404*	0,331	0,289	-0,068	1,000			
<b>FDA</b>	0,308	0,287	0,148	-0,295	0,737**	1,000		
<b>FDN</b>	0,041	-0,073	0,178	0,357*	0,110	0,104	1,000	
<b>MM</b>	0,316	0,314	0,369*	-0,044	-0,129	-0,016	0,189	1,000

ED: energia digestível (kcal/kg); EM: energia metabolizável (kcal/kg); PB: proteína bruta (%); EE: extrato etéreo (%); FB: fibra bruta (%); FDA: fibra em detergente ácido (%); FDN: fibra em detergente neutro (%); MM: matéria mineral (%).

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste t (P<0,05);

\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste t (P<0,01).

Para ajustar as equações de predição dos valores de ED do milho para suínos em crescimento, foram utilizadas as variáveis proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta, fibra em detergente ácido, fibra em detergente neutro e matéria mineral. A fibra bruta teve uma correlação significativa com o ED, corroborando com Cowieson (2005) que citam a existência de uma alta correlação entre os valores de energia digestível e o conteúdo de fibra de uma dieta, sendo este um preditor eficiente.

Para ajustar as equações dos valores de EM para suínos em crescimento, foram utilizados os teores de proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta, fibra em detergente ácido, fibra em detergente neutro e matéria mineral. A correlação existente entre EM e PB pode ser devida ao efeito negativo de componentes protéicos do milho quando em excesso ou em má qualidade, sendo a proteína catabolizada, aumentando a demanda e as perdas energéticas via urina (NRC, 1998).

As equações de predição que tiveram o melhor ajuste para estimar o valor de ED do milho para suínos em crescimento foram  $ED_1 = 11812 - 1015,9(PB) - 837,9(EE) - 1641(FDA) + 2616,3(MM) + 47,5(PB^2) + 114,7(FB^2) + 46(FDA^2) - 1,6(FDN^2) - 997,1(MM^2) + 151,9(EEFB) + 23,2(EEFDN) - 126,4(PBFB) + 136,4(PBFDA) - 4,0(PBFDN)$ , com  $R^2$  de 0,81 e  $R^2$  ajustado = 0,53, e a outra equação foi  $ED_2 = 9119 - 367,6(PB) - 748,5(EE) - 1897,2(FDA) + 2799,1(MM) + 100,6(FB^2) + 39,8(FDA^2) - 1,2(FDN^2) - 1061,5(MM^2) + 151,2(EEFB) + 19,2(EEFDN) - 117,8(PBFB) + 174,1(PBFDA) - 3,5PBFDN$ , com  $R^2$  de 0,78 e  $R^2$  ajustado = 0,52.

As equações que melhor se ajustaram para determinar a EM do milho para suínos em crescimento foram  $EM_1 = 12574 - 1254,9(PB) - 1140,5(EE) - 1359,9(FDA) + 2816,3(MM) + 77,6(PB^2) + 92,3(FB^2) + 54,1(FDA^2) - 1,8(FDN^2) - 1097,2(MM^2) + 240,6(EEFB) + 26,3(EEFDN) - 157,4(PBFB) + 96,5(PBFDA) - 4,4(PBFDN)$ , com  $R^2$  de 0,89 e  $R^2$  ajustado = 0,73, a outra equação foi  $EM_2 = 14694 - 971,1(PB) - 3091,9(EE) - 1190,5(FDA) + 3643,4(MM) + 57,2(PB^2) + 215(EE^2) + 43,3(FDA^2) - 1,7(FDN^2) - 1410,1(MM^2) + 347,4(EEFB) + 15,8(EEFDN) - 148,7(PBFB) + 86,7(PBFDA)$  com  $R^2$  de 0,86 e  $R^2$  ajustado = 0,70.

Das equações selecionadas as que melhor se ajustaram foram em função do maior  $R^2$  ajustado e  $R^2$ , concordando com Nascimento *et al.* (2011), que também relataram um aumento no  $R^2$  quando há um aumento no número de variáveis da equação. O uso de equações de predição para os valores de energia metabolizável do milho a partir do conteúdo de energia digestível, como as propostas por Noblet e Perez (1993) e Castilha *et al.* (2007), embora façam uso de menor número de variáveis, traz o inconveniente da necessidade de determinação do valor de energia obtido em bomba calorimétrica e da realização de um experimento de digestibilidade. Castilha *et al.* (2007) por sua vez determinaram equações que incluíam a hemicelulose, lignina e fósforo, cujas análises apresentam-se morosas. Embora a utilização de equações de predição de ED e EM compostas por apenas uma variável de composição química, ou por uma combinação de variáveis em número reduzido seria de maior interesse, observa-se que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) são reduzidos, como as equações propostas por Wiseman e Cole (1985), que apresentaram o  $R^2$  das equações de ED (0,63 e 0,24) e para EM (0,34 e 0,20).

