



NÍKOLAS DE OLIVEIRA AMARAL

**EFEITO DA GRANULOMETRIA DO MILHO
SOBRE A CINÉTICA DA DIGESTÃO DO
AMIDO E NÍVEIS DE LISINA PARA SUÍNOS
EM CRESCIMENTO**

LAVRAS – MG

2011

NÍKOLAS DE OLIVEIRA AMARAL

**EFEITO DA GRANULOMETRIA DO MILHO SOBRE A CINÉTICA DA
DIGESTÃO DO AMIDO E NÍVEIS DE LISINA PARA SUÍNOS EM
CRESCIMENTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Monogástricos, para a obtenção do título de Doutor.

Dr. Elias Tadeu Fialho
Orientador

LAVRAS - MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Amaral, Nícolas de Oliveira.

Efeito da granulometria do milho sobre a cinética da digestão do amido e níveis de lisina para suínos em crescimento / Nícolas de Oliveira Amaral. – Lavras: UFLA, 2011.

86 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Elias Tadeu Fialho.

Bibliografia.

1. Nutrição. 2. Balanço de nitrogênio. 3. Tamanho de partículas.
4. Aminoácidos. 5. Desempenho. I. Universidade Federal de Lavras.
II. Título.

CDD – 636.408557

NÍKOLAS DE OLIVEIRA AMARAL

**EFEITO DA GRANULOMETRIA DO MILHO SOBRE A CINÉTICA DA
DIGESTÃO DO AMIDO E NÍVEIS DE LISINA PARA SUÍNOS EM
CRESCIMENTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Monogástricos, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 17 de fevereiro de 2011.

Dr. Paulo Borges Rodrigues	UFLA
Dr. Vinícius de Souza Cantarelli	UFLA
Dr. Márcio Gilberto Zangeronimo	UFLA
Dr. Marcelo José M. de Almeida	IF SUDESTE MG

Dr. Elias Tadeu Fialho
Orientador

Dr. Renato Ribeiro Lima
Coorientador

LAVRAS - MG

2011

A Deus, por me abençoar ricamente.

*Aos meus pais, Paulo e Sueli, pelo amor, compreensão, amizade, ensinamentos,
dedicação, enfim, por serem minha referência.*

A minha irmã, Ludmila, pela amizade sincera e incondicional.

*Aos meus familiares e amigos, pela motivação
e apoio.*

*Aos amigos do Núcleo de Estudos em Suinocultura (NESUI), pela grande
contribuição na condução dos experimentos, pelo aprendizado e pelos
momentos inesquecíveis.*

OFEREÇO

Ao meu amor Leticia,

pela amizade, companheirismo, dedicação, paciência,

pela IMENSA participação na realização de mais um sonho

e por estar ao meu lado SEMPRE!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de cursar o mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento do trabalho e concessão da bolsa de estudos.

Ao orientador, Prof. Elias Tadeu Fialho, pela orientação, amizade, respeito e confiança, desde a graduação.

Aos coorientadores Paulo Borges Rodrigues e Renato Ribeiro Lima, pela paciência, auxílio e ensinamentos fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos amigos; Vinícius de Souza Cantarelli, Márcio Gilberto Zangeronimo e Marcelo José Milagres de Almeida, pela atenção, confiança, orientação, incentivo e grande colaboração para minha formação profissional.

Aos professores Raimundo Vicente de Sousa, José Augusto de Freitas Lima, Priscila Vieira e Rosa, Tarcísio de Moraes Gonçalves e Eduardo Pinto Filgueiras pelos ensinamentos, incentivo, amizade e confiança.

À equipe responsável pela condução do experimento Leticia Gomes de Moraes, Fernando Moraes, Rafael Betarelli e Leonardo Ferreira, pelo inestimável apoio, companheirismo e dedicação.

