

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

VALORES ENERGÉTICOS E AJUSTE DE EQUAÇÕES DE
PREDIÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL DO MILHO
PARA LEITÕES

Autor: Lucas Antonio Costa Esteves

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza

Coorientador: Prof. Dr. Newton Tavares Escocard de Oliveira

MARINGÁ
Estado do Paraná
Fevereiro - 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

VALORES ENERGÉTICOS E AJUSTE DE EQUAÇÕES DE
PREDIÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL DO MILHO
PARA LEITÕES

Autor: Lucas Antonio Costa Esteves

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza

Coorientador: Prof. Dr. Newton Tavares Escocard de Oliveira

“Dissertação apresentada, como parte das exigências para a obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá – Área de Concentração Produção Animal”

MARINGÁ
Estado do Paraná
Fevereiro - 2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

E79v Esteves, Lucas Antonio Costa
Valores energéticos e ajuste de equações de
predição da energia metabolizável do milho para
leitões / Lucas Antonio Costa Esteves. -- Maringá,
2015.
40 f. : il. tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza.
Coorientador: Prof. Dr. Newton Tavares Escocard
de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, 2015.

1. Suínos (Leitão) - Coeficiente de
metabolizabilidade. 2. Suínos (Leitão) - Milho -
Valor energético. 3. Suínos (Leitão) - Nutrição. I.
Pozza, Paulo Cesar, orient. II. Oliveira, Newton
Tavares Escocard de, coorient. III. Universidade
Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias.
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.

CDD 21.ed. 636.4

MN-001706



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**VALORES ENERGÉTICOS E AJUSTE DE EQUAÇÕES
DE PREDIÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL
DO MILHO PARA LEITÕES**

Autor: Lucas Antonio Costa Esteves
Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração Produção
Animal

APROVADA em 27 de fevereiro de 2015.


Prof. Dr. Ricardo Souza
Vasconcelos


Prof. Dr. Newton Tavares
Escocard de Oliveira


Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza
(Orientador)

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Natalino Lineu Esteves, minha mãe, Thais Terezinha Galvão Costa, e minha irmã, Nathalia Costa Esteves, que sempre me apoiaram e me incentivaram em todos os momentos;

Aos meus avós, pelos ensinamentos, e a toda minha família, que mesmo longe sempre me acompanharam e me ajudaram;

À minha namorada, Mônica Estela Zambon Merenda, que sempre esteve ao meu lado, me ajudando e dando força.

Amo todos e sei que sem vocês ao meu lado isso não seria possível. Muito obrigado por tudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo!

À Universidade Estadual de Maringá, por ter me possibilitado concluir o curso de Zootecnia e a Pós-graduação. Em especial ao programa de Pós-graduação, pela oportunidade de realização deste trabalho, e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) e ao FINEP por possibilitar a realização das análises no calorímetro adiabático.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza, por toda dedicação, apoio, paciência, ensinamentos e conselhos ministrados durante esses dois anos.

Aos amigos do grupo de pesquisa, Leandro Dalcin Castilha, Laura Marcela Diaz Huepa, Marcelise Regina Fachinello, Cleiton Pagliari Sangali, Alessandra Nardina Trícia Rigo Monteiro, Tiago Junior Pasquetti, Silvia Leticia Ferreira, Camila Francisca Muniz, Vinicius Cambito de Paula, Bruno Campos, Natália Galoro Leite, Isabela Leal e

Lucas Pimentel Bonagurio, pois sem a ajuda desse grupo com certeza não seria capaz de desenvolver este trabalho.

Aos funcionários da Fazenda Experimental de Iguatemi, em especial aos do setor de suínos, João Salvalágio e Carlos José da Silva.

Aos amigos de turma, com quem compartilhei algumas horas de estudo.

A toda minha família, pela paciência, pelos conselhos. Aos meus pais, que mesmo longe sempre estão me ajudando e me motivando a continuar a estudar. À minha irmã, que foi uma das maiores incentivadoras para prosseguir na formação acadêmica, aos meus avós, tios, tias, primos, primas, à minha namorada e a sua família.

A todos os professores e funcionários, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Este foi um período de muito aprendizado e com certeza aprendi muito com cada um de vocês.

Muito obrigado.

BIOGRAFIA

Lucas Antonio Costa Esteves, filho de Natalino Lineu Esteves e Thais Terezinha Galvão Costa, nasceu em Birigui, Estado de São Paulo, Brasil, no dia 5 de novembro de 1987.

Em fevereiro de 2008, ingressou no curso de graduação em Zootecnia, na Universidade Estadual de Maringá, onde se diplomou em dezembro de 2012.

Em março de 2013, iniciou no programa de Pós-graduação em Zootecnia, em nível de mestrado, área de concentração Produção Animal, na Universidade Estadual de Maringá, atuando na área de “Avaliação de alimentos para suínos”.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Composição química do milho e seus valores energéticos para suínos.....	3
1.2 Principais causas da variação na EM dos alimentos para suínos.....	5
1.3 Fatores que influenciam a digestibilidade dos nutrientes em leitões.....	7
1.4 Equações de predição dos valores energéticos de alimentos para suínos.....	10
1.5 Referências.....	12
II. OBJETIVOS GERAIS.....	18
III. VALORES ENERGÉTICOS E AJUSTE DE EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL DO MILHO PARA LEITÕES.....	19
INTRODUÇÃO.....	21
MATERIAL E MÉTODOS.....	22
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
CONCLUSÕES.....	36
REFERÊNCIAS.....	37

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Composição centesimal da ração referência.....	23
Tabela 2. Composição química de cultivares de milho da 1ª e 2ª safras, em percentagem da matéria natural.....	27
Tabela 3. Valores de energia bruta (EB), digestível (ED) e metabolizável (EM), coeficientes de digestibilidade (CDEB) e metabolizabilidade (CMEB) da energia bruta e relação EM:ED dos cultivares de milho provenientes da 1ª safra , na matéria natural...29	29
Tabela 4. Valores de energia bruta (EB), digestível (ED) e metabolizável (EM), coeficientes de digestibilidade (CDEB) e metabolizabilidade (CMEB) da energia bruta e relação EM:ED dos cultivares de milho da 2ª safra , na matéria natural.....30	30
Tabela 5. Matriz de correlações entre os componentes dos cultivares de milho em função da safra.....	32
Tabela 6. Interceptos, coeficientes de regressão e de determinação das equações para prever os valores de energia metabolizável (EM) dos cultivares da 1ª e 2ª safras de milho, ajustados com base na matéria seca.....	34
Tabela 7. Interceptos, coeficientes de regressão e de determinação das equações para prever os valores de energia metabolizável (EM) dos cultivares de milho (período completo), ajustados com base na matéria seca.....	35

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram determinar os valores energéticos e ajustar equações de predição da energia metabolizável (EM) a partir da composição química do milho para leitões. Foram realizados dois experimentos de digestibilidade, o primeiro com milhos de 2ª safra, no qual foram utilizados 40 leitões, castrados, com peso inicial de $8,75 \pm 0,22$ kg, distribuídos individualmente em gaiolas de metabolismo, em delineamento experimental de blocos ao acaso, com dez tratamentos, quatro repetições e um animal por unidade experimental; o segundo experimento foi realizado com milhos de 1ª safra, seguindo os mesmos procedimentos adotados no primeiro experimento, sendo o peso médio inicial dos animais de $9,48 \pm 0,06$ kg. Em cada experimento os tratamentos consistiram de uma ração referência e nove cultivares de milho, que substituíram em 25% a ração referência. O experimento durou 12 dias, sendo sete dias de adaptação, e cinco dias de coleta de fezes e urina. Óxido férrico (Fe_2O_3) foi utilizado como marcador fecal para definir o início e o final do período de coleta. Os valores de matéria seca (MS), amido (AMI), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), cálcio (Ca), fósforo (P) e energia bruta (EB) dos milhos de 2ª safra variaram de 85,77 a 88,23%; 62,06 a 63,79%; 11,34 a 12,5%; 2,5 a 3,65%; 7,06 a 7,97%; 1,88 a 4,61%; 0,83 a 1,11%; 0,02 a 0,046%; 0,186 a 0,261% e 3743 a 3967 kcal/kg MN,

respectivamente; e para os milhos de 1ª safra variaram de 87,23 a 89,22%; 62,49 a 64,93%; 10,19 a 12,78%; 3,36 a 4,29%; 7,55 a 8,55%; 2,94 a 4,22%; 0,99 a 1,22%; 0,02 a 0,026%, 0,206 a 0,311% e 3870 a 3980 kcal/kg MN, respectivamente. Os valores de EM variaram de 3143 a 3652 kcal/kg MN para as cultivares da 2ª safra, enquanto que para os milhos de 1ª de safra foram de 3281 a 3509 kcal/kg MN. As equações ajustadas para prever a EM apresentarão baixo R^2 . Concluiu-se que as equações com melhor ajuste para estimar a EM do milho, para leitões, foram $EM = -6306,15 + 400,652FDA + 117,286AMI + 24924,7Ca + 2489,66P - 148,406PB$ ($R^2=0,44$), para os milhos de 1ª safra; $EM = -7560,08 + 2,66895EB - 120,688FDA$ ($R^2=0,48$), para os milhos de 2ª safra; e para o período completo de safras foi ajustada a equação $EM = 2848,95 + 68,5714FDN + 161,938EE - 5563,51Ca - 1454,15P$ ($R^2=0,41$).

Termos para indexação: Coeficiente de metabolizabilidade, energia do milho, nutrição de suínos.

ABSTRACT

The aims of this study were to determine energy values and fit prediction equations for metabolizable energy (ME) from the chemical composition of corn for piglets. Two digestibility trials were accomplished, the first one using corn from 2nd crop, in which 40 castrated piglets were used, averaging 8.75 ± 0.22 kg of initial weight, allotted in a randomized block design with ten treatments, four replicates and one animal per experimental unit; the second experiment was carried out using corn from 1st crop, following the same procedures of the first experiment, with animals averaging 9.48 ± 0.06 kg of initial weight. In each experiment the treatments consisted of a basal diet and nine corn cultivars replacing 25% of basal diet. The experiment lasted 12 days, being seven days adjustment period followed by five days period of total collection of feces and urine. Ferric oxide (Fe_2O_3) was used as fecal marker to define the beginning and end of the collection period. Dry matter (DM), starch (ST), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), crude protein (CP), ether extract (EE), ash, calcium (Ca) and phosphorus (P) of the 2nd crop corn ranged from 85.77 to 88.23%; 62.06 to 63.79%; 11.34 to 12.5%; 2.5 to 3.65%; 7.06 to 7.97%; 1.88 to 4.61%; 0.83 to 1.11%; 0.02 to 0.046%, 0.186 to 0.261% and 3743 to 3967 kcal/kg NM, respectively. For the 1st crop these values ranged from 87.23 to 89.22%; 62.49 to 64.93%; 10.19 to 12.78%; 3.36 to 4.29%; 7.55 to 8.55%; 2.94 to 4.22%; 0.99 to 1.22%; 0.02 to 0.026%, 0.206 to 0.311% and 3870 a 3980 kcal/kg NM, respectively. The ME values ranged from 3143 to

3652 kcal/kg NM, for the 2nd crop cultivars, while for the corn of the 1st crop these values ranged from 3281 to 3509 kcal/kg NM. The fitted equations to predict the ME presented a low R^2 . It is concluded that the better fit to predict the ME of corn for piglets is represented by $ME = -6306.15 + 400.652ADF + 117.286ST + 24924.7Ca + 2489.66P - 148.406CP$ ($R^2=0,44$), for 1st corn crop; $ME = -7560.08 + 2.66895GE - 120.688ADF$ ($R^2=0,48$), for the 2nd corn crop; and for the joint crops was fitted the equation $ME = 2848.95 + 68.5714NDF + 161.938EE - 5563.51Ca - 1454.15P$ ($R^2=0,41$).