Como bioquimicamente o valor energético de um alimento apresenta-se em função dos teores de lipídios, carboidratos e proteína, bem como os fatores de indisponibilidade, como a presença de fibras, as equações de predição de energia digestível e energia metabolizável dos alimentos geralmente mostram-se compostas por uma ou mais combinações de variáveis da composição química (Costa *et al.*, 2005).

Na Tabela 3 encontram-se os valores de matéria seca (MS), energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra bruta (FB), fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN), matéria mineral (MM), das cinco cultivares de milho avaliadas nos ensaios de metabolizabilidade utilizados para validação das equações de predição.

Tabela 3 - Composição química e valores energéticos dos grãos de milho das cinco cultivares utilizados nos ensaios de metabolizabilidade (valores expressos com base na matéria seca).

Milho	MS	ED	EM	PB	EE	FB	FDA	FDN	MM
1	88,32	3687	3622	8,51	4,19	2,47	3,33	21,08	1,06
2	86,89	4036	3864	8,91	4,87	3,20	5,34	19,02	1,38
3	89,32	3843	3792	9,17	4,00	1,91	2,96	21,52	1,40
4	86,66	4057	4005	10,15	3,77	2,60	4,56	17,37	1,48
5	89,87	3974	3838	8,29	4,15	2,40	3,49	21,23	1,15

MS: matéria seca (%); ED: energia digestível (kcal/kg); EM: energia metabolizável (kcal/kg); PB: proteína bruta (%); EE: extrato etéreo (%); FB: fibra bruta (%); FDA: fibra em detergente ácido (%); FDN: fibra em detergente neutro (%); MM: matéria mineral (%).

O fato de gerar equações não implica em que a mesma irá prever os valores com acurácia, e isto leva à necessidade de validação das equações. Na Tabela 4 são descritos os coeficientes de determinação ( $R^2$  e  $R^2$  ajustado) e o erro de predição ( $e_p$ ), das equações para estimar os valores energéticos do milho para suínos em crescimento.

Tabela 4 - Coeficientes de determinação, erro de predição e acurácia das equações de predição para estimar os valores energéticos do milho para suínos em crescimento.

Equações	$R^2$	$R^2$ ajustado	Pr > F	Erro de predição (%)	Acurácia (Kcal/kg)
ED <sub>1</sub>	0,81	0,53	0,04	2,33±2,31	43,9±120,6
ED <sub>2</sub>	0,78	0,52	0,04	2,50±2,07	32,9±126,4
EM <sub>1</sub>	0,89	0,73	0,005	2,24±1,31	36,2±97,3
EM <sub>2</sub>	0,86	0,70	0,004	2,51±1,38	51,7±102,5

ED: energia digestível (kcal/kg); EM: energia metabolizável (kcal/kg); PB: proteína bruta (%); EE: extrato etéreo (%); FB: fibra bruta (%); FDA: fibra em detergente ácido (%); FDN: fibra em detergente neutro (%); MM: matéria mineral (%).

Embora os coeficientes de determinação das equações selecionadas tenham sido elevados, as melhores equações para estimar os valores de energia digestível e metabolizável foram as ED<sub>1</sub> e EM<sub>1</sub>, sendo estas validadas quanto ao erro de predição. Dentre as equações avaliadas, selecionou-se aquelas que apresentaram maior  $R^2$ , bem como  $R^2$  ajustado. Quanto ao parâmetro de escolha, o  $R^2$  ajustado apresenta menor valor devido a incorporação de dados, cujo valor aumenta quanto ao maior número de dados adicionados ao modelo. No entanto, embora ambos correspondam a uma medida de aderência dos valores ao modelo obtido, o  $R^2$  ajustado é corrigido pelo número de graus de liberdade, eliminando o efeito de

inflação no  $R^2$  causada pela inclusão de mais variáveis, e no caso, a adição de mais dados na equação resultou em diminuição no valor de  $R^2$  ajustado. Notadamente, para a escolha das equações para posterior validação, selecionaram-se aquelas que apresentaram maior  $R^2$  e maior valor para o  $R^2$  ajustado (GAUCH; ZOBEL, 1988).

Na elaboração de equações de predição, objetiva-se a descrição de um modelo que apresente maior acurácia, para determinar o valor de energia digestível e metabolizável do milho para suínos em crescimento a partir de uma nova amostra deste ingrediente. Assim, para validação do modelo, a estimativa quanto ao erro predito deve ser feita a partir de um novo dado, não podendo ser validado com uso de dados da mesma população a partir da qual a equação foi gerada, visto que isso incorreria na escolha de um modelo inferior de menor acurácia (GAUCH; ZOBEL, 1988). Desta forma, no presente trabalho a validação da equação foi realizada a partir de amostras de milho não pertencentes à população inicial.