Aos amigos do Núcleo de Estudos em Suinocultura (NESUI); Hebert Silveira, Renato Philomeno, Luís Gustavo, Leonardo Francisco, Thiago Hyroshi, César Garbossa, Marseile Junqueira, Carolina Teixeira, Leticia Rodrigues, Bruna, Tila Menezes, Rhuan, Rafael Sarto, Barbara Azevedo, Evandro Cesar, Otávio, Juliano, Richardson, Ítalo Lisboa, Carolina Fernandes, Rafael Fernandes, Raíssa Rocha, Gabriel Carvalho, Louisie Marioto, Daniel Dutra, Danubia Lazarini e Diane Melo, grandes parceiros na realização dos trabalhos.

Aos meus velhos companheiros e amigos de NESUI; Marcos Leonardo Silva, João Carlos G. Neto, Leandro Pereira, Ana Luisa Alvarenga, Bruno Rosa, Valéria Rodrigues, José Vieira Neto, Erin Almeida, Érica da Rocha, Carlos E. Barbosa, Raquel Wolp, Anaise Resende, Tarciso Ensa, Asdrubal dos Santos e Nair Elizabeth Rodrigues, pelo companheirismo e aprendizado.

A todos os colegas da Pós-Graduação em Zootecnia.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Zootecnia, em especial ao Hélio Rodrigues e Borginho, pelo grande apoio durante a realização das atividades.

Aos meus grandes amigos; Dieyckson Freire, Marcelo Arriel, João Paulo Sampaio e Lúcio Girão, exemplos de amizade incondicional e verdadeira.

Ao Instituto Federal do Sul de Minas – Campus Machado, em especial aos colegas do CGPP, pela amizade e companheirismo.

BIOGRAFIA

NIKOLAS DE OLIVEIRA AMARAL, filho de Paulo Roberto do Amaral e Sueli Maria de Oliveira Silva Amaral, nasceu em 5 de setembro de 1984, na cidade de Lavras, no estado de Minas Gerais.

Em abril de 2002, ingressou na Universidade Federal de Lavras, graduando-se em Zootecnia em novembro de 2006.

Em março de 2007, iniciou a Pós-Graduação em Zootecnia na Universidade Federal de Lavras, concentrando seus estudos na área de Nutrição de Monogástricos, obtendo o título de “Mestre” em fevereiro de 2008.

Em março de 2008, iniciou o curso de Doutorado em Zootecnia, também na Universidade Federal de Lavras, concentrando seus estudos na área de Nutrição de Monogástricos.

Em novembro de 2009, ingressou, por concurso público, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Campus Machado, como professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico.

Em 17 de fevereiro de 2011, submeteu-se à defesa de tese para obtenção do título de “Doutor”.

RESUMO

Dois experimentos foram conduzidos para avaliar a influência de diferentes granulometrias do milho sobre a cinética de digestão do amido, o aproveitamento de nutrientes, exigência de lisina e desempenho de suínos em crescimento. Experimento I – Foram utilizados 42 suínos machos castrados e fêmeas (peso inicial de $30,5 \pm 1,78$ kg) para avaliação do desempenho, 21 suínos (peso inicial de $56,0 \pm 2,59$ kg), oriundos do desempenho, para avaliação da cinética de digestão do amido e 24 suínos machos castrados (peso inicial de $41,3 \pm 4,72$ kg) para determinação da digestibilidade total e balanço de nitrogênio. Foram testadas rações com milho em três diferentes granulometrias (550, 700 e 850 μ m). Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados com três tratamentos e sete repetições para desempenho e oito para digestibilidade total e balanço de nitrogênio. Para a cinética de digestão do amido adotou-se um delineamento inteiramente ao acaso com dados desbalanceados devido à existência de parcelas perdidas. Experimento II – Foram utilizados 120 suínos machos castrados e fêmeas (peso inicial de $34,2 \pm 3,8$ kg) para avaliação do desempenho e 60 suínos machos castrados (peso inicial de $40,3 \pm 5,9$ kg) para determinação da digestibilidade total e balanço de nitrogênio. Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 4, sendo milho com três DGMs (550, 700 e 850 μ m) e quatro níveis de lisina (0,85; 0,95; 1,05 e 1,15%), totalizando 12 tratamentos e cinco repetições. A unidade experimental foi de dois animais para o desempenho e um animal para digestibilidade e balanço de nitrogênio. Experimento I - Os animais que receberam rações contendo milho com DGM 550 apresentaram ($P < 0,05$) melhor conversão alimentar (CA). Observou-se, que nas três granulometrias testadas, 90% do amido foi digerido até o íleo, não havendo diferença ($P > 0,05$) neste segmento. No entanto, as diferenças ($P < 0,05$) observadas entre as dietas experimentais nos quatro primeiros segmentos estudados indicam que a digestão do amido foi gradual e variável entre os graus de moagem testados. Verificou-se maior ($P < 0,05$) energia digestível (ED), digestibilidade da matéria seca (MSD) e nitrogênio absorvido (NABS) para as rações contendo os milhos com DGM de 550 μ m e 700 μ m. Experimento II - Houve interação ($P < 0,05$) entre os fatores estudados para consumo de ração médio diário (CRMD) e CA. Para os níveis de lisina digestível de 0,85 e 0,95% verificou-se menor CRMD dos animais que receberam milho com granulometria de digestão lenta do amido (GDL). Com 1,05 %, entretanto, esta situação se inverteu. Além disso, observou-se efeito quadrático no CRMD de animais que receberam GDL na dieta à medida que se elevou o nível de lisina. Para CA, animais que receberam dietas contendo GDL e formuladas com 0,85% de lisina digestível apresentaram CA 14% menor que aqueles alimentados com dietas contendo a granulometria de digestão rápida