Index terms: Coefficient of metabolizability, corn energy, swine nutrition.

I. INTRODUÇÃO

O milho é o principal cereal utilizado na dieta de suínos, uma vez que é amplamente cultivado e possui alto conteúdo de energia metabolizável (EM). No entanto, a variação no conteúdo nutricional pode influenciar a produção de suínos (Li et al., 2014). Desta forma, para que uma ração seja formulada com menor custo, e para que atenda às exigências dos animais, é necessário o conhecimento da composição química e energética deste alimento (Pozza et al., 2010).

O milho é conhecido como alimento de composição química padronizada, no entanto, podem ocorrer variações nesses valores, que pode ser decorrência da variedade dos grãos, condições climáticas, uso de fertilizantes, armazenamento, processamento e infestações por insetos. Neste sentido, Passos (2004), avaliando 68 variedades de milho, observou que os valores de proteína bruta (PB) variaram de 7,70 a 13,06% e o valor de extrato etéreo (EE) variou de 2,87 a 6,02%.

Esta variação na composição química pode influenciar o conteúdo energético do milho, pois a energia é o produto gerado a partir dos nutrientes do alimento, ou seja, é dependente da quantidade de carboidratos, gorduras, proteínas, minerais e água (Ewans, 1991).

Os valores energéticos utilizados na formulação das rações para suínos podem ser obtidos de tabelas de composição de alimentos (National Research Council - NRC, 2012; Rostagno et al., 2011), mas são valores médios obtidos de vários estudos ou então estimados por meio de equações.

O milho representa o principal alimento utilizado em rações para suínos, principalmente para suprir o aporte de EM, mas a variação em seus nutrientes pode proporcionar diferentes valores de EM em relação aos valores encontrados em tabelas de composição de alimentos. Além disso, o uso de equações apropriadas, que predizem com precisão os valores de EM, pode ser uma alternativa viável (Pelizzeri et al., 2013).

Os valores energéticos dos alimentos podem ser obtidos por métodos diretos e indiretos. No entanto, os métodos diretos requerem utilização de um calorímetro e realização de ensaios metabólicos, o que é trabalhoso e demanda muito tempo. O método indireto abrange o uso de equações de predição dos valores energéticos, que são modelos matemáticos ajustados para estimar o valor energético de um alimento a partir da composição química.

As equações de predição são importantes, pois, além de constituírem um método rápido e de baixo custo, utilizam como preditoras variáveis da composição química dos alimentos, as quais são mais facilmente obtidas do que a realização de um ensaio de metabolismo, que é um método oneroso e demorado (Sakomura e Rostagno, 2007; Pozza et al., 2008).

Os valores de energia digestível (ED) e EM do milho para suínos têm sido muito estudados nos últimos anos, assim como o ajuste de equações de predição. No entanto, são predominantemente obtidos com animais em crescimento e terminação, sendo, em muitos casos, utilizados na formulação de rações para leitões.

Devido às particularidades anatomofisiológicas dos leitões, caracterizadas pelo subdesenvolvimento do trato gastrointestinal, imaturidade das enzimas responsáveis pela quebra das moléculas de carboidratos, proteínas e lipídios, além da baixa diversidade da flora intestinal que ainda está em desenvolvimento, o uso dos valores de EM e de modelos de predição, obtidos com animais em idades avançadas, pode não ser adequado para a formulação de rações para leitões.

Desta forma, é necessário que sejam ajustadas equações que estimem os valores energéticos do milho para leitões. Neste sentido, os objetivos deste trabalho foram o de determinar a composição química e energética de diferentes cultivares de milho para leitões, assim como ajustar modelos para predizer valores de EM para leitões em função da composição química.

1.1 Composição química do milho e seus valores energéticos para suínos

O milho é considerado uma das culturas mais importantes, não apenas pelo grande volume produzido, mas também pelo seu papel socioeconômico. É matéria-prima básica para muitas aplicações, como a produção de óleo, farinha, bebidas e amido. No entanto, sua maior utilização é na produção de rações de aves e suínos, pois é considerado um alimento energético, e com alto teor de amido. Aproximadamente 70% da produção mundial de milho é destinada à alimentação animal, e pode ser de 85% em países desenvolvidos. De maneira geral, apenas 15% de toda produção mundial destina-se ao consumo humano, de forma direta ou indireta (Paes, 2006).

O milho representa um dos cereais mais utilizados na dieta de suínos, uma vez que é excelente fonte de EM, possui pouca fibra e é facilmente digerido (Prandini et al., 2011). Variações em sua composição química nas propriedades do amido e os tratamentos tecnológicos podem alterar potencialmente a digestão do amido, a digestibilidade dos nutrientes e a energia disponível, influenciando o desempenho (Svihus et al., 2005).

A utilização de valores fixos de composição nutricional do milho em programas de formulação de rações pode levar ao balanceamento inadequado das dietas, influenciando no desempenho dos animais e no custo das rações. Normalmente, o milho é conhecido como um ingrediente de composição química conhecida e padronizada, estabelecida pela média de valores e publicadas em tabelas de composição de alimentos. No entanto, podem ocorrer variações significativas nesses valores.

O grão de milho é composto por pericarpo, endosperma e embrião. O pericarpo representa cerca de 5% do peso do grão, sendo pobre em amido e proteína e rico em fibra; o endosperma representa 82% do grão e tem quantidades significativas de proteína e amido; e o embrião é rico em proteína e óleo, representando aproximadamente 13% do peso do grão.

A composição química do milho pode variar de acordo com o tipo de solo, quantidade e qualidade de fertilizante utilizado durante o cultivo, do cultivar e das condições climáticas. As condições de armazenamento também podem modificar quantitativamente e qualitativamente o valor nutricional. Carvalho et al. (2009) observaram que o milho exposto a altas temperaturas de secagem, e ao tempo prolongado de armazenamento, teve sua composição nutricional alterada.

Grãos quebrados, brotados, carunchados, chochos, contaminados por matérias estranhas e impurezas também podem alterar a composição química e energética do milho. Segundo Barbarino (2001), a qualidade dos grãos armazenados é dependente da temperatura, umidade, capacidade higroscópica dos grãos, presença de oxigênio, grau de contaminação fúngica, presença de insetos e roedores, impurezas, matérias estranhas e condições de limpeza do local de armazenamento.

De acordo com Soto-Salanova et al. (1996), o valor energético do milho é normalmente considerado constante. Porém, o aproveitamento de nutrientes do milho pode ser variável, devido a diversos fatores, principalmente à composição química. Levantamentos mostraram grandes diferenças na composição dos híbridos comercializados, com variações no EE de 2,87 a 6,87%, PB de 7,18 a 13,66% e ED de 3211 a 3567 kcal/kg (Lima, 2001).

Ao avaliarem 100 amostras de milho de diferentes regiões da China, Li et al. (2014) observaram que a composição química apresentou grande variação, destacando-se as concentrações da fibra em detergente neutro (FDN) (9,56 a 17,36%), da fibra em detergente ácido (FDA) (1,86 a 2,95%), e as concentrações de EE e amido, que apresentaram uma variação de 2,04 a 4,81% e de 53,46 a 79,80%, respectivamente. No entanto, os autores relataram que a energia bruta (EB) não apresentou grande variação (4357 a 4537 kcal/kg de MS).

Em um estudo realizado por Cantarelli et al. (2006), no qual avaliaram os milhos com maior teor de óleo (Móleo), quality protein maize (QPM), dentado (Mdent), semidentado (Msemi) e dois milhos duros (Mdur1 e Mdu2); observou-se que os valores de matéria seca (MS) e PB foram semelhantes entre os híbridos avaliados, exceto o Msemi, que apresentou um teor de PB inferior aos demais (7,69%). O EE também foi semelhante, exceto para o Móleo, que apresentou maior concentração (5,57%).

Ao avaliarem 45 híbridos de milho, Vieira et al. (2007) observaram uma variação de 32% para a PB (7,79% vs 11,45% na MS) e de 5,2% para a EB (4425 a 4668kcal/kg MS).

Da mesma forma, Li et al. (2014a) observaram que a variedade de milho influenciou o conteúdo de EB, ED e EM, assim como a digestibilidade da matéria orgânica, e o método de secagem do milho influenciou a digestibilidade do EE.

A variação na composição química do milho influencia os valores de EM que, muitas vezes, são diferentes daqueles encontrados em tabelas de composição de alimentos. Lekule et al. (1990) avaliaram diversos alimentos para suínos e concluíram

que a fibra bruta teve um efeito negativo na digestibilidade da MS e da energia dos alimentos, ocorrendo redução de 2,2% na digestibilidade da energia para cada 1% de aumento na fibra bruta do alimento.

O conteúdo de fibra bruta FDN e FDA tem um efeito negativo sobre ED e EM do alimento, pois Noblet e Henry (1993) relataram que a digestibilidade aparente da EB reduz linearmente quando o conteúdo de FDN da dieta aumenta, isso ocorre porque, aparentemente, a fibra dietética atua como um diluente.

No mesmo sentido, Li et al. (2014) observaram que os componentes fibrosos apresentaram correlação negativa com conteúdo de ED e EM, enquanto que a EB, EE e o amido apresentaram uma correlação positiva com a ED. A matriz de correlação mostrou que o conteúdo de EM do milho apresentou uma correlação positiva com a ED e o conteúdo de EE, enquanto que as cinzas e o FDN tiveram correlação negativa com a EM.

Outro fator que pode alterar a composição bromatológica, e, conseqüentemente, a composição energética do milho é a infestação por *Sitophilus zeamais*, pois, primeiramente, o inseto consome o endosperma, rico em carboidrato, podendo também influenciar o embrião devido à redução no teor de óleo e proteína, levando ao aumento no teor de fibra do grão (Passos, 2004).

A composição química e energética do milho apresentada em tabelas de composição de alimentos também mostra certas diferenças, em que o NRC (2012) propõe a EM do milho de 3395kcal/kg. Por outro lado, Rostagno et al. (2011) apresentaram valores distintos de EM para os milhos com 7,88% de PB (3340kcal/kg), com alta gordura(3582kcal/kg) e alta lisina (3409kcal/kg), determinados com suínos em crescimento.

1.2 Principais causas da variação na EM dos alimentos para suínos

A energia não é considerada um nutriente, uma vez que é liberada dos alimentos por processos metabólicos de oxidação de seus constituintes orgânicos. É obtida através da oxidação de nutrientes e utilizada para a realização de trabalho, atividade muscular e geração de calor (Fernandes e Velasque, 2014). A capacidade de controlar energia e direcioná-la é uma propriedade fundamental de todos os organismos vivos. Depois da

água, ela é o principal componente a ser considerado na composição da dieta, uma vez que a necessidade de energia é constante.

A energia proveniente da oxidação dos nutrientes, assim como a oriunda do metabolismo energético como calor produzido, é expressa em caloria ou joule. Uma caloria é definida como a quantidade de calor necessária para elevar um grama de água de 14,5 a 15,5 °C, e um joule equivale a 0,239 cal, ou seja, uma caloria é igual a 4,18 joules (Sakomura e Rostagno, 2007).