#### 4 CONCLUSÕES

As equações que melhor se ajustaram para estimar os valores de energia digestível e metabolizável do milho para suínos em crescimento, apresentando o menor erro de predição ( $e_p$ ), foram:

$$ED = 11812 - 1015,9(PB) - 837,9(EE) - 1641(FDA) + 2616,3(MM) + 47,5(PB^2) + 114,7(FB^2) + 46(FDA^2) - 1,6(FDN^2) - 997,1(MM^2) + 151,9(EEFB) + 23,2(EEFDN) - 126,4(PBFB) + 136,4(PBFDA) - 4,0(PBFDN), \text{ com } R^2 \text{ de } 0,81 \text{ e } e_p = 2,33;$$

$$EM = 12574 - 1254,9(PB) - 1140,5(EE) - 1359,9(FDA) + 2816,3(MM) + 77,6(PB^2) + 92,3(FB^2) + 54,1(FDA^2) - 1,8(FDN^2) - 1097,2(MM^2) + 240,6(EEFB) + 26,3(EEFDN) - 157,4(PBFB) + 96,5(PBFDA) - 4,4(PBFDN), \text{ com } R^2 \text{ de } 0,89 \text{ e } e_p = 2,24.$$

## REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, L. **Introdução à identificação de Sistemas: técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2.ed., 2004. 714p.
- AOAC. **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists**. 18.ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.
- CASTILHA, L.D. *et al.* Estimativa dos valores de energia digestível e metabolizável do milho para suínos. In: XIII CONGRESSO DA ABRAVES, 2007, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC, 2007.
- CASTILHA, L.D. *et al.* Modelos matemáticos para predição dos valores energéticos do milho para suínos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.12, n.2, p.456-467, 2011.
- COWIESON, A.J. Factors that affect the nutritional value of maize for broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v.119, p.293-305, 2005.
- COSTA, M.A.L. *et al.* 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.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2.ed. New York: John Wiley, 1981. 709p.
- GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v.76, p.1-10, 1988.
- LJUNG, L. **System Identification: Theory for the User**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 2.ed., 1999.
- MATERSON, L.D. *et al.* The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. **Research Report**, v.7, n.1, p.11-14, 1965.
- NASCIMENTO, G.A.J. *et al.* Equações de predição para estimar valores da energia metabolizável de alimentos concentrados energéticos para aves utilizando meta-análise. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.1, p.222-230, 2011.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrients requirement of swine**. 10.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 1998. 189p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of swine**. 11th rev. ed. Washington: National Academic, 2012. 400p.
- 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.

POZZA, P.C. *et al.* 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, 2008.

ROSTAGNO, H.S. *et al.* **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: user's Guide. Version 9.2. Cary: SAS Institute, 2009. 7869p.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 74, p. 3583-3597, 1991.

WISEMAN, J.; COLE, D.J.L. Predicting the energy content of pig feeds. In: COLE, D.J.A.; HARESIGN, W. (Eds.). **Recent developments in pig nutrition**. London: Burtterworth Heinemann, p.59-70, 1985.

ZONTA, M.C.M. *et al.* 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.

### **CAPÍTULO III**

## **EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DOS VALORES ENERGÉTICOS DO FARELO DE SOJA PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO COM VALIDAÇÃO *EX POST***

**CAPÍTULO III - EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DOS VALORES ENERGÉTICOS DO  
FARELO DE SOJA PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO COM VALIDAÇÃO *EX  
POST***

**RESUMO**

Com esse estudo objetivou-se determinar e validar equações de predição para energia digestível (ED) e metabolizável (EM) do farelo de soja com suínos em crescimento. Para obtenção das equações de predição foram utilizados dados de composição química, digestibilidade e metabolizabilidade de 25 amostras de farelo de soja avaliadas em experimentos na Embrapa Suínos e Aves, sendo as equações estimadas por meio da análise de regressão, utilizando-se o procedimento REG do pacote estatístico SAS e o R<sup>2</sup> ajustado como critério de escolha para selecionar os melhores modelos. Foram estimadas duas equações para ED e duas para EM. Para a validação das equações foi realizado um experimento composto por 2 ensaios para a determinação dos valores de ED e EM de cinco amostras de farelo de soja. Em cada ensaio, 24 leitões machos castrados, com peso inicial de 54,40±1,76 kg, foram distribuídos em um delineamento em blocos ao acaso, com 6 tratamentos (1 ração referência e 5 rações testes, compostas por 70% da dieta referência e 30% de farelo de soja) e 4 repetições, sendo a unidade experimental constituída por um animal. Com base nos resultados de ED e EM obtidos no experimento e os valores preditos nas equações, procedeu-se a validação das equações, utilizando-se o procedimento REG do programa SAS, sendo o critério de seleção o menor erro de predição (e<sub>p</sub>). Após a validação, as equações recomendadas para predição dos valores de energia digestível e metabolizável do farelo de soja para suínos em crescimento foram as seguintes: ED = 48153 – 1586,1(PB) + 744,5(EE) + 363,6(FB) – 1398,3(MM) + 15,5(PB<sup>2</sup>) – 170,8(EE<sup>2</sup>) – 29,3(FB<sup>2</sup>) + 5,4(FDA<sup>2</sup>) – 2,5(FDN<sup>2</sup>) + 90,6(MM<sup>2</sup>) – 48,2(EEFDA) + 33(EEFDN), com R<sup>2</sup> de 0,88 e o e<sub>p</sub> = 2,32, EM=12692 – 2397,7(MM) – 56,8(EE<sup>2</sup>) + 164,9(MM<sup>2</sup>) – 102,2(EEFB) – 12,25(EEFDA) + 67,6(EEFDN) + 5,5(PBFB) – 2,9(PBFDN) com R<sup>2</sup> de 0,65 e o e<sub>p</sub> = 1,69.