(GDR) e intermediária (GDI). Além disso, foi observado efeito quadrático à medida que se aumentou o nível de lisina na GDR e efeito linear para a GDL. Assim, conclui-se que o milho com menor DGM (550 μm) utilizado em rações para suínos em crescimento melhora a conversão alimentar dos animais. Milhos com DGMs de 550, 700 e 850 μm proporcionam digestão rápida, intermediária e lenta do amido, respectivamente. A variação da cinética de digestão do amido, proporcionada por diferentes graus de moagem do milho, influencia a exigência de lisina de suínos em crescimento (30 a 60 kg). A granulometria de digestão lenta do amido (850 μm) melhora a eficiência de utilização da lisina pelos suínos.

Palavras-chave: Nutrição. Tamanho de partículas. Desempenho. Balanço de nitrogênio. Aminoácidos.

ABSTRACT

Two experiments were conducted to evaluate the influence of different particle size of corn on the starch digestion kinetics, nutrient digestibility, lysine requirement and performance of growing pigs. Experiment I - Was used 42 females and barrows (30.5 ± 1.78 kg initial body weight -IBW) for performance assessment, 21 pigs (41.3 ± 4.72 kg IBW) were obtained from the preceding test to evaluate the kinetics of starch digestion and 24 barrows (41.3 ± 4.72 kg IBW) to determine the total digestibility and nitrogen retention. The treatments were well established: T1 - corn with geometric mean diameter (GMD) of $550 \mu\text{m}$, T2 - corn GMD of $700 \mu\text{m}$; T3 - corn GMD of $850 \mu\text{m}$. A randomized block design with three treatments and seven (performance) or eight (total digestibility and nitrogen balance) repetitions. For the kinetics of starch digestion was adopted a completely randomized design with unbalanced data due to the existence of lost parcels. Experiment II - A total of 120 barrows and females (34.2 ± 3.8 kg IBW) for performance evaluation and 60 barrows (40.3 ± 5.9 kg IBW) to determine the digestibility and total nitrogen balance. Was used a randomized block design in factorial 3×4 , with three (maize GMD 550, 700 and $850 \mu\text{m}$) and four levels of lysine (0.85, 0.95, 1.05 and 1.15%) totaling twelve treatments and five replications. The experimental unit was two animals for performance assessment and one animal for digestibility and nitrogen balance assessment. Experiment I - The animals fed diets containing corn GMD 550 presented ($P < 0.05$) better feed conversion (FC). There were no significant differences in the digestibility of starch. It was observed that in the three particle sizes tested, 90% of the starch was digested to the ileum. However, differences ($P < 0.05$) observed between the diets in the first four segments studied, indicate that the starch digestion was gradual and variable degrees of grinding tested. Was found a higher ($P < 0.05$) digestible energy (DE), dry matter digestibility (DMD) and nitrogen uptake (NU) in diets containing the corn ground with $550 \mu\text{m}$ and $700 \mu\text{m}$. Experiment II - There was a significant interaction ($P < 0.05$) between treatments for average daily feed intake (ADFI) and FC. For lysine levels of 0.85 and 0.95% showed lower ADFI of pigs fed the particle size of slow digested starch (SDS). At 1.05% level, however, this situation was reversed. Moreover, there was a quadratic effect on ADFI animals receiving SDS in the diet, as they raised the level of lysine. For FC, the animals fed diets formulated with SDS and 0.85% lysine had FC14% lower than those fed diets containing particle size of rapidly digested starch (RDS) and intermediate digested starch (IDS). Moreover, there was a quadratic effect as it increased the level of lysine in RDS and a linear effect to the source SDS. Thus, the conclusion is that the corn with lower GMD ($550 \mu\text{m}$) used in diets for growing pigs improves feed conversion of the animals. GMDs corn with 550, 700 and $850 \mu\text{m}$ provides rapidly, intermediate