A EM é a forma normalmente utilizada em formulações de rações para suínos no Brasil, sendo obtida pela diferença entre a EB ingerida no alimento e a EB excretada (fezes e urina) e dos gases provenientes da digestão.

A EB perdida na forma de gases é baixa e tem sido desprezada nos cálculos da EM (Sakomura e Rostagno, 2007). No entanto, a perda de EB proveniente dos gases pode variar e é tipicamente baixa em dietas para suínos em crescimento e terminação (Noblet et al., 1994), mas pode ser superior a 3,0% da ED no caso de porcas alimentadas com dietas contendo alto teor de fibra bruta (Ramonet et al., 1999).

Atualmente, o uso de ingredientes com altos teores de fibra em rações para suínos aumentou a importância das perdas energéticas dos gases ao se determinar a EM dos alimentos, pois o alto teor de fibra proporciona um aumento na fermentação intestinal, assim como na síntese e perda de metano (Kil et al., 2013).

Nesse sentido, Rostagno et al. (2011) propuseram valores de EM diferenciados para suínos em crescimento e porcas, apresentando valores de 3340 e 3405 kcal EM/kg, respectivamente, para o milho com 7,88% de PB.

A quantidade e a qualidade da proteína da dieta também podem influenciar a EM. De acordo com o NRC (2012), a EB da urina é o principal fator que define a proporção de ED convertida em EM. Esta perda de energia na urina é principalmente proveniente do nitrogênio excretado, principalmente ureia e, de acordo com Le Goff e Noblet (2001), a relação EM:ED pode ser estimada a partir do conteúdo de PB digestível, em que $EM:ED = 100,3 - (0,021 \times CP)$.

Além de ser influenciada pela composição nutricional da dieta, a EM é também influenciada pelo peso corporal dos suínos (Kil et al., 2013). De acordo com Le Goff e Noblet (2001), além da composição química do alimento, fatores relacionados ao animal (idade, peso, sexo, estado fisiológico e o genótipo) estão entre os que podem modificar a digestibilidade da energia e dos nutrientes de um alimento. Os autores

relataram ainda que os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes e da energia aumentam em função do aumento no peso do animal.

O conceito de EM efetiva estabelecido pelo NRC (2012) propõe fatores de conversão fixos para se converter a ED em EM efetiva, diferenciando estes fatores de acordo com as fases de produção, sendo eles 0,96; 0,97 e 0,974 para suínos na fase inicial, em crescimento e terminação, e para porcas, respectivamente. No entanto, na última edição não foram apresentados valores diferenciados de EM dos alimentos em função da idade, uma vez que a quantidade de dados publicados foi considerada insuficiente para justificar uma diferenciação por estágio de produção.

1.3 Fatores que influenciam a digestibilidade dos nutrientes em leitões

O desenvolvimento do trato gastrointestinal é um processo muito complexo, que inicia durante o período pré-natal e continua após o nascimento dos leitões. A dieta é o fator mais importante na modulação da estrutura e nas funções do intestino. O período de desmame está associado com o desenvolvimento da microflora intestinal, que exerce também um efeito no desenvolvimento do intestino. O grau de desenvolvimento intestinal influencia a digestibilidade dos nutrientes, eficiência alimentar e imunidade, o que influencia a produção (Barszcz e Skomial, 2011).

O trato gastrointestinal do neonato enfrenta mudanças e um severo estresse fisiológico durante o período pós-natal, principalmente no momento do nascimento e desmame. Ao nascimento o trato gastrointestinal é exposto, pela primeira vez, aos nutrientes do colostro e a vários microrganismos. Após o desmame, o ambiente intestinal sofre uma grande mudança devido à substituição de um alimento altamente digestível, o leite materno, por uma dieta sólida de origem vegetal, e isso causa uma subalimentação temporária.

Nesse período de transição, é comum que os animais não consumam ração suficiente para atender sua exigência, por isso podem perder peso até que se adaptem a este tipo de dieta. Estudos comportamentais relatam que, embora a maioria dos animais comece a comer até cinco horas após o desmame, alguns animais chegam a levar até 54 horas para se alimentar (Le Dividich e Sève, 2000).

Nesta transição, o trato gastrointestinal tem que se adaptar ao novo tipo de alimento, que causa mudanças na motilidade intestinal, na secreção e atividade

enzimática, e na composição da flora bacteriana (Xu et al., 2000). Contudo, alguns animais não se adaptam a essas mudanças, o que causa uma redução no crescimento, diarreia e a morte.

O desmame é uma fase crítica no desenvolvimento do animal e geralmente é realizado entre a terceira e quarta semana de vida, quando a maioria dos nutrientes é proveniente do leite materno. Após o desmame pode ocorrer a mistura dos animais de diferentes leitegadas e, algumas vezes, estes animais ainda serão transportados de uma região para outra. Isso resulta em estresse social, ambiental e ainda ocorre o estresse pela mudança na alimentação (Barszcz e Skomial, 2011).

Segundo Freitas et al. (1995), o estresse provocado pela separação brusca dos leitões jovens de suas mães pode resultar em decréscimos no consumo de ração e no ganho de peso das leitegadas. Provavelmente seja uma consequência do estabelecimento de nova ordem social entre os animais, alterações no ecossistema do leitão e mudanças na forma e na fonte de alimento, que, com o desmame, passa de uma forma líquida, altamente digestível, para sólida, de menor digestibilidade.

Mudanças nos parâmetros histológicos (atrofia das vilosidades e hiperplasia das criptas) e atividade enzimática do intestino delgado de leitões estão associadas com o período de desmame. Estas modificações são a causa da reduzida digestão e absorção dos nutrientes, contribuindo para que o animal possa apresentar diarreia. A atrofia das vilosidades pode ser resultado de um aumento na taxa de perda de células, levando a uma alta taxa de mitose nas criptas, o que causa a hiperplasia destas criptas, ou a menor taxa de renovação celular causada por uma redução das divisões celulares (no caso de uma subalimentação). Ambos os casos são possíveis, mas o primeiro exerce um maior efeito na estrutura intestinal do leitão (Pluske et al., 1997).

As mudanças morfológicas no intestino delgado de leitões, após o desmame, são acompanhadas por uma menor atividade das enzimas da borda em escova, lactase e sacarase (Pacha, 2000). Segundo Kelly et al. (1991), após o desmame ocorre o aumento da atividade da enzima maltase e redução da atividade da enzima lactase.

Cerca de 70% a 80% da energia consumida por leitões desmamados provém dos amidos de cereais. No entanto, leitões desmamados precocemente apresentam dificuldade em digerir o amido, em função da baixa atividade da enzima amilase (Lindemann et al., 1986).

Uma característica do estresse é o rápido declínio na atividade das enzimas pancreáticas, resultando em uma redução significativa na digestibilidade aparente dos

nutrientes na primeira semana após o desmame (Le Dividich e Seve, 2000). Ocorre também uma mudança qualitativa na composição do suco pancreático. As hidrolases do tipo fetal são substituídas por suas novas isoformas e novas enzimas hidrolíticas iniciam suas atividades, como a protease E e a elastase I (Westrom et al., 1997). São necessárias aproximadamente duas semanas para restaurar a atividade das enzimas, no entanto, este período depende da fonte de proteínas na dieta e da quantidade de alimento ingerido (Barszcz e Shomial, 2011).

Devido a estes fatores fisiológicos o desmame é uma etapa crítica, na qual a digestibilidade da energia e dos nutrientes podem ser alterados. Após o desmame deve-se fornecer uma dieta que maximize o crescimento dos leitões e, para isso, é preciso ter conhecimento das limitações biológicas destes animais, para que sua dieta não seja formulada incorretamente.

Ao avaliarem a ED de duas variedades de arroz, em suínos com peso de 8,0 e 55,0 kg, Kim et al. (2006) observaram que a variedade de arroz não influenciou o conteúdo de ED, porém, o peso dos animais influenciou o conteúdo de ED do arroz, em que os animais mais pesados apresentaram melhor aproveitamento da EB em relação aos animais mais leves. Segundo os autores, isso provavelmente ocorreu porque nos animais recém-desmamados o intestino grosso está menos desenvolvido, conseqüentemente, a fermentação do alimento foi menor, e/ou pode ter ocorrido redução da digestão ileal do amido, devido à baixa secreção enzimática pancreática e/ou baixa atividade das enzimas da borda em escova.

Utilizando suínos com cânulas ileais, para determinar a digestibilidade ileal aparente dos aminoácidos em animais de 20,6 e 61,7 kg, Nitrayová et al. (2013) concluíram que os coeficientes de digestibilidade ileal dos animais foram maiores para os animais mais pesados, com uma diferença de aproximadamente 7%, exceto para a metionina e fenilalanina.

Avaliando os efeitos do processamento térmico sobre a ED e digestibilidade dos nutrientes da soja integral para leitões ($17,1 \pm 0,2$ kg), animais em crescimento ($32 \pm 0,2$ kg) e terminação ($61,6 \pm 0,3$ kg), Marty e Chavez (1993) concluíram que a digestibilidade da MS e da FDN foi menor para os leitões em relação aos animais em crescimento e terminação. No entanto, os valores de ED e a digestibilidade aparente da PB e do EE não foram influenciados pelo peso dos animais.

1.4 Equações de predição dos valores energéticos de alimentos para suínos

As equações de predição podem aumentar a precisão no processo de formulação de rações, por meio da correção dos valores energéticos dos alimentos, buscando rações que proporcionem o máximo desempenho dos animais, de forma econômica.

Em função das condições climáticas, da espécie e variedade de grão, da origem, do armazenamento e do processamento a que os ingredientes são submetidos, variações nos valores de composição química dos alimentos são esperadas (Santos et al., 2005). Estas variações enfatizam a importância do conhecimento da composição química e precisão dos valores energéticos dos alimentos (Eying et al., 2009)

A composição química e os valores energéticos dos alimentos são normalmente obtidos com o auxílio de tabelas de composição de alimentos (Rostagno et al., 2011, NRC, 2012), no entanto, estes valores podem sofrer alterações, levando a formulações que possam superestimar ou subestimar o valor energético da ração, o que pode causar perdas para a indústria suinícola. Por outro lado, submeter toda matéria-prima utilizada a ensaios *in vivo* torna-se oneroso e inviável.

Os valores energéticos dos alimentos podem ser determinados através de métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos requerem utilização de uma bomba calorimétrica e de ensaios metabólicos, sendo estas metodologias trabalhosas, demoradas e dispendiosas, o que dificulta sua utilização na indústria suinícola (Zonta et al., 2006; Pozza et al., 2008). Também foram propostos métodos *in vitro*, mas sua precisão e repetibilidade continuam sendo insuficientes (Noblet e Perez, 1993).

Em contrapartida, um método indireto que pode ser utilizado é o uso de equações de predição dos valores energéticos dos alimentos, que são modelos matemáticos desenvolvidos para estimar o valor energético de um alimento a partir da sua composição química, obtida rotineiramente em laboratórios, sendo considerada uma alternativa rápida, prática e econômica na avaliação nutricional dos alimentos (Zonta et al., 2006).

É desejável que as equações de predição possuam de duas a quatro variáveis independentes, o que proporciona maior rapidez e a realização de um menor número de análises laboratoriais (Pozza et al., 2008).