**Palavras-chave:** alimento protéico, energia digestível, energia metabolizável, modelos matemáticos.

### CHAPTER III - PREDICTION EQUATIONS OF ENERGY VALUES OF SOYBEAN MEAL FOR GROWING PIGS WITH *EX POST* VALIDATION

#### ABSTRACT

The aim of this study was to determine and validate prediction equations for digestible (DE) and metabolizable energy (ME) of soybean meal for growing pigs. The prediction equations were developed using data from chemical composition and digestibility and metabolizability of 25 samples of soybean meal evaluated in experiments at the Embrapa Suínos e Aves. The equations were estimated through regression analysis, using the REG procedure of SAS and adjusted  $R^2$  was the criterion of choice to select the best models. Two equations were estimated for DE and two for ME. To validate the equations, one experiment with two essays was performed to determine the values of DE and ME of five samples of soybean meal. In each essay, 24 growing pigs with an initial weight of  $54.40 \pm 1.76$  kg, were sorted in a complete randomized block design with 6 treatments (1 reference diet and 5 test diets composed of 70% of the reference diet and 30% soybean meal) and 4 replicates. The experimental unit was the animal. Based on the DE and ME values obtained in the experiments, and in the predicted values obtained with the equations, we proceeded to validate the equations, using the REG procedure of SAS. The criterion for selection of the best model was the lowest prediction error ( $p_e$ ). After validation, the equations that best fit to estimate the digestible and metabolizable energy of soybean meal for growing pigs were :  $DE = 48153 - (1586,1CP) + (744,5EE) + (363,6CF) - (1398,3Ash) + (15,5CP^2) - (170,8EE^2) - (29,3CF^2) + (5,4ADF^2) - (2,5NDF^2) + (90,6Ash^2) - (48,2EEADF) + (33EENDF)$ , with  $R^2 = 0.88$  and  $p_e = 2.32$  e  $ME = 12692 - (2397,7Ash) - (56,8EE^2) + (164,9Ash^2) - (102,2EECF) - (12,2EEADF) + (67,6EENDF) + (5,5CPCB) - (2,9CPNDF)$ , with  $R^2 = 0.65$  and  $p_e = 1.69$ .

**Keywords:** digestible energy, mathematical models, metabolizable energy, protein feedstuffs.

## 1 INTRODUÇÃO

O farelo de soja é a principal fonte proteica disponível para as dietas dos suínos no Brasil, mas há poucos estudos quanto aos seus valores energéticos estimados por equações de predição. A energia é o principal componente nutricional da ração e determina o desempenho dos suínos, já que, em sistemas de criação com alimentação à vontade, o consumo de alimentos é regulado pela densidade energética da ração e pela exigência nutricional e energética (SILVA *et al.*, 2003). Assim, torna-se imprescindível o conhecimento acurado do valor energético dos alimentos para proporcionar o adequado balanceamento das dietas (NASCIMENTO *et al.*, 2011). No entanto, a efetividade do método de formulação de rações é dependente da precisão com que a energia dos alimentos é determinada (SILVA *et al.*, 2003).

Ensaio biológicos visando analisar a digestibilidade e metabolizabilidade dos nutrientes e da energia de uma ração ou ingrediente apresentam elevado grau de confiabilidade, porém são dispendiosos e onerosos. Assim, métodos indiretos como a determinação dos valores energéticos dos alimentos por meio de equações de predição são alternativas de baixo custo, com a aplicação em alimentos específicos ou não (NOBLET; PEREZ, 1993).