and slow starch digestion, respectively. The variation of the kinetics of starch digestion provided by different degrees of grinding corn influences the lysine requirement of growing pigs (30-60 kg). The particle size of slow starch digestion (850 μm) enhances the efficiency of lysine utilization by pigs.

Keywords: Nutrition. Particle size. Performance. Nitrogen balance. Amino acids.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	13
1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Composição e estrutura do amido	15
2.2	Processo de digestão do amido em suínos	16
2.3	Milho como fonte de amido para suínos	19
2.4	Influência da granulometria do grão sobre a eficiência produtiva, a digestibilidade e cinética de digestão do amido em suínos	23
2.5	Aplicação prática da cinética de digestão do amido na nutrição animal	25
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	28
	REFERÊNCIAS	29
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	36
	ARTIGO 1 Influência da granulometria do milho sobre a cinética de digestão do amido no intestino delgado de suínos em crescimento ...	36
	ARTIGO 2 Níveis de lisina em rações com milho de diferentes cinéticas de digestão do amido para suínos em crescimento	57
	ANEXOS	79

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A atividade suinícola caracterizou-se, nas últimas quatro décadas, por um enorme crescimento na eficiência produtiva. O suíno moderno difere muito, em termos de velocidade de crescimento, qualidade de carcaça e eficiência alimentar, do que era produzido até a década de 70. Atualmente, a porcentagem de proteína aumentou proporcionalmente à redução da gordura na carcaça.

Não obstante aos benefícios já alcançados, muitos pesquisadores ainda se empenham em encontrar formas de aumentar a eficiência de utilização dos nutrientes. Nesse sentido, a função de nutrientes específicos, o balanço ou o equilíbrio entre os nutrientes e planos ou protocolos de nutrição têm sido estudados exaustivamente. Da mesma forma, diante das mudanças na economia global e para manter-se competitivo no mercado, faz-se necessários maiores estudos objetivando aumentar a eficiência de utilização das *comodities*, principalmente o milho, maior fonte de amido nas dietas para monogástricos.

Sabe-se que suínos em crescimento necessitam de uma quantidade diária de nutrientes para fornecer energia e para serem usados como precursores para a síntese de moléculas funcionais e estruturais. Entre as principais fontes de energia da dieta destaca-se o amido, reserva de carboidratos dos vegetais. Este polissacarídeo é considerado a principal fonte de energia dietética dos monogástricos pela relativa facilidade de clivagem de suas ligações pelas enzimas digestivas e consequente quebra em moléculas glicose, nutriente chave no metabolismo energético celular.

A digestão do amido do milho é influenciada por fatores intrínsecos relacionados à estrutura e composição do grão, bem como por fatores extrínsecos como forma de armazenamento e processamento. Com relação ao

processamento, deve-se destacar a granulometria. De acordo com alguns autores, o grau de moagem dos alimentos, por influenciar as secreções digestivas e a superfície de exposição para difusão e ação das enzimas, tem relação direta com a digestibilidade dos nutrientes e a cinética de digestão.