Neste sentido, Pozza et al. (2008) desenvolveram equações de predição para estimar os valores energéticos de farinha de carne e ossos para suínos, e as equações que apresentaram o maior R^2 (0,98) para estimar os valores de ED foram $ED = 1196,11$

+ 44,18 PB – 121,55 P e ED = 6128,47 – 65,88 EE – 103,01 Ca – 165,41 P. No entanto, os autores relataram que as equações ED = 5724,70 – 80,10 EE – 70,26 MM e ED = 333,45 + 54,12 PB – 9,52 MM, embora com menor R² (0,96), também podem ser utilizadas, pois proporcionam maior praticidade na realização das análises laboratoriais.

Por outro lado, as equações de predição precisam apresentar acurácia na estimativa dos valores energéticos, devendo ser validadas, para a utilização mais eficiente.

Utilizando sete diferentes farinhas de carne e ossos, com o objetivo de ajustar e validar modelos para prever os valores de EM para suínos, com um conjunto de dados independentes obtidos na literatura brasileira e internacional, Castilho (2012) ajustou e validou as equações, EM = -4233,58 + 0,4134EB + 72PB + 89,62MM – 159,06Ca; EM = 2087,49 + 0,3446EB + 31,82MM – 189,18Ca; EM = 2140,13 + 0,3845EB – 112,33Ca; EM = -346,58 + 0,656EB; EM = 3221,27 + 178,96EE – 76,55MM e EM = 5356,45 – 84,75MM, porém, estas são válidas para prever os valores de EM das farinhas de carne e ossos obtidas na literatura brasileira.

Com o objetivo de validar 41 modelos de predição dos valores de EM do milho para suínos, utilizando um conjunto de dados independentes obtidos na literatura brasileira, Pelizzeri et al. (2013) concluíram que os modelos EM = 1,099 + 0,740 EB - 5,5 MM - 3,7 FDN; EM = 16,13 - 9,5 FDN + 16 EE + 23 PB*FDN – 138 MM*FDN e EM = 5,42 - 17,2 FDN - 19,4 MM + 0,709 EB foram os mais adequados para estimar os valores de EM do milho e podem ser utilizados como ferramenta para formulação de rações para suínos.

Com intuito de ajustar equações para prever os valores de ED e EM do farelo de soja, Kang et al. (2004) desenvolveram dois experimentos. No primeiro, foram utilizados oito farelos de soja, e através destes foram ajustadas oito equações de predição, no segundo experimento foram utilizados outros seis farelos de soja, com o objetivo de comparar os valores de ED e EM obtidos a partir de ensaios de metabolismo com os valores estimados através das equações geradas no primeiro experimento. Os autores concluíram que as melhores equações ajustadas para prever a ED e EM (MJ/kg MS) foram ED = 25,3 – 0,70MM + 2,59Ca – 0,22EE + 0,41LDA – 0,099ENN (R²=0,98); EM = 25,0 – 0,65MM + 0,12FDA – 0,16ENN – 0,059CHOs (R²=0,98).

Com o objetivo de determinar os valores de EM de seis cultivares de milho, dois cultivares de sorgo e dois farelos de trigo, para suínos em crescimento, e validar modelos de predição de EM a partir de dados de composição química e energética

destes alimentos, disponibilizados na literatura nacional e internacional, Langer (2013) concluiu que os modelos que apresentam a ED como variável independente não são os mais indicados, pois requerem a realização de experimento.

Utilizando 114 dietas, Noblet e Perez (1993) também ajustaram modelos para prever a EM que utilizam como variável independente a ED ($EM = 0,997ED - 0,68PB + 0,23EE$, $R^2=0,99$), no entanto, no mesmo trabalho também foram gerados modelos que não utilizam a ED como variável independente ($EM = 4.334 - 8,1MM + 4,1EE - 3,7FDN$, $R^2=0,91$).

Conforme relatado, as equações de predição apresentam-se como uma ferramenta para aumentar a acurácia no processo de formulação de rações, não somente para determinar o valor energético dos alimentos, mas também para realizar os ajustes necessários de acordo com a variação da composição dos alimentos, principalmente de proteína, gordura e fibra dos ingredientes (Sakomura e Rostagno, 2007). No entanto, é necessário que sejam ajustados modelos de predição dos valores de EM específicos para leitões, em virtude da reduzida capacidade de digestão e da necessidade de se ajustar equações para as fases iniciais da vida dos suínos.

1.5 Referências

BARBARINO JR. P. **Avaliação da qualidade nutricional do milho pela utilização de técnicas de análise uni e multivariadas**. 2001, 161 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

BARSZCZ, M.; SKOMINAL, J. The development of the small intestine of piglets - chosen aspects. **Journal of Animal and Feed Sciences**, 20(5): 3–15, 2011.

CANTARELLI, V. S. et al. Composição química, vitreosidade e digestibilidade de diferentes híbridos de milho para suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, 31(3):860-864, 2006.

CASTILHO, R, A. **Determinação dos valores energéticos de farinhas de carne e ossos para suínos, ajuste e avaliação de modelos de predição da energia**

metabolizável. 2012, 55 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2012

CARVALHO, D.C. O. et al. Coeficiente de digestibilidade verdadeira dos aminoácidos e valores de aminoácidos digestíveis do milho submetido a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 38 (5): 850-856, 2009.

EWANS, R.C. Energy utilization in swine nutrition. In: MILLES, E.R., ULREY, D.E., LEWIS, A.J. **Swine nutrition**. Burtterworth- Heinemann,, 121 -132, 1991.

EYING, C. et al. Composição química e valores energéticos de cultivares de milho para aves. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 10(1):60-72, 2009.

FERNANDES, M. H. M. R.; VELASQUEZ, P. A. T. Metabolismo Energético, In: SAKOMURA, N. K. et al. Nutrição de não ruminantes. Jaboticabal: FUNEP, 2014. v.1, p.77-94.

FREITAS, H.T., FERREIRA, A.S., LUDWIG, A. Manejo de desmame precoce de leitões. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32, 1995, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: SBZ, 1995. p.432-433.

KANG, Y. et al. Determination and prediction of digestible and metabolisable energy of dehulled and regular soybean meals of pigs. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, 3 (11):740-748, 2004.

KELLY, D.; SMYTH, J. A.; MCCRACKEN, K.J. Effect of continuous nutrient supply on the development of the digestive tract and on changes in digestive enzyme activity during the first week post-weaning. **British Journal of Nutrition**, 65:169-180, 1991.

KIL, D. Y.; KIM, B. G.; STEIN, H.H. Feed energy evaluation for growing pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 26 (9):1205-1217, 2013.

KIM, J. C. et al. The digestible energy and net energy content of two varieties of processed rice pigs of different body weight. **Animal Feed Science and Technology**, 134:316-325, 2006.

LANGER, C. N. **Energia metabolizável de alimentos energéticos para suínos: predição via meta-análise, determinação e validação por simulação *bootstrap***. 2013. 101 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2013.

LE DIVIDICH, J.; SE'VE, B. Effects of underfeeding during the weaning period on growth, metabolism, and hormonal adjustments in the piglet. **Domestic Animal Endocrinology**, 19(2):63–74, 2000.

LE GOFF, G.; NOBLET, J. Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. **Journal of Animal Science** 79(1):2418–2427, 2001.

LEKULE, F.P.; JORGENSEN, H.; FERNANDEZ, J.A. et al. Nutritive value of some tropical feedstuffs for pigs. Chemical composition, digestibility and metabolizable energy content. **Animal Feed Science and Technology**, 28:91-101, 1990.

LI, Q. et al. Predicting corn digestible and metabolizable energy content from its chemical composition in growing pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 5(11): 2-8, 2014.

LI, Q. et al. Effect of variety and drying method on the nutritive value of corn for growing pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 5 (18): 2-7, 2014a.

LIMA, G. J. M. M. et al. Composição química de híbridos comerciais de milho na safra de 1999/2000. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas. Supl 3 : 42, 2001.

LINDEMAN, M. D. et al. Effect of age, weaning and diet on digestive enzymes levels in the piglet. **Journal of Animal Science**, 62:1298-1307, 1986.

MARTY, B, J.; CHAVEZ, E. R. Effects of heat processing on digestible energy and other nutrient digestibilities of full-fat soybeans fed to weaner, grower and finisher pigs. **Canadian Journal of Animal Science**, 73: 411-419, 1993.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of swine**. 11 ed. Washington, DC: National Academy, 400p. 2012.

NITRAYOVA, S.; BRESTENSKY, M.; PATRAS, P. et al. The effect of body weight of pigs on true and apparent ileal amino acids digestibility of rye. **Journal of microbiology, biotechnology and food sciences**, 2 (special issue 1): 1510-1516, 2013.

NOBLET, J.; HENRY, Y. Energy evaluation systems for pig diets: a review. **Livestock Production Science**, 36(2): 121-141, 1993.

NOBLET, J.; PEREZ, J. M. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. **Journal of Animal Science**, 71: 3389-3398, 1993.

NOBLET, J. et al. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. **Journal of Animal Science**, 72: 344-354, 1994.

PÁCHA, J. Development of intestinal transport function in mammals. **Physiological Reviews**, Prague, 80 (4): 1633-1667, 2000.

PAES, M. C. D. **Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho**. EMBRAPA Milho e Sorgo, Circular Técnica 75, Sete Lagoas, ed. 1, 2006.

PASSOS, A. A. **A variabilidade da composição nutricional do milho e seus efeitos no custo de dietas para suínos**. 2004. 54 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2004.

PELIZZERI, R. N. et al. Avaliação de modelos de predição da energia metabolizável do milho para suínos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 65 (2): 460-468, 2013.

PLUSKE, J. R.; HAMPSON, D. J.; WILLIAMS, I. H. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. **Livestock Production Science**, 51: 215-236, 1997.

POZZA, P. C. et al. Composição química, digestibilidade e predição dos valores energéticos da farinha de carne e ossos para suínos. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, 30 (1): 33-40, 2008.

POZZA, P. C. et al. Determinação e predição de valores energéticos de silagem de grãos úmidos para suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, 34 (1): 226-232, 2010.

PRANDINI, A. et al. High-protein maize in diets for growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, 165 (1-2): 105–110, 2011.

RAMONET, Y.; MEUNIER-SALAU, M. C.; DOURMAD, J. Y. High-fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on the behavior of the animals. **Journal of Animal Science**, 77:591–599, 1999.

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

SANTOS, Z. A. S. et al. Valor nutricional de alimentos para suínos determinado na Universidade Federal de Lavras. **Ciência e Agrotecnologia**, 26 (1):232-237, 2005.

SAKOMURA, N.K; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Editora Funep, 2007. 283p.

SOTO-SALANOVA. et al. Uso de enzimas em dietas de milho e soja para frangos de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1996, Curitiba. **Anais...**Curitiba:Facta, 1996. p.71-76.

SVIHUS, B.; UHLEN, A.K.; HARSTAD, O.M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. **Animal Feed Science and Technology**, 122 (3-4):303–320, 2005.

VIEIRA, R. O. et al. Composição química e energia metabolizável de híbridos de milho para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 36 (4):832-838, 2007.

XU, R. J.; WANG, F.; ZHANG, S. H. Postnatal adaptation of the gastrointestinal tract in neonatal pigs: a possible role of milk-borne growth factors. **Livestock Production Science**, 66(1):95–107, 2000.

ZONTA, M. C. M. et al. Energia metabolizável de farinhas de soja ou produtos de soja, determinada pelo método de coleta total e por equações de predição. **Archivos de zootecnia**, 55 (209): 21-30, 2006.