Diferentemente dos estudos para determinação de equações de predição dos valores energéticos do milho para suínos, onde existe uma diversidade de pesquisas, para o farelo de soja os relatos são escassos e em sua maioria não específicas, mas sim gerais para alimentos protéicos de origem vegetal, como as equações de Noblet e Perez (1993).

Assim, objetivou-se com o presente trabalho, determinar equações de predição para estimar os valores de energia digestível e metabolizável do farelo de soja para suínos em crescimento.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

As informações utilizadas neste trabalho foram obtidas a partir de dados de digestibilidade dos nutrientes e de metabolizabilidade da energia de diferentes amostras de farelo de soja, determinados por ensaios metabólicos utilizando o método de coleta total de fezes e urina, conduzida nas duas últimas décadas, nas instalações experimentais de metabolismo para suínos da Embrapa Suínos e Aves, situada em Concórdia - Santa Catarina.

Os dados de 29 amostras de farelo de soja foram catalogados em uma planilha com todas as informações nutricionais dos farelos, bem como seus valores energéticos. Para catalogação, as informações foram selecionadas, analisadas e posteriormente comparadas com valores atuais das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (ROSTAGNO *et al*, 2011) e do NRC (2012), sendo considerados apenas aqueles com informações quanto aos teores de proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), fibra bruta (FB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), bem como os valores de energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) para suínos em fase de crescimento. Das 29 amostras de farelo de soja do banco de dados, foram selecionados 25 para obtenção das equações de predição para estimar os valores de ED e EM,

Foram estimadas as correlações de *Pearson* (DRAPER; SMITH, 1981) para elucidar a estrutura de relações entre as variáveis em estudo, utilizando-se o procedimento CORR do programa estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2009).

As equações de predição foram estimadas através da análise de regressão, utilizando-se o procedimento REG do programa SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2009). O R<sup>2</sup> ajustado foi o critério de escolha para selecionar os melhores modelos. Entre as equações que apresentaram maior R<sup>2</sup> ajustado, o modelo final foi aquele que incluiu as variáveis de maior interesse, incluindo interações entre as variáveis para melhor ajuste das equações. Foram selecionados 2 modelos para ED e 2 modelos para EM, sendo validadas posteriormente.

Para a validação das equações de predição, foram realizados dois ensaios de metabolizabilidade para a determinação dos valores de energia digestível e metabolizável de 5 amostras de farelo de soja. Em cada ensaio, foram utilizados 24 leitões machos castrados, da linhagem MS-115 x F1, com peso inicial de 54,40±1,76 kg, alojados em gaiolas para estudos metabólicos. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, para controlar as diferenças no peso inicial, com seis tratamentos e quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída por um animal.

Os tratamentos consistiram de uma ração referência e cinco rações testes, compostas por 70% da ração referência e 30% de farelo de soja. A ração referência foi formulada para atender as exigências nutricionais mínimas para suínos machos castrados, com o peso vivo de 50 a 70 kg e alto potencial genético, de acordo com Rostagno *et al.* (2011).

Cada ensaio teve a duração de 12 dias, sendo os sete primeiros para adaptação dos animais às gaiolas e determinação do consumo de ração e os cinco finais para as coletas de fezes e urina. O arraçoamento foi realizado duas vezes ao dia, às 08h00 e às 14h00. Após 30 minutos do início do fornecimento, as sobras eram recolhidas e então pesadas, determinando assim a quantidade ingerida. A água era fornecida à vontade depois de cada arroçamento.

A quantidade de ração fornecida no período de coleta de fezes foi definida de acordo com o menor consumo obtido durante os 7 dias iniciais, baseado no peso metabólico ( $\text{kg}^{0,75}$ ) de cada unidade experimental. O óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) foi utilizado como marcador fecal, na proporção de 0,5%, para determinar o início e o final do período de coleta. Foi utilizado o método de coleta total de fezes e urina, as quais foram colhidas em sacos plásticos duas vezes ao dia, pesadas e armazenadas em freezer a  $-8^\circ\text{C}$  para posterior análise. A urina foi coletada uma vez ao dia, em baldes plásticos, contendo 20 mL de solução 1:1, de água destilada e ácido clorídrico, com o objetivo de não permitir a perda de nitrogênio e a proliferação de bactérias e fungos. O volume de urina produzido foi mensurado e retirada uma alíquota de 20% e armazenadas em freezer.

Ao final do experimento, as fezes e a urina de cada animal foram descongeladas e homogeneizadas para a obtenção de uma amostra composta para cada animal. As porções de fezes foram submetidas à pré-secagem, em estufa com circulação de ar forçado a  $55^\circ\text{C}$  durante 72 horas, para posterior moagem, em moinho de facas com peneira com crivo de 1 mm. As amostras de urina foram secas em placas de Petri, em estufa com circulação de ar forçada a  $55^\circ\text{C}$  por 72 horas, sendo que a cada 24 horas o volume das placas foi completado. As amostras de ração e ingredientes foram moídas, seguindo os mesmos procedimentos descritos para as amostras de fezes.