Pesquisas recentes têm demonstrado que a velocidade com que o amido é digerido no intestino delgado, em função da sincronização da energia dietética, resposta insulinêmica e disponibilidade de aminoácidos para a síntese proteica pode afetar diretamente a eficiência alimentar dos suínos. No entanto, estudos que relacionem tamanho de partículas do milho, taxa de digestão e formulação de dietas para suínos são escassos.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes granulometrias do milho sobre a cinética de digestão do amido, o aproveitamento de nutrientes, exigência de lisina e desempenho de suínos em crescimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Composição e estrutura do amido

O amido é a principal reserva de carboidrato dos vegetais. Estruturalmente é composto por dois polímeros de glicose: amilose e amilopectina. A amilose é uma molécula praticamente linear formada por unidades de glicose em ligações α -1,4. A amilose possui somente de nove a 20 ramificações na molécula, com comprimentos de cadeia variando entre quatro a mais de 100 unidades de glicose (OATES, 1997). A amilopectina é um polímero ramificado formado por curtas cadeias lineares de glicose ligadas umas as outras por ramificações na molécula (ligações α -1,6). As ligações α -1,6 correspondem a aproximadamente entre 4 e 5% do total de ligações glicosídicas (FRANCO et al., 2002).

De acordo com Tester, Karkalas e Qi (2004), o grânulo de amido nativo contém um grande número de cadeias de macromoléculas, que são organizadas em estruturas cristalinas. A estrutura cristalina refere-se às formações de dupla hélice, que é resultado do entrelaçamento das cadeias de moléculas de glicose dentro da amilopectina. É geralmente aceito que a amilopectina é responsável pela estrutura cristalina do grânulo de amido (IMBERTY et al., 1991).

A estrutura cristalina da amilopectina pode ser determinada. Três formas de cristalização podem ser distinguidas no grânulo de amido nativo: os tipos A e B (formas mais extremas) e o amido tipo C (forma intermediária). A dupla hélice do amido do tipo A é muito compacta e não há espaço para a água ou qualquer outra molécula em seu centro (IMBERTY et al., 1991). No amido do tipo B, as hélices duplas são ligadas através de uma rede de ligações de hidrogênio que formam um canal dentro do arranjo hexagonal de seis hélices duplas. O canal está repleto de moléculas de água, metade das quais estão

vinculadas às cadeias lineares de amilopectina e a outra metade a outras moléculas de água. A densidade dos cristais é menor e o teor de água maior no amido do tipo B. Há controvérsias sobre o amido tipo C; este poderia ser uma estrutura distinta, mas também pode ser uma mistura dos grânulos A e B. Talvez todos os grânulos de amido têm ambos A e B como padrões estruturais. A formação de amidos A ou B depende do comprimento da cadeia e do conteúdo de água do grânulo (LEHMANN; ROBIN, 2007).

O arranjo dos cristais em A ou B pode influenciar a digestibilidade do amido de forma marcante. Em geral, tem sido relatado maior susceptibilidade à hidrólise dos cristais do tipo A em relação aos do tipo B (JANE; WONG; MCPHERSON, 1997; SRICHUWONG et al., 2005; ZHANG; AO; HAMAKER, 2006). O comprimento da cadeia de amilopectina também está correlacionado com a digestibilidade da molécula, sendo observada a correlação positiva e negativa, respectivamente, nas cadeias com grau de polimerização (unidades de glicose) entre 8 - 12 e 16 - 26 (SRICHUWONG et al., 2005). Cadeias longas formam hélices maiores e mais estáveis, as quais são estabilizadas por ligações de hidrogênio e distribuídas sobre toda a região cristalina causando a diminuição da digestibilidade. Geralmente, pode-se afirmar que os amidos de tubérculos são mais resistentes à hidrólise enzimática que o amido dos cereais em função da maior superfície do grânulo, das propriedades dessa superfície e pelo arranjo cristalino da molécula (LEHMANN; ROBIN, 2007).