WESTROM, B. R.; OHLSSON, B.; KARLSSON, B. W. Development of porcine pancreatic hydrolases and their isoenzymes from the fetal period to adulthood. **Pancreas**, 2 (5):589-596 , 1987.

II. OBJETIVOS GERAIS

Determinar a composição química e energética de diferentes cultivares de milho para leitões.

Ajustar modelos para prever a energia metabolizável do milho para leitões em função da composição química.

III. VALORES ENERGÉTICOS E AJUSTE DE EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL DO MILHO PARA LEITÕES

Resumo - O milho é um dos principais alimentos utilizados em rações para suínos, mas pode apresentar variações na composição química e, conseqüentemente, nos valores de energia metabolizável (EM), demandando métodos de determinação dos valores de EM que proporcionem maior rapidez e precisão ao se formular rações para leitões. Os objetivos deste trabalho foram determinar os valores energéticos e ajustar equações de predição de EM do milho para leitões. Foram realizados dois experimentos para determinar os valores de EM de 18 cultivares de milho. Nos experimentos 1 e 2 foram avaliados milhos de 2ª e 1ª safras, respectivamente. Foram realizadas as análises de matéria seca (MS), amido (AMI), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), cálcio (Ca), fósforo (P) e energia bruta (EB) dos milhos. Para a determinação dos valores energéticos foram utilizados 40 animais em cada experimento, distribuídos em um delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. Os valores de EM dos milhos da 1ª e 2ª safra variaram de 3281 a 3509 e de 3143 a 3652 kcal/kg MN, respectivamente. As equações ajustadas para predizer a EM apresentarão baixo R². Concluiu-se que as equações com melhor ajuste para estimar a EM do milho, para leitões, foram $EM = -6306,15 + 400,652FDA + 117,286AMI + 24924,7Ca + 2489,66P - 148,406PB$ (R²=0,44), para os milhos de 1ª safra; $EM = -7560,08 + 2,66895EB - 120,688FDA$ (R²=0,48), para os milhos de 2ª safra; e para o período completo de safras foi ajustada a equação $EM = 2848,95 + 68,5714FDN + 161,938EE - 5563,51Ca - 1454,15P$ (R²=0,41).

Termos para indexação: Coeficiente de metabolizabilidade, energia do milho, nutrição de suínos.

III. ENERGY VALUES OF CORN AND FIT OF METABOLIZABLE ENERGY PREDICTION EQUATIONS FOR PIGLETS

Abstract: Corn is one of the primary ingredients in swine diets, but it may vary in chemical composition and in metabolizable energy (ME), demanding methods to determine the ME values that provide faster and more accurately results when formulating diets for piglets. The aims of this study were to determine energy values of corn and fit prediction equations of ME for piglets. Two experiments were accomplished to determine ME values of 18 corn varieties. In experiments 1 and 2 corns of 2nd and 1st crops were evaluated, respectively. The analysis of dry matter (DM), starch (ST), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), crude protein (CP), ether extract (EE), ash, calcium (Ca), phosphorus (P) and gross energy (GE) were performed for the referred corns. To determine the energy values, 40 piglets were used in each experiment, allotted in a randomized blocks design with four replicates. The ME values of corns from 2nd and 1st crops ranged from 3281 to 3509 and from 3143 to 3652 kcal/kg NM, respectively. The fitted equations to predict the ME presented a low R². It is concluded that the better fit to predict the ME of corn for piglets are represented by $ME = -6306.15 + 400.652ADF + 117.286ST + 24924.7Ca + 2489.66P - 148.406CP$ (R²=0,44), for 1st corn crop; $ME = -7560.08 + 2.66895GE - 120.688ADF$ (R²=0,48), for 2nd corn crop; and for joint crops was fitted the equation $ME = 2848.95 + 68.5714NDF + 161.938EE - 5563.51Ca - 1454.15P$ (R²=0,41).

Index terms: Coefficient of metabolizability, corn energy, swine nutrition.

INTRODUÇÃO

O milho é um dos principais alimentos utilizados em rações para suínos, pois é altamente cultivado e tem um alto valor nutricional em relação a outros grãos. Em uma dieta à base de milho e farelo de soja, para suínos em crescimento, aproximadamente 50 a 70% da energia metabolizável (EM) é provinda do milho (Kil et al., 2014). No entanto, o valor energético e a composição química podem apresentar variações devido a fatores como a variedade cultivada, a época de cultivo, o processamento e o armazenamento.

Neste sentido, Alves et al. (2014), trabalhando com diferentes variedades de milho, concluíram que, quanto maior a produtividade do cultivar, menor a concentração de extrato etéreo (EE) e maior a concentração de amilose. A relação amilose/amilopectina do amido e a quantidade de EE contida no grão de milho podem alterar o valor energético e o aproveitamento dos nutrientes pelos suínos.

Os valores energéticos utilizados em formulações de rações para suínos são normalmente obtidos de tabelas de composição de alimentos (NRC, 2012; Rostagno et al., 2011), contudo, são valores médios estimados a partir de vários estudos.

Para se formular rações mais eficientes, é necessário o conhecimento adequado dos valores energéticos dos alimentos, que podem ser determinados por meio de métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos ou convencionais requerem a utilização de um calorímetro e de ensaios metabólicos, sendo metodologias trabalhosas, demoradas e dispendiosas e, em contrapartida, como método indireto, surgem as equações de predição, que são baseadas na composição proximal dos alimentos obtidas rotineiramente em laboratórios, considerada uma alternativa rápida, prática e econômica na avaliação nutricional dos alimentos (Zonta et al., 2006).

Os valores de energia digestível (ED) e EM dos alimentos apresentados por Rostagno et al. (2011) foram determinados com animais em crescimento, entre 20 e 75 kg. Porém, leitões e animais em crescimento e terminação apresentam diferenças no trato gastrointestinal e na digestibilidade dos nutrientes, pois, de acordo com Le Goff e Noblet (2001), o desenvolvimento de uma maior capacidade digestiva está relacionada com o aumento do peso dos suínos. Com isso, o uso de valores energéticos obtidos com animais em crescimento e terminação pode não ser adequado para a formulação de dietas para leitões.

Dessa forma, é necessário que sejam determinados os valores de EM do milho e ajustados modelos de predição específicos para leitões. Os objetivos deste trabalho foram o de determinar a composição química e energética de diferentes cultivares de milho para leitões, assim como ajustar modelos para prever valores de EM do milho para leitões em função da composição química.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos na sala de metabolismo de suínos da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá (UEM), localizada no Estado do Paraná (23°21'S, 52°04'W, a 564m de altitude). Os experimentos foram realizados de março a outubro de 2014.

Foram avaliados 18 cultivares de milho, sendo nove provenientes da 1ª safra (experimento 2) e outros nove provenientes da 2ª safra (experimento 1). Os cultivares de milho foram obtidos de diferentes regiões, com o objetivo de obter maior variabilidade na composição química.

Em cada experimento foram utilizados 40 leitões mestiços (Tybor x Topigs 20), machos castrados, com peso médio inicial de $8,75 \pm 0,22$ kg (experimento 2) e $9,48 \pm 0,06$ kg (experimento 1), alojados em gaiolas de metabolismo semelhantes às descritas por Pekas (1968) e distribuídos em delineamento experimental de blocos ao acaso, com dez tratamentos e quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída por um animal. Na formação dos blocos foram considerados o peso inicial e o parentesco dos animais.

Os animais foram desmamados com 21 dias de idade e alojados na creche por mais 13 dias. Em seguida foram distribuídos e alojados individualmente em gaiolas metabólicas, localizadas em uma sala parcialmente climatizada que continha um termohigrômetro. A média de temperaturas mínima e máxima registradas no experimento 1 foi de $19,91 \text{ °C} \pm 2,34$ e $22,79 \text{ °C} \pm 2,79$, respectivamente, e a média da umidade relativa variou entre $39,25\% \pm 12,48$ e $51,85\% \pm 12,95$. No experimento 2, a média de temperaturas mínima e máxima foi de $21,20 \text{ °C} \pm 2,13$ e $25,42 \text{ °C} \pm 2,34$, respectivamente, e a média da umidade relativa variou entre $28,75\% \pm 8,18$ e $38,23\% \pm 11,99$.

Os cultivares de milhos avaliados substituíram em 25% a ração referência (Tabela 1) formulada à base de milho, farelo de soja, soro de leite em pó, leite integral em pó, farinha de peixe, açúcar, óleo de soja, vitaminas, minerais, aminoácidos e aditivos, para atender, no mínimo, às exigências nutricionais propostas pelo NRC (2011).

Tabela 1 - Composição centesimal da ração referência

Alimento	%
Milho	61,62
Farelo de Soja	20,64
Soro de Leite em Pó	5,00
Leite Integral em Pó	3,00
Farinha de Peixe 60%	3,00
Açúcar	2,00
Óleo de Soja	1,60
Calcário	0,83
Sal Comum	0,50
Fosfato Bicálcico	0,46
Mistura Vitamínica e Mineral ¹	0,50
L-lisina HCl	0,50
L-triptofano	0,02
DL-metionina	0,17
L-treonina	0,13
Leucomag	0,02
BHT	0,01
Composição Calculada (%)	
Energia Metabolizável (kcal/kg)	3350
Proteína Bruta	18,00
Cálcio	0,70
Fósforo Disponível	0,33
Cloro	0,55
Sódio	0,28
Potássio	0,71
Lisina digestível	1,23
Metionina + Cistina digestível	0,68
Metionina digestível	0,44
Triptofano digestível	0,20
Treonina digestível	0,73
Arginina digestível	0,87

¹Suplementação de vitaminas, minerais e aditivos por kg de produto: Vit A - 2000000 UI; Vit D3 - 400000 UI; Vit E - 4000 UI; Vit B1 - 392mg; Vit B2 - 853 mg; Vit B6 - 396 mg; Vit B12 - 5333 mcg; Vit K3 - 485 mg; Pantotenato de Cálcio - 3166 mg; Niacina - 6533mg; Ácido Fólico - 106 mg; Biotina - 26 mg; BHT - 2000 mg; Zinco - 20 g; Ferro - 15 g; Manganês - 10,40 mg; Cobre - 2400 mg; Iodo - 165 mg; Cobalto - 27 mg; Selênio 60 mg; e Veículo Q.S.P. - 1000 g.

O milho utilizado na ração referência e os 18 diferentes cultivares de milho avaliados foram moídos em moinho do tipo martelo com peneira com furos de 2,5 mm de diâmetro.

A quantidade de ração fornecida diariamente foi calculada com base no peso metabólico ($\text{kg}^{0,75}$) de cada animal e no consumo médio registrado no período de adaptação. Para evitar perdas e facilitar a ingestão, as rações foram umedecidas com água, em aproximadamente 30% da ração, e fornecidas quatro vezes ao dia (7h30, 10h30, 13h30 e 16h).

Após cada refeição, a água foi fornecida no próprio comedouros na proporção de 5 mL de água/g de ração, para evitar excesso de consumo de água e não comprometer o consumo de ração.

O período experimental teve duração de 12 dias, sendo sete dias de adaptação dos animais às gaiolas de metabolismo e às rações, e cinco dias de coleta de fezes e urina.