As análises de composição química e energia bruta (EB) dos ingredientes, das rações, das fezes e da urina foram realizadas no Laboratório de Análises Físico-Químicas da Embrapa Suínos e Aves (LAFQ) de acordo com a AOAC (2005). As análises de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram realizadas conforme descrito por Van Soest *et al.* (1991). A determinação da energia bruta (EB) dos ingredientes, rações, fezes e urina foi realizada em bomba calorimétrica adiabática da marca PARR modelo 1241EA. A

determinação dos valores de energia digestível e metabolizável do milho foi realizada a partir da equação proposta por Matterson *et al.* (1965)

Após as análises, foi realizada a validação das equações, selecionadas de acordo com o maior  $R^2$  ajustado, e submetidas à análise de regressão, pelo procedimento REG do programa estatístico SAS, utilizando como critério de validação o menor erro de predição ( $e_p$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos dados iniciais de 29 amostras de farelo de soja que foram catalogados com todas as informações nutricionais, bem como seus valores energéticos, foram selecionados dados de 29 amostras de farelo de soja, onde são apresentados na Tabela 5, os valores médios, máximos, mínimos e os desvios padrão para as variáveis de composição química e os valores energéticos das avaliadas nesse estudo.

Tabela 5 - Valores energéticos e composição química média das 25 amostras de farelo de soja em estudo (valores expressos com base na matéria seca).

Variável	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
ED (kcal/kg)	4084	94,81	3907	4233
EM (kcal/kg)	3842	112,83	3607	4052
PB (%)	51,45	2,09	46,33	54,53
EE (%)	2,10	0,72	1,04	3,77
FB (%)	5,36	1,24	3,67	8,09
FDA (%)	8,13	2,11	5,17	12,87
FDN (%)	13,56	3,44	8,47	21,55
MM (%)	6,71	0,59	5,48	8,48

ED: energia digestível (kcal/kg); EM: energia metabolizável (kcal/kg); PB: proteína bruta (%); EE: extrato etéreo (%); FB: fibra bruta (%); FDA: fibra em detergente ácido (%); FDN: fibra em detergente neutro (%); MM: matéria mineral (%).

As correlações entre todas as variáveis da composição química e os valores da ED dos farelos de soja indicaram uma correlação positiva ( $P < 0,05$ ) com o extrato etéreo, e uma correlação negativa ( $P < 0,05$ ) com a matéria mineral. Observa-se também correlação positiva ( $P < 0,01$ ) entre ED e EM (Tabela 6). Não houve efeito significativo para as correlações entre a EM e as variáveis da composição química dos farelos de soja.

Tabela 6 - Coeficientes de correlação entre as variáveis da composição química e dos valores energéticos dos farelos de soja.

	<b>ED</b>	<b>EM</b>	<b>PB</b>	<b>EE</b>	<b>FB</b>	<b>FDA</b>	<b>FDN</b>	<b>MM</b>
<b>ED</b>	1,000							
<b>EM</b>	0,633**	1,000						
<b>PB</b>	-0,244	-0,132	1,000					
<b>EE</b>	0,451*	0,217	-0,665**	1,000				
<b>FB</b>	-0,046	0,045	-0,335	-0,177	1,000			
<b>FDA</b>	-0,104	-0,147	-0,232	-0,206	0,775**	1,000		
<b>FDN</b>	-0,165	0,084	-0,503**	-0,030	0,764**	0,349	1,000	
<b>MM</b>	-0,435*	-0,153	0,356	-0,219	-0,095	-0,178	0,864	1,000

ED: energia digestível (kcal/kg); EM: energia metabolizável (kcal/kg); PB: proteína bruta (%); EE: extrato etéreo (%); FB: fibra bruta (%); FDA: fibra em detergente ácido (%); FDN: fibra em detergente neutro (%); MM: matéria mineral (%).

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste t (P<0,05).

\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste t (P<0,01).

Para ajustar as equações de predição dos valores de ED do farelo de soja para suínos em crescimento, foram utilizadas para compor as equações as variáveis de proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta, fibra em detergente ácido, fibra em detergente neutro e matéria mineral.

Para o extrato etéreo obteve-se uma correlação significativa positiva com a ED, concordando com Swick (1997), que relatou que o conteúdo de energia digestível e metabolizável do farelo de soja pode ser variável, podendo ser afetado pelo conteúdo residual de óleo.

Para a matéria mineral (MM) obteve-se correlação negativa com a ED, corroborando com Johnson e Parsons (1997), Adedokun e Adeola (2005) e Olukosi e Adeola (2009), que relataram que a alta quantidade de MM diminuíram a utilização de energia pelos animais. Segundo Johnson e Parsons (1997) a matéria mineral pode afetar a utilização de energia, especialmente por causa do conteúdo de cinzas pode afetar a taxa de passagem da digesta ou pode potencializar interações entre os minerais e outros nutrientes (Atteh e Leeson, 1984).