2.2 Processo de digestão do amido em suínos

A digestão dos carboidratos em suínos se inicia durante o processo da mastigação. Durante o tempo em que permanece na boca, o amido sofre ações mecânicas e químicas. A ação mecânica serve principalmente para umidificar e

dividir o alimento em partículas menores, facilitando sua deglutição e posterior digestão. A ação química é realizada pela saliva, que é constituída por cerca de 99% de água e o restante por diversos componentes orgânicos e inorgânicos, dentre os quais está a α -amilase (ptialina), enzima que ataca as ligações α -1-4 presentes no amido e em outros polissacarídeos, mas que exerce pouco efeito em função da rápida deglutição (BERTECHINI; FIALHO; CANTARELLI, 2004).

Após a deglutição, a digestão dos carboidratos é interrompida no estômago no qual não há hidrólise enzimática, e reinicia no intestino delgado. A α -amilase pancreática é liberada no lúmen do intestino delgado, apresentando maior atividade no jejuno (ROGEL et al., 1987). A hidrólise se inicia quando a enzima tem acesso às frações do amido. As moléculas de amilose são quebradas em maltose e maltotriose e as de amilopectina em maltose, maltotriose e α -dextrina. A α -amilase ataca a cadeia linear formada por ligações α -1,4 entre as moléculas de glicose, em posições aleatórias. A fixação ocorre através de ligações entre os sítios catalíticos da enzima e cinco unidades de glicose. Este ataque é seguido pela clivagem da ligação entre a segunda e a terceira molécula de glicose ligada à enzima. A enzima permanece no fragmento (cadeia linear) e movimenta-se até a extremidade não redutora da cadeia a fim de preencher novamente seu sítio catalítico e iniciar uma nova clivagem. Dessa forma, os produtos obtidos da hidrólise enzimática são as moléculas de maltose, oriundas de cada clivagem, e a molécula de maltotriose, oriunda da extremidade redutora (GRAY, 1992).

De acordo com Gray (1992), a α -amilase possui pouca especificidade para as ligações glicosídicas de pequenos oligossacarídeos. Por isto, maltose e maltotriose não são hidrolisadas neste momento, uma vez que, por possuírem, respectivamente, somente duas e três unidades de glicose molécula, não seria possível abranger um sítio de clivagem. Além disso, a α -amilase não possui especificidade para ligações α -1,6 presentes na ramificação da amilopectina e da

mesma forma são impossibilitados de quebrar as ligações α -1,4 entre as glicoses adjacentes ao ponto de ramificação em função da estrutura esférica da molécula.

Segundo Moran (1982), os produtos resultantes da digestão do amido pela α -amilase são incapazes de atravessar a parede do intestino. Portanto, essas moléculas devem ser hidrolisadas para liberar unidades de glicose. Assim, os oligossacarídeos resultantes da digestão pela α -amilase são hidrolizados por oligossacaridasas (glicoproteínas: glicoamilase e sacarase- α -dextrinase) localizadas na membrana da borda em escova da superfície intestinal.

De acordo com o autor, a glicoamilase é uma enzima que remove unidades de glicose a partir do final não redutor da ligação α -1,4 da cadeia. Já a sacarase- α -dextrinase é uma carboidrase híbrida sintetizada como uma glicoproteína de cadeia única. Esta enzima é clivada em sacarase e unidades de α -dextrinase por proteases pancreáticas. A sacarase é uma eficiente α -1,4 glicosidase que complementa a ação da glicoamilase através da hidrólise da maltose e maltotriose. Já a α -dextrinase (isomaltase) é capaz de clivar as ligações α -1,6 das ramificações da amilopectina, liberando, para posterior hidrólise pelas demais enzimas digestivas, maltose e maltotriose, além da glicose livre.

As moléculas de glicose resultantes do processo digestivo devem ser absorvidas para que possam ser utilizadas no metabolismo intermediário. De acordo com Drozdowski e Thopson (2006), a absorção intestinal engloba duas componentes. Uma consiste na absorção mediada por um transportador (SGLT1) ativo de glicose dependente do sódio e a outra é constituída por um transporte facilitado de glicose independente do sódio (GLUT2). Em conjunto, o GLUT2 e o SGLT1 são responsáveis pela absorção intestinal da glicose da dieta, desempenhando assim, um papel importante na regulação dos níveis desse açúcar no plasma.