Para determinar o período inicial e final de coleta de fezes, foi realizada a adição de 2% de óxido férrico (Fe_2O_3) às rações. As fezes foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em congelador ($-18\text{ }^\circ\text{C}$). Ao final deste período, cada amostra foi descongelada, homogeneizada e uma alíquota de 300g foi retirada e seca em estufa de ventilação forçada ($55\text{ }^\circ\text{C}$), por 72 horas. Posteriormente as amostras foram moídas.

A urina foi filtrada e colhida diariamente em baldes plásticos contendo 20 mL de HCl 1:1, para evitar volatilização de nitrogênio e proliferação bacteriana. Foram retiradas alíquotas de 10% do volume total e acondicionadas em frascos plástico, identificados por animal e armazenados em geladeira ($3\text{ }^\circ\text{C}$) para, posteriormente, realizar as análises de energia bruta.

A composição química dos cultivares de milho foi determinada no Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal da UEM (LANA-DZO/UEM). Foram realizadas as análises de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), energia bruta (EB), fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN), matéria mineral (MM) e fósforo (P), conforme metodologias descritas por Silva e Queiroz (2005). A análise de amido (AMI) foi realizada pelo método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2005).

As análises de cálcio (Ca) foram realizadas no Laboratório de Nutrição do Departamento de Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, pelo método de titulometria com EDTA.

Os valores de EB dos cultivares de milho, ração referência, fezes e urina, foram determinados no Complexo de Centrais de Apoio a Pesquisa – COMCAP, por meio de calorímetro adiabático (Parr ® Instrument Co. AC6200), segundo os procedimentos descritos por Silva e Queiroz (2005).

Foram determinados os valores de energia digestível (ED), energia metabolizável (EM), coeficientes de digestibilidade da energia bruta (CDEB) e de metabolizabilidade da energia bruta (CMEB), assim como a relação EM:ED de cada cultivar.

Os CDEB e CMEB dos cultivares de milho foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, avaliados pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Os ajustes dos modelos de regressão linear simples e múltipla aos dados de EM dos milhos foram divididos em período de 1^a e 2^a safras e analisados separadamente. Para o ajuste dos modelos foram utilizados os valores na MS, de EB, PB, EE, MM, AMI, FDN, FDA, Ca e P, como regressoras (modelo completo). Posteriormente os modelos foram ajustados utilizando os valores de EB, PB, EE, MM e FDN como regressoras.

Para o ajuste das equações de predição dos valores de EM, foi utilizado o procedimento de regressão linear simples e múltipla, através de técnicas de eliminação indireta (*Backward*), utilizando-se o Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG), desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2007).

O critério principal para a seleção das regressoras foi a significância dos parâmetros dos modelos de regressão pelo teste t parcial. Os parâmetros não significativos foram retirados do modelo e a análise foi reprocessada.

A estimação dos parâmetros dos modelos de regressão foi feita utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários. Foi adotado o nível de significância de 0,05 em todos os testes de hipóteses.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A MS apresentou uma variação de 87,23 a 89,22% e de 85,77 a 88,23% para a os milhos de 1ª e 2ª safras, respectivamente. Esses valores assemelham-se aos obtidos por Castilha et al. (2011), que obtiveram uma variação de 86,29 a 89,04% ao avaliarem quatro cultivares de milho. De modo similar, Rostagno et al. (2011) propuseram um valor médio de 87,48% de MS, enquanto o NRC (2012) apresentou um teor de 88,31%. Os autores supracitados não fizeram menção ao período de colheita e/ou plantio do milho, mas observam-se alterações tanto nos valores médios quanto na amplitude de variação em função da safra (Tabela 2).

Diferentes amplitudes de variação e valores médios também foram observados para o teor de amido em função das safras avaliadas (Tabela 2), o coeficiente de variação (CV) obtido para os cultivares da 1ª safra foi de 1,30%, já para os da 2ª safra foi de 0,90%. Li et al. (2014) observaram uma variação de 53,46 a 79,80% ao avaliarem 100 amostras de milho obtidas de diferentes regiões da China. No entanto, os resultados obtidos assemelham-se aos apresentados pelo NRC (2012) e Rostagno et al. (2011), que são de 62,55 e 62,66%, respectivamente. Esta variação no conteúdo de amido entre as safras é de fundamental importância e deve ser considerado, uma vez que colabora efetivamente com o valor energético bruto do milho.

O valor máximo e mínimo de FDN obtidos para os milhos de 2ª safra foram de 11,34 e 12,50%, respectivamente. Na 1ª safra esta variação foi ainda mais expressiva (10,19 a 12,78%), no entanto, os valores médios foram semelhantes entre as safras. Os valores de FDN obtidos condizem com o proposto por Rostagno et al. (2011), que é de 11,93%. Por outro lado, Eyng et al. (2009) avaliaram oito cultivares de milho e observaram altos níveis de FDN e grande amplitude de variação (14,39 a 17,65%). Da mesma forma, Nagata et al. (2004) encontraram altos níveis de FDN (14,13 a 15,90%) e Li et al. (2014) observaram grande amplitude de variação (9,56 a 17,36% na MS).

A FDA (Tabela 2) também foi semelhante aos valores médios de 2,28 e 3,38% apresentados pelo NRC (2012) e Rostagno et al. (2011), respectivamente, exceto para o milho 4 da 1ª safra. Porém, Rodrigues et al. (2001) também encontraram um alto teor de FDA (5,13%) e Landoni et al. (2013), por sua vez, trabalhando com uma variedade mutante de milho (Impa I), observaram uma baixa FDA (2,09%). O CV obtido para os cultivares da 1ª safra (7,49%) foi menor que o obtido para os cultivares da 2ª safra (12,77%).

De maneira geral, observam-se expressivos coeficientes de variação das frações fibrosas do milho. Estas frações devem ser levadas em consideração ao se avaliar alimentos para suínos, uma vez que o alto teor de fibra proporciona um aumento na fermentação intestinal, assim como aumento na síntese e perda de metano pelo intestino (Kil et al., 2013).

Tabela 2. Composição química de cultivares de milho da 1ª e 2ª safras, em porcentagem da matéria natural.

Parâmetros	1ª Safra									Média	CV%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Matéria Seca	88,27	88,35	87,92	87,64	87,23	87,24	88,26	87,80	89,22	87,99	0,70
Amido	62,88	64,93	64,12	62,79	62,99	63,60	62,49	63,58	64,44	63,54	1,30
FDN	11,41	11,82	11,87	11,02	11,41	10,19	11,51	11,54	12,78	11,51	6,02
FDA	3,76	3,52	3,79	4,29	3,49	3,78	3,88	3,36	3,53	3,71	7,49
Proteína Bruta	8,16	7,66	8,00	8,13	7,87	8,07	8,55	7,55	7,62	7,96	4,00
Extrato Etéreo	3,37	2,94	3,56	4,22	3,54	3,75	4,14	3,78	3,56	3,65	10,57
Matéria Mineral	1,16	1,17	0,99	1,05	1,17	1,02	1,13	1,22	1,03	1,10	7,61
Cálcio	0,022	0,020	0,024	0,022	0,024	0,021	0,023	0,023	0,026	0,023	7,59
Fósforo total	0,252	0,232	0,206	0,229	0,248	0,237	0,311	0,271	0,267	0,250	12,14
Parâmetros	2ª Safra									Média	CV
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Matéria Seca	88,23	86,78	87,26	88,07	88,00	87,88	88,05	87,48	85,77	87,50	0,91
Amido	63,34	62,27	63,05	63,28	63,79	62,52	63,34	63,12	62,06	62,97	0,90
FDN	12,24	11,82	11,56	11,89	11,34	11,47	12,21	11,71	12,50	11,86	3,29
FDA	3,49	3,38	3,37	2,81	3,65	3,47	3,64	2,85	2,50	3,24	12,77
Proteína Bruta	7,76	7,47	7,97	7,52	7,85	7,76	7,20	7,06	7,88	7,61	4,16
Extrato Etéreo	3,18	3,46	3,19	3,35	3,47	3,25	3,33	4,61	1,88	3,30	20,92
Matéria Mineral	0,83	0,94	0,87	1,05	1,11	0,99	1,04	0,85	1,11	0,98	11,13
Cálcio	0,046	0,045	0,026	0,032	0,022	0,027	0,040	0,022	0,020	0,031	32,71
Fósforo total	0,187	0,186	0,230	0,223	0,261	0,251	0,241	0,207	0,205	0,221	12,25

FDN – Fibra em Detergente Neutro, FDA – Fibra em Detergente Ácido, CV – Coeficiente de Variação

Foi observada uma alta variabilidade no teor de EE entre os milhos avaliados (Tabela 2), tanto na 2ª (1,88 a 4,61%) quanto na 1ª (2,94 a 4,22%) safra. Por outro lado, os valores médios apresentados pelo NRC (2012) e Rostagno et al. (2011) foram de 3,48 e 3,65%; que assemelham-se aos valores médios obtidos para os milhos de 2ª e 1ª safras, respectivamente. Isso demonstra a necessidade de se conhecer adequadamente a composição química do milho a ser utilizado nas rações, pois o EE tem uma grande contribuição no valor calórico dos alimentos.

O CV obtido para a PB dos cultivares da 1ª safra foi de 4,00%, já para os da 2ª safra foi de 4,16%. Os teores médios de PB para as duas safras estão de acordo com aqueles sugeridos por Rostagno et al. (2011) e pelo NRC (2012). O milho pode apresentar maiores teores de PB, mas geralmente são relacionados a variedades melhoradas para tal finalidade.

Os teores de Ca (Tabela 2) estão de acordo com os apresentados por Rostagno et al. (2011), exceto para os milhos 1, 2 e 7 da 2ª safra, o CV obtido para os cultivares da 2ª safra foi alto (32,71%). O P total obtido para os milhos de 1ª e 2ª safra variou de 0,18 a 0,31%, que se mostrou semelhante à variação observada por Li et al. (2014), que foi de 0,18 a 0,32%.

Esta variabilidade na composição química pode estar associada à grande quantidade de cultivares comerciais de milho (Farnelli et al., 2003). Segundo dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, na safra de 2013/14 foram disponibilizados 467 cultivares de milho, sendo 253 cultivares transgênicos e 214 cultivares convencionais. Estudos realizados com diferentes cultivares de milho também comprovam essa variação na composição química (Li et al., 2014, Castilha et al., 2011, Eyng et al., 2009).

Esta variação também pode ser resultado de outros fatores, pois, além de ser causada pelo período e o local de cultivo, também podem ser causadas por diferenças entre os laboratórios onde as análises foram realizadas (Cromwell et al., 1999).

Os coeficientes de digestibilidade (CDEB) e metabolizabilidade (CMEB) da energia bruta foram diferentes ($P < 0,05$), tanto entre os milhos da 1ª (Tabela 3) quanto da 2ª (Tabela 4) safras, demonstrando que somente a EB do milho pode não proporcionar uma boa estimativa dos valores de ED e EM.

De maneira geral, os milhos de ambas as safras mostraram que os CDEB e CMEB seguiram perfis semelhantes em relação às diferenças estatísticas, exceto os milhos 4 e 8 da 1ª safra.

Apesar das mudanças morfológicas que ocorrem no intestino delgado de leitões no período pós-desmame, que são acompanhadas por uma menor atividade das enzimas da borda em escova (Pacha, 2000), os CMEB obtidos foram, em média, superiores aos apresentados em tabelas de composição de alimentos (Rostagno et al., 2011; NRC, 2012). No entanto, foram utilizados leitões com cinco semanas de idade, o que parcialmente explica os CMEB obtidos.