Para o ajuste das equações dos valores de EM do farelo de soja para suínos em crescimento, foram utilizados para compor as equações os teores de proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta, fibra em detergente ácido, fibra em detergente neutro e matéria mineral.

As equações de predição que tiveram o melhor ajuste para estimar o valor de ED do farelo de soja para suínos em crescimento foram  $ED_1 = 48153 - 1586,1(PB) + 744,5(EE) + 363,6(FB) - 1398,3(MM) + 15,5(PB^2) - 170,8(EE^2) - 29,3(FB^2) + 5,4(FDA^2) - 2,5(FDN^2) + 90,6(MM^2) - 48,2(EEFDA) + 33(EEFDN)$ , com  $R^2$  de 0,88 e  $R^2$  ajustado = 0,77, e

$ED_2=7414,9 - 903,4(MM) - 88,2(EE^2) - 34,7(FB^2) + 9,6(FDA^2) + 58,4(MM^2) - 101,6(EEFB) + 72,4(EEFDN) + 12,3(PBFB) - 3,2(PBFDA) - 3(PBFDN)$ , com  $R^2$  de 0,86 e  $R^2$  ajustado = 0,75.

As equações que melhor se ajustaram para predição da EM do farelo de soja para suínos em crescimento foram  $EM_1=12692 - 2397,7(MM) - 56,8(EE^2) + 164,9(MM^2) - 102,2(EEFB) - 12,25(EEFDA) + 67,6(EEFDN) + 5,5(PBFB) - 2,9(PBFDN)$ , com  $R^2$  de 0,65 e  $R^2$  ajustado = 0,48, e  $EM_2 = 10963 + 37,7(PB) + 309,4(FB) - 2450,7(MM) - 67,1(EE^2) + 167,9(MM^2) - 111,2(EEFB) - 13,2(EEFDA) + 76,7(EEFDN) - 3,3(PBFDN)$  com  $R^2$  de 0,66 e  $R^2$  ajustado = 0,46.

Outro fator importante das equações que melhor se ajustaram foi a não inclusão da variável energia bruta, sendo vantajoso em virtude da morosidade da análise, considerando ainda que relativamente poucas instituições e empresas no Brasil são favorecidas de equipamento e estrutura necessária para realização desta análise.

Na Tabela 7 encontram-se os valores de matéria seca (MS), energia bruta (EB), energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra bruta (FB), fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN) e matéria mineral (MM) das cinco amostras de farelo de soja utilizadas nos ensaios de metabolizabilidade para validação das equações de predição.

Tabela 7 - Composição química e valores energéticos das cinco amostras de farelo de soja utilizados para validação (valores expressos com base na matéria seca).

Amostras de FS	MS	ED	EM	PB	EE	FB	FDA	FDN	MM
1	90,66	3815	3718	52,63	1,80	4,33	7,09	10,59	7,59
2	89,77	4025	3924	50,01	2,24	6,05	8,79	13,51	7,34
3	86,70	3993	3907	49,39	1,08	7,59	12,48	17,52	6,23
4	88,16	4139	4007	53,47	2,08	4,16	6,08	10,42	5,94
5	88,67	4108	4026	52,04	1,47	7,47	11,14	12,50	6,34

FS: farelo de soja; MS: matéria seca; ED: energia digestível (kcal/kg); EM: energia metabolizável (kcal/kg); PB: proteína bruta (%); EE: extrato etéreo (%); FB: fibra bruta (%); FDA: fibra em detergente ácido (%); FDN: fibra em detergente neutro (%); MM: matéria mineral (%).

Gerar equações não implica em que a mesma irá prever os valores com maior acurácia, devendo-se então validar as equações, informando o erro de predição ou resíduo, que é utilizado para estimar os modelos matemáticos, bem como os coeficientes de determinação ( $R^2$  e  $R^2$  ajustado).

Tabela 8 - Coeficientes de determinação, erro de predição e acurácia das equações de predição para estimar os valores energéticos do farelo de soja para suínos em crescimento.

<b>Equações</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	<b>Pr &gt; F</b>	<b>Erro de predição (%)</b>	<b>Acurácia (kcal/kg)</b>
ED <sub>1</sub>	0,88	0,77	0,0006	2,32±1,10	93,1±44,5
ED <sub>2</sub>	0,86	0,75	0,0002	2,43±1,96	96,9±77,2
EM <sub>1</sub>	0,65	0,48	0,01	1,69±1,42	-9,4±92,7
EM <sub>2</sub>	0,66	0,46	0,02	2,93±2,08	-106,7±100,8

ED: energia digestível (kcal/kg); EM: energia metabolizável (kcal/kg); PB: proteína bruta (%); EE: extrato etéreo (%); FB: fibra bruta (%); FDA: fibra em detergente ácido (%); FDN: fibra em detergente neutro (%); MM: matéria mineral (%).