No entanto, uma parte do amido ingerido passa através do intestino delgado sem ser digerido. Esta fração é denominada amido resistente (AR), termo introduzido por Englyst (1982). O AR pode ser fermentado a ácidos graxos voláteis (AGV) e a outros produtos de fermentação pela microflora presente no ceco e cólon.

O tamanho da fração deste amido depende das propriedades dos alimentos e fatores relacionados ao animal. As propriedades do alimento podem mudar durante os tratamentos de moagem e de calor. Já os fatores relacionados ao animal seriam a atividade enzimática, a capacidade de absorção e o tempo de trânsito do alimento no intestino.

2.3 Milho como fonte de amido para suínos

Na nutrição humana e animal, diversas fontes de amido com diferentes características são utilizadas. Dentre os alimentos comumente usados na formulação de rações para suínos o milho representa a maior fonte deste nutriente.

Sabe-se que as diferenças observadas entre as várias fontes de amido são parcialmente responsáveis pelas diferenças na digestão do mesmo em suínos (MORAN, 1982). Com relação ao tamanho e forma do grânulo, de acordo com Hoover e Sosulski (1991) e Hoseney (1986), o milho apresenta grânulos de amido com diâmetro geométrico entre 3 e 26 μm (média de 15 μm), comprimento médio da cadeia de amilopectina de aproximadamente 28 unidades de glicose por cadeia e pode apresentar formato arredondado ou poligonal.

Franco, Preto e Ciacco (1992) avaliaram o efeito do tamanho do grânulo de amido do milho sobre a taxa de digestão *in vitro*. Os grânulos foram divididos em pequenos ($< 10 \mu\text{m}$), intermediários (entre 10 e 15 μm) e grandes ($> 16 \mu\text{m}$). Os autores verificaram diferentes modos de ação das enzimas sobre os grânulos

pequenos e grandes, que resultaram em uma digestibilidade mais rápida para os menores.

Quanto ao conteúdo de amilose, sabe-se que as fontes convencionais contêm entre 17 e 33% desta polissacarídeo. O teor de amilose está relacionado com a fase de crescimento da planta. Além disso, o tamanho da molécula de amilose e amilopectina aumentam de acordo com o crescimento do grão. O milho convencional apresenta em média 26% de amilose na molécula de amido. Variedades modificadas geneticamente podem apresentar entre 50 e 70%, caso do milho com alto teor de amilose, e teores abaixo de 1% no caso do milho *waxy* (SIEVERT; POMERANZ, 1989).

Normalmente, associa-se a menor digestibilidade de alguns amidos ao conteúdo de amilose da molécula. A amilopectina é relativamente uma molécula maior que a amilose e, conseqüentemente, a área de superfície disponível para a ação enzimática também é maior. Além disso, as pontes de hidrogênio que ligam as cadeias de glicose na amilose tornam esta molécula menos suscetível ao ataque da amilase em comparação com as moléculas de amilopectina (cadeias lineares mais curtas). Também a amilose pode facilmente formar complexos estáveis com outros compostos químicos, como os lipídios. Isto não ocorre com a amilopectina, provavelmente devido ao comprimento de cadeia e disposição dos segmentos lineares da molécula (ZOBEL, 1988).

Da mesma forma, quando o amido é submetido a tratamentos térmicos, o teor de amilose desempenha um papel importante no que diz respeito à retrogradação do amido, como foi ilustrado por um experimento descrito por Sievert e Pomeranz (1989). Eles encontraram uma correlação positiva entre o teor de amilose e a formação de amido resistente à digestão *in vitro* (amido resistente).

Ainda com relação à amilose, outro fato interessante é a relação do teor desta molécula com a cristalinidade do amido. Segundo Eliasson e

Gudmundsson (1996), resultados obtidos com diversas fontes de amido indicam que um baixo teor de amilose estaria relacionado a um alto grau de polimerização. De fato, uma vez que a formação de cristais do grânulo é oriunda da amilopectina, parece lógico que altos teores de amilose resultam em baixa cristalização. De acordo com Zobel (1988), o milho comum apresenta em média 40% de cristalinidade (representada pelo amido tipo A) e 27% de amilose.