A variação na EM dos milhos da 1ª safra foi de 3281 a 3509 kcal/kg (Tabela 3), enquanto na 2ª safra foi de 3143 a 3652 kcal/kg (Tabela 4). A menor variação da EM entre os milhos da 1ª safra pode estar relacionada à menor variabilidade na composição química (Tabela 2).

Tabela 3. Valores de energia bruta (EB), digestível (ED) e metabolizável (EM), coeficientes de digestibilidade (CDEB) e metabolizabilidade (CMEB) da energia bruta e relação EM:ED dos cultivares de milho provenientes da 1ª safra, na matéria natural.

Milho	EB (kcal/kg)	CDEB ¹ (%)	ED (kcal/kg)	CMEB ¹ (%)	EM (kcal/kg)	EM:ED
1	3952	86,06 ^b	3401	83,02 ^b	3281	0,96
2	3932	88,50 ^{ab}	3480	85,79 ^{ab}	3374	0,97
3	3978	89,28 ^{ab}	3552	85,35 ^{ab}	3396	0,96
4	3980	90,60 ^a	3606	87,31 ^{ab}	3475	0,96
5	3911	88,83 ^{ab}	3474	86,00 ^{ab}	3364	0,97
6	3870	91,44 ^a	3539	88,15 ^a	3412	0,96
7	3955	88,81 ^{ab}	3512	85,33 ^{ab}	3375	0,96
8	3929	90,29 ^a	3547	86,88 ^{ab}	3413	0,96
9	3968	91,28 ^a	3622	88,44 ^a	3509	0,97
CV(%)	-	1,87	-	2,16	-	-

1- Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05),
CV – Coeficiente de Variação

A EM média obtida para os milhos de 1ª safra foi de 3400 kcal/kg. De modo semelhante, Li et al. (2014), utilizando animais em crescimento, encontraram um valor médio de 3429 kcal EM/kg entre as diferentes cultivares de milho avaliadas. O valor médio de EM dos milhos da 2ª safra foi de 3343 kcal/kg, que é semelhante a 3340 kcal/kg proposto por Rostagno et al. (2011). Estes resultados evidenciam a necessidade

de se utilizar métodos que estimem com maior precisão os valores energéticos do milho, uma vez que a diferença observada na 2ª safra foi de 509 kcal EM/kg.

A variabilidade da composição bromatológica, CDEB e CMEB foi maior para os milhos da 2ª safra em relação aos da 1ª safra. Esta variabilidade na composição química pode ser uma das causas da maior variação entre os CMEB.

Os CDEB e CMEB variaram de 86,06 a 93,90% e 83,02 a 88,44%, respectivamente, para os milhos utilizados no período da 1ª safra, já para os milhos da 2ª safra os CDEB oscilaram de 83,53 a 93,90% e os CMEB de 81,32 a 92,06%. Isso pode ser explicado pelo maior CV encontrado entre os milhos da 2ª safra. O CV para o EE foi de 20,92% entre os milhos da 2ª safra, no entanto, para os milhos da 1ª esse valor foi de 10,57%. Segundo Noblet e Henry (1993), o aproveitamento da ED e EM dos alimentos pelos suínos é influenciado pela composição dos nutrientes da dieta.

Tabela 4. Valores de energia bruta (EB), digestível (ED) e metabolizável (EM), coeficientes de digestibilidade (CDEB) e metabolizabilidade (CMEB) da energia bruta e relação EM:ED dos cultivares de milho da 2ª safra, na matéria natural

Milho	EB (kcal/kg)	CDEB ¹ (%)	ED (kcal/kg)	CMEB ¹ (%)	EM (kcal/kg)	EM:ED
1	3921	90,86 ^{ab}	3563	89,31 ^{ab}	3502	0,98
2	3854	84,98 ^{cd}	3275	83,55 ^{cd}	3220	0,98
3	3865	83,53 ^d	3228	81,32 ^d	3143	0,97
4	3874	88,41 ^{bc}	3425	86,35 ^{bc}	3345	0,98
5	3887	88,05 ^{bc}	3423	87,51 ^{bc}	3401	0,99
6	3889	86,60 ^{bcd}	3368	84,97 ^{bcd}	3304	0,98
7	3899	85,86 ^{cd}	3348	84,49 ^{cd}	3294	0,98
8	3967	93,90 ^a	3725	92,06 ^a	3652	0,98
9	3743	87,99 ^{bc}	3293	86,26 ^{bc}	3229	0,98
CV(%)	-	2,04	-	2,17	-	-

1- Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05),
CV – Coeficiente de Variação

As matrizes de correlação (Tabelas 5), obtidas pelo ajustamento das equações de predição do modelo completo, mostraram que a EM apresentou uma correlação

negativa com a FDN, PB, MM e P total na 1ª e 2ª safras, assim como o período total das safras (1ª e 2ª safras conjuntamente). Todavia, foram observadas diferenças, em que no período da 2ª safra e no período total das safras, a FDA apresentou correlação negativa com a EM, o que não foi observado na 1ª safra. Outra diferença foi em relação ao Ca, que apenas no período total e na 2ª safra apresentou correlação negativa com EM. O EE e o amido apresentaram correlações positivas com a EM em todas as situações de safras.

As diferentes correlações entre os nutrientes e os valores energéticos, quando o alimento é cultivado em diferentes épocas do ano, também já foram obtidas por Kim et al. (2004), ao utilizarem diferentes cultivares de trigo para leitões. Os autores observaram que o conteúdo de xilose total, xilose insolúvel, FDN, P total e P fítico influenciaram negativamente a ED do trigo colhido em 1999. Contudo, o trigo colhido no ano de 2000 não apresentou correlações com diversos parâmetros, exceto correlações positivas com a EB, arabinose solúvel, e arabinosilanos solúvel. Ao combinarem os dados de 1999 e 2000 apenas o P total correlacionou-se negativamente com a ED.

De modo semelhante, Li et al. (2014) observaram que a EM também se correlacionou negativamente com a PB, FDN, FDA e MM. Por sua vez, Pozza et al. (2010) encontraram correlações negativas para fibra bruta e positiva para o EE em relação aos valores energéticos.

A correlação positiva da EM com o EE pode ser devido ao melhor aproveitamento dos nutrientes da dieta em resposta à presença dos lipídios, já que estes podem causar um efeito inibitório sobre o esvaziamento gástrico, que, por sua vez, pode proporcionar uma melhoria na digestibilidade (Pozza et al., 2008).

O efeito negativo da MM sobre os valores energéticos justifica-se pela sua ação como diluente da EB, reduzindo o conteúdo de matéria orgânica dos alimentos (Morgan et al., 1987). Era esperado que o Ca e P total também tivessem correlação negativa com a EM, pois fazem parte da MM.

A quantidade de fibra na dieta influencia significativamente a digestibilidade aparente da MS e da energia da dieta (Stannogias e Pearce, 1985). Além disso, o aproveitamento das frações fibrosas é menor em leitões em relação aos suínos adultos e, possivelmente, isso tenha colaborado para uma correlação negativa com a EM. Da mesma forma, Noblet e Le Goff (2000) relataram que o conteúdo de fibra (FB, FDN e FDA) tem efeito negativo sobre a ED e EM.

Tabela 5. Matriz de correlações entre os componentes dos cultivares de milho em função da safra

1ª Safra										
Item	EM	AMI	FDN	FDA	PB	EE	MM	Ca	P	
EM	1,0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AMI	0,16866	1,0000	-	-	-	-	-	-	-	-
FDN	-0,03138	0,04711	1,0000	-	-	-	-	-	-	-
FDA	0,16736	-0,40263	-0,48919	1,0000	-	-	-	-	-	-
PB	-0,15699	-0,62382	-0,55913	0,71966	1,0000	-	-	-	-	-
EE	0,34537	-0,58183	-0,38915	0,62800	0,57707	1,0000	-	-	-	-
MM	-0,34016	-0,14980	-0,01770	-0,47019	-0,22165	-0,22165	1,0000	-	-	-
Ca	0,17228	-0,22294	0,61956	-0,28209	0,15748	0,15748	-0,20823	1,0000	-	-
P	-0,10974	-0,65709	0,09339	-0,20580	0,36429	0,36429	0,41367	0,21210	1,0000	-
2ª Safra										
Item	EM	AMI	FDN	FDA	PB	EE	MM	Ca	P	EB
EM	1,0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AMI	0,09213	1,0000	-	-	-	-	-	-	-	-
FDN	-0,04777	0,17169	1,0000	-	-	-	-	-	-	-
FDA	-0,22559	-0,23854	-0,50972	1,0000	-	-	-	-	-	-
PB	-0,48438	0,19445	0,08041	-0,02425	1,0000	-	-	-	-	-
EE	0,52781	-0,10277	-0,61778	0,21471	-0,73537	1,0000	-	-	-	-
MM	-0,31310	0,25202	0,19282	-0,18656	0,24953	-0,54201	1,0000	-	-	-
Ca	-0,12655	-0,45356	0,19608	0,45437	-0,27111	0,05763	-0,37610	1,0000	-	-
P	-0,23882	0,05400	-0,56653	0,35504	0,11211	0,00678	0,49678	-0,52112	1,0000	-
EB	0,62979	-0,07693	-0,36501	0,11128	-0,67464	0,90324	-0,72415	0,06354	-0,22890	1,0000
1ª e 2ª Safra										
Item	EM	AMI	FDN	FDA	PB	EE	MM	Ca	P	EB
EM	1,0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AMI	0,13518	1,0000	-	-	-	-	-	-	-	-
FDN	-0,09175	-0,00107	1,0000	-	-	-	-	-	-	-
FDA	-0,00317	-0,13126	-0,57762	1,0000	-	-	-	-	-	-
PB	-0,25033	-0,21646	-0,40335	0,45319	1,0000	-	-	-	-	-
EE	0,50011	-0,22531	-0,52902	0,43275	-0,08896	1,0000	-	-	-	-
MM	-0,18403	0,10223	-0,14479	0,11096	0,29020	-0,19163	1,0000	-	-	-
Ca	-0,15818	-0,28324	0,35432	-0,06220	-0,39330	-0,10731	-0,50892	1,0000	-	-
P	-0,08650	-0,28944	-0,31029	0,33902	0,33902	0,25726	0,58497	-0,47999	1,0000	-
EB	0,47240	-0,05423	-0,33812	0,50997	0,50997	0,77925	-0,08649	-0,23395	0,04641	1,0000

EM = energia metabolizável, AMI = amido, FDN = fibra em detergente neutro, FDA = fibra em detergente ácido, PB = proteína bruta, EE = extrato etéreo, MM = matéria mineral, Ca = cálcio, P = fósforo, EB = energia bruta

A fibra é um componente dietético complexo, que pode impedir a completa digestão do amido pelos suínos, pois ela pode encapsular o amido, o que limita o acesso das enzimas digestivas e conseqüentemente a quebra deste (Lenis et al., 1996). Além disso, alguns tipos de fibra aumentam a viscosidade da digesta, que por sua vez, pode impedir a mistura e o contato entre os componentes alimentares, enzimas digestivas e a parede intestinal.

A PB também apresentou correlação negativa com a EM (Tabela 5) e, segundo o NRC (2012), quando a proteína for de baixa qualidade ou estiver em excesso, os aminoácidos podem não ser utilizados para a síntese proteica e serem catabolizados e utilizados como fonte de energia, sendo o nitrogênio excretado na urina. Com isso, as perdas energéticas da urina aumentam, proporcionando redução da EM. A perda energética na urina representa uma porcentagem variável da ED, sendo esta perda altamente dependente da quantidade de nitrogênio da urina. De acordo com Noblet e Shi (1993), a perda de energia na urina de suínos pode ser descrita pela equação $E. \text{urina} = -16 + 2,9PB \text{ digestível}$ (E.urina em kJ/kg MS consumida e PB digestível consumida).