Apesar de grande número de estudos terem sido conduzidos para a determinação de relações entre composição química e valores energéticos dos alimentos, poucos reportaram sobre a aplicabilidade das equações desenvolvidas, sendo difícil saber o grau de confiança que se pode obter com as equações disponíveis. Assim, valores de R<sup>2</sup> obtidos na elaboração das equações possibilitariam a estimativa do ajuste da equação aos dados originais, mas não, necessariamente, indicariam a exatidão da equação na predição de valores de matérias-primas ou rações em outros dados que não os originais.

Nesse sentido, o erro de predição reduzido e a avaliação da acurácia das equações é importante para validação de equações de predição. No entanto, deve-se considerar que pequenas reduções na exatidão são mais que aceitáveis, caso resultem em melhorias consideráveis na velocidade das análises e no processo de controle de qualidade ou, ainda, em reduções de custo, caso seja possível estabelecer relações que indiquem que os valores de energia dos alimentos possam ser estimados a partir de mensurações químicas.

Neste estudo, diferentemente de outras pesquisas são informados os erros de predição e as melhores equações são as que apresentaram o menor erro de predição e maior acurácia, como as equações ED<sub>1</sub> com erro de predição ( $e_p$ ) de 2,32 e a EM<sub>1</sub> com  $e_p = 1,69$ .

Diante das equações e erros de predição obtidos, a determinação dos valores energéticos do farelo de soja com base em sua composição bromatológica resultou em uma equação para o valor de ED e uma para o valor de EM, possibilitando sua aplicação em virtude da validação das mesmas.

#### 4 CONCLUSÕES

Conclui-se que as equações melhor se ajustaram para predição dos valores de energia digestível e metabolizável do farelo de soja para suínos em crescimento, apresentando o menor erro de predição ( $e_p$ ), foram:

$ED_1 = 48153 - 1586,1(PB) + 744,5(EE) + 363,6(FB) - 1398,3(MM) + 15,5(PB^2) - 170,8(EE^2) - 29,3(FB^2) + 5,4(FDA^2) - 2,5(FDN^2) + 90,6(MM^2) - 48,2(EEFDA) + 33(EEFDN)$ , com  $R^2$  de 0,88 e o  $e_p = 2,32\%$ ;

$EM_1 = 12692 - 2397,7(MM) - 56,8(EE^2) + 164,9(MM^2) - 102,2(EEFB) - 12,25(EEFDA) + 67,6(EEFDN) + 5,5(PBFB) - 2,9(PBFDN)$  com  $R^2$  de 0,65 e o  $e_p = 1,69\%$ .

## REFERÊNCIAS

- ADEDOKUN, S. A.; ADEOLA, O. Metabolizable energy value of meat and bone meal for pigs. **Journal of Animal Science**, v.83, p.2519–2526, 2005.
- ATTEH, J. O.; LEESON, S. Effects of dietary saturated and unsaturated fatty acids and calcium levels on performance and mineral metabolism in broiler chicks. . **Poultry Science**, v.63, p.2252–2260, 1984.
- AOAC. **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists**. 18.ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2.ed. New York: John Wiley, 1981. 709p.
- JOHNSON, M. L.; PARSONS, C. M. Effects of raw material source, ash content, and assay length on protein efficiency ratio and net protein ratio values for animal protein meals. **Poultry Science**, v.76, p.1722–1727, 1997.
- MATERSON, L.D. *et al.* The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. **Research Report**, v.7, n.1, p.11-14, 1965.
- NASCIMENTO, G.A.J. *et al.* Equações de predição para estimar os valores da EMAn de alimentos protéicos para aves utilizando a meta-análise. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, n.10, p.2172-2177, out. 2011.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of swine**. 11th rev. ed. Washington: National Academic, 2012. 400p.
- 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.
- OLUKOSI, O. A.; ADEOLA, O. Estimation of the metabolizable energy content of meat and bone meal for swine, 2009. **Journal of Animal Science**, v.87, p.2590-2599, 2009.
- ROSTAGNO, H.S. *et al.* **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT: user's Guide**. Version 9.2. Cary: SAS Institute, 2009. 7869p.
- SILVA, J.H.V. *et al.* Energia metabolizável de ingredientes determinada com codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.6, p.1912-1918, 2003.
- SWICK, R.A. **Update on the use of soybean meal for growing pigs**. Bangkok, Thailand. American Soybean Association. v.12, 1997.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 74, p. 3583-3597, 1991.