Além da composição e estrutura do amido contido no milho, a composição e estrutura da planta também tem grande influência sobre a disponibilidade do amido para a ação das enzimas digestivas e, portanto, também deve ser bem conhecida. Sabe-se que o grão de milho é composto pelo pericarpo, germe e endosperma. O pericarpo e o germe praticamente não contém amido e formam apenas uma pequena fração do grão (KOTARSKI; WANISKA; THURN, 1992). O endosperma é responsável por cerca de 80% do peso total do grão. Estudos demonstram a existência de uma rede de proteínas (matriz protéica) que envolvem os grânulos de amido, mantendo-os juntos (MCALLISTER; CHENG, 1996). A dureza do grão de milho é diretamente ligada à este arranjo dos grãos de amido com a matriz protéica, o que muitas vezes tornam parte do amido indisponível para a digestão. No endosperma farináceo (predominante no milho dentado) as células são maiores e os grânulos de amido são frouxamente empacotados, enquanto no endosperma duro (predominante no milho duro) as células são pequenas e os grânulos de amido estão firmemente empacotados (SILVA; LOGUERCIO; PAIVA, 2000).

No caso das variedades de milho *waxy*, além de apresentarem um teor de amilose muito menor do que as variedades normais, também apresentam grânulos de amido mais suscetíveis à ação da amilase. A explicação para isto estaria relacionada as diferenças na estrutura do endosperma periférico do grão (menor endosperma vítreo, grânulos de amido maiores e corpos protéicos distribuídos de forma mais homogênea). Michalet-Doreau e Champion (1996)

constatarem que o amido em variedades de milho dentado foi mais facilmente digerido que o amido das variedades de milho duro, evidenciando o papel protetor da matriz protéica que envolve os grânulos.

Como mencionado anteriormente, o amido é localizado no interior das células do endosperma dos grãos de cereais. Estas células são cercadas por paredes celulares complexas, as quais são compostas por vários tipos de carboidratos. A celulose é encontrada apenas em pequenas quantidades nas paredes destas células, exercendo portanto, pouca influência sobre a degradabilidade do amido. Contudo, a fração de polissacarídeos não amiláceos (incluindo β -glucanos e arabinosilanos) por estarem em maior concentração na maioria dos grãos de cereais, podem afetar de forma efetiva a digestibilidade do amido em animais monogástricos. Sabe-se que estas moléculas podem servir como barreiras físicas no trato digestório, além de aumentarem a viscosidade do conteúdo intestinal, prejudicando assim a ação das enzimas digestivas.

De acordo com Classen (1996), a quantidade total e a proporção destes polissacarídeos variam consideravelmente entre os grãos. As paredes celulares do endosperma da cevada e de aveia, por exemplo, contêm quantidades consideráveis de β -glucanos. Trigo, centeio e triticale contêm quantidades consideráveis de arabinosilanos. Entretanto, a presença de polissacarídeos não amiláceos no milho é relativamente pequena quando comparado a outros cereais (FINFEEDS INTERNATIONAL, 1991).

De fato, os fatores relacionados à composição e estrutura dos grãos de milho e dos grânulos de amido exercem grande influência sobre o aproveitamento desta molécula pelos monogástricos. Entretanto, fatores extrínsecos ao grão como forma de processamento, secagem, armazenamento e granulometria não podem ser ignorados, uma vez que podem também afetar consideravelmente o valor nutricional de cereais com diferentes composições químicas e físicas.

2.4 Influência da granulometria do grão sobre a eficiência produtiva, a digestibilidade e cinética de digestão do amido em suínos

Caracteriza-se como granulometria o termo utilizado para caracterizar o tamanho e a uniformidade das partículas, os quais são expressos, respectivamente, pelo diâmetro geométrico médio e pelo desvio padrão geométrico (AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK OF STANDARD - ASAE, 1973).

A granulometria de um ingrediente moído em moinho de martelos é influenciada pelo diâmetro dos furos da peneira, pela área de abertura da peneira, potência do motor, número de martelos, distância entre os martelos e a peneira, vazão de moagem, teor de umidade dos grãos e desgaste do moinho (ZANOTTO; MONTICELLI, 1998).

Sabe-se que aspectos relevantes na produção de suínos, tais como consumo e uniformidade