O amido possui alta ED e EM, podendo chegar a 3594 e 3546 kcal/kg MS, respectivamente (Rostagno et al., 2011). No entanto, este valor pode sofrer alteração, visto que o amido é formado por amilose (moléculas de glicose unidas por ligação $\alpha(1-4)$ de cadeia linear), e amilopectina (moléculas de glicose unidas por ligações $\alpha(1-4)$ e $\alpha(1-6)$ de cadeia ramificada). A relação amilose:amilopectina no milho pode influenciar na digestibilidade do grão de amido e de outros nutrientes. Devido à ramificação da cadeia, a amilopectina pode ser mais facilmente hidrolisada pelas enzimas hidrolíticas. Assim, a digestibilidade e a EM do amido aumentam com o aumento do conteúdo de amilopectina (Mazur e Nakati, 1993).

As equações de predição (Tabela 6 e 7) que apresentaram os maiores coeficientes de determinação (R^2) foram $EM = -6306,15 + 400,652FDA + 117,286AMI + 24924,7Ca + 2489,66P - 148,406PB$ ($R^2 = 0,44$), para a 1ª safra; $EM = -7560,08 + 2,66895EB - 120,688FDA$ ($R^2 = 0,48$), para a 2ª safra; e para o período completo de safras foi ajustada a equação $EM = 2848,95 + 68,5714FDN + 161,938EE - 5563,51Ca - 1454,15P$ ($R^2 = 0,41$).

Tabela 6. Interceptos, coeficientes de regressão e de determinação das equações para predizer os valores de energia metabolizável (EM) dos cultivares da 1ª e 2ª safras de milho, ajustados com base na matéria seca, ajustados com base na matéria seca

1ª Safra											
Equações ajustadas utilizando o modelo completo											
Equações	Intercepto	EB	FDA	FDN	EE	AMI	MM	Ca	P	PB	R ²
EM ₁	-6306,15	-	400,652	-	-	117,286	-	24924,7	2489,66	-148,406	0,44
EM ₂	-8532,92	-	295,476	-	-	135,412	-	29396	2150,88	-	0,35
EM ₃	-1294,83	-	150,791	-	-	54,5973	-	22407	-	-	0,22
Equações ajustadas utilizando FDN, PB, EE, MM e EB											
EM ₄	5086,31	-	-	-	142,047	-	-328,102	-	-	-154,842	0,39
EM ₅	4578,66	-	-	-	155,598	-	-	-	-	-150,446	0,30
EM ₆	3522,57	-	-	-	82,2153	-	-	-	-	-	0,11
2ª Safra											
Equações ajustadas utilizando o modelo completo											
EM ₁	-7560,08	2,66895	-120,688	-	-	-	-	-	-	-	0,48
EM ₂	7412,44	2,53486	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40
Equações ajustadas utilizando FDN, PB, EE, MM e EB											
EM ₃	-15010,2	3,86472	-	85,6882	-	-	485,543	-	-	-	0,49
EM ₄	5815,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-229,461	0,23

Tabela 7. Interceptos, coeficientes de regressão e de determinação das equações para predizer os valores de energia metabolizável (EM) dos cultivares de milho (período completo), ajustados com base na matéria seca

1ª e 2ª safra											
Equações ajustadas utilizando o modelo completo											
Equações	Intercepto	EB	FDA	FDN	EE	AMI	MM	Ca	P	PB	R ²
EM ₁	2848,95	-	-	68,5714	161,938	-	-	-5563,51	-1454,15	-	0,41
EM ₂	3872,19	-	-	-	128,416	-	-	-4248,56	-1520,79	-	0,36
Equações ajustadas utilizando FDN, PB, EE, MM e EB											
EM ₃	334,272	0,90886	-	-	57,9377	-	-	-	-	-86,9320	0,32

De maneira geral, as equações apresentaram baixo R^2 , sugerindo que a aderência das equações aos valores observados de EM foi de baixa magnitude. No entanto, Pelizzeri et al. (2013) validaram equações de predição dos valores de EM do milho cujo R^2 variou de 0,63 a 0,79.

Os R^2 obtidos para as equações de predição também foram baixos em relação aos encontrados por Li et al. (2014), que variaram de 0,20 a 0,87. No entanto, os maiores R^2 foram obtidos quando as equações eram compostas pela ED como regressora, o que leva os modelos a apresentarem maiores R^2 , pois se trata de uma fração digestível, porém, torna-se mais difícil o uso de tais equações.

A equação que apresentou o maior R^2 (0,49) foi ajustada para os milhos da 2ª safra que, por sua vez, apresentaram a maior variabilidade na composição química e nos valores de EM.

Desta forma, sugere-se que estas equações sejam validadas utilizando um conjunto de dados independentes, uma vez que a aplicabilidade das mesmas deve ser avaliada em relação à acurácia em estimar os valores de EM para outras cultivares de milho.

Por outro lado, as equações ajustadas são compostas por no máximo quatro variáveis de composição química como regressoras e, de acordo com Wiseman e Cole (1985), grande interesse tem sido demonstrado pela utilização de equações de predição de ED e EM compostas por apenas uma, ou uma combinação de variáveis de composição química.

CONCLUSÕES

Os valores de EM de diferentes cultivares de milho, para leitões, variaram de 3281 a 3509 kcal/kg na 1ª safra, enquanto que na 2ª safra variaram de 3143 a 3652 kcal/kg.

As equações com melhor ajuste para estimar a EM do milho para leitões foram: $EM = -6306,15 + 400,652FDA + 117,286AMI + 24924,7Ca + 2489,66P - 148,406PB$, para os milhos de 1ª safra; $EM = -7560,08 + 2,66895EB - 120,688FDA$, para os milhos de 2ª safra; e para o período completo de safras foi ajustada a equação $EM = 2848,95 + 68,5714FDN + 161,938EE - 5563,51Ca - 1454,15P$.

REFERÊNCIAS

ALVES, B. M. et al. Variability of grain productivity and energy profile of maize (*Zea mays L.*) genotypes. **Journal of Cereal Science**, 60: 164-171, 2014.

CASTILHA, L. D. et al. Modelos matemáticos para predição dos valores energéticos do milho para suínos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 12 (2) :456-467, 2011.

CROMWELL, G. L. et al. Variability among sources and laboratories in nutrient analyses of corn and soybean meal. **Journal of Animal Science**, 77: 3262-3273, 1999.

CRUZ, J.C.; FILHO, I. A. P.; QUEIROZ, L. Q. Quatrocentas e sessenta e sete cultivares de milho estão disponíveis no de sementes do Brasil para a safra 2013/14. Disponível em:< <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/>>. Acesso em 05 fev 2015.

EYING, C. et al. Composição química e valores energéticos de cultivares de milho para aves. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 10(1): 60-72, 2009.

FARINELLI, R. et al. Desempenho agrônomico de cultivares de milho nos períodos de safra e safrinha. **Bragantia**, 62 (2):235-241, 2003.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos** - /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 4ª Edição, 2008, 1020p.

KIL, D. Y.; KIM, B. G.; STEIN, H.H. Feed energy evaluation for growing pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 26 (9): 1205-1217, 2013.

KIL, D. Y. et al. Digestibility of crude protein and amino acids in corn grains from different origins for pigs. **Animal Feed Science and Technology**, 196: 68-75, 2014

KIM, J. C. et al. Effect of variety, growing region and growing season on digestible energy content of wheats grown in Western Australia for weaner pigs. **Animal Science**, 78 (4):53-60, 2004.

LANDONI, M. et al. Low phytic acid 1 mutation in maize modifies density, starch properties, cations, and fiber contents in the seed. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 61: 4622–4630, 2013.

LE GOFF, G.; NOBLET, J. Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. **Journal of Animal Science** 79 (1):2418–2427, 2001.

LENIS, N. P. Effect of dietary neutral detergent fiber on Ileal digestibility and portal flux of nitrogen and amino acids and on nitrogen utilization in growing pigs. **Journal of Animal Science**, 74: 2687–2699, 1996.

LI, Q. et al. Predicting corn digestible and metabolizable energy content from its chemical composition in growing pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 5 (11): 2-8, 2014.

MAZUR, A. K.; NAKATANI, H. Multiple attack mechanism in the porcine pancreatic α amylase hydrolysis of amylose and amylopectin. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 306 (1): 29-38, 1993.

MORGAN, C. A. et al. The prediction of the energy value of compounded pig foods from chemical analysis. **Animal Feed Science Technology**, 17: 81-107, 1987.

NAGATA, A.K. et al. Energia metabolizável de alguns alimentos energéticos para frangos de corte, determinados por ensaios metabólicos e por equações de precificação. **Ciencia e Agrotecnologia**, 28 (3): 668-677, 2004.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of swine**. 11 ed. Washington, DC: National Academy, 400p. 2012.

NOBLET, J.; HENRY, Y. Energy evaluation systems for pig diets: a review. **Livestock Production Science**, 36(2): 121-141, 1993.

NOBLET, J.; SHI, X. S. Comparative digestibility of energy and nutrients in growing pigs fed ad libitum and adult sows fed at maintenance. **Livestock Production Science**, 34: 137-152, 1993.

NOBLET, J.; LE GOFF, G. Utilization digestive et valeurs énergétiques du blé, du maïs et leurs co-produits chez le porc en croissance et la truie adulte. **Journées Rech. Porcine in France**, 32: 177-183, 2000.

PÁCHA, J. Development of intestinal transport function in mammals. **Physiological Reviews**, Prague, 80 (4): 1633-1667, 2000.

PEKAS, J.C. Versatile swine laboratory apparatus for physiologic and metabolic studies. **Journal of Animal Science**, 27:1303 -1306, 1968.

PELIZZERI, R. N. et al. Avaliação de modelos de predição da energia metabolizável do milho para suínos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 65 (2): 460-468, 2013.

POZZA, P. C. et al. Determinação e predição dos valores de energia digestível e metabolizável da farinha de vísceras para suínos. **Revista de Saúde e Produção Animal**, 9 (4): 734-742, 2008.

POZZA, P. C. et al. Determinação e predição de valores energéticos de silagem de grãos úmidos para suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, 34 (1): 226-232, 2010.

RODRIGUES, P. B. et al. Valores Energéticos do milheto, do milho e subprodutos do milho, determinados com frangos de corte e galos adultos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 30(6):1767-1778, 2001.

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

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.

STANOGLIAS, G.; G. R. PEARCET, G. R. The effects of amount and type of fibre on apparent digestibility, nitrogen balance and rate of passage. **British Journal of Nutrition**, 53: 513-530, 1985.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para análises estatísticas e genéticas)**. Viçosa: UFV, 2007. 59p.

ZONTA, M. C. de M. et al. Energia metabolizável de farinhas de soja ou produtos de soja, determinada pelo método de coleta total e por equações de predição. **Archivos de zootecnia**, 55 (209): 21-30, 2006.

WISEMAN, J.; COLE, D. J. A.; LEWIS, D. Energy value in pig nutrition. 3. The digestible and metabolisable energy content of barley, wheat, maize, oats and rye. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge 98: 89-97, 1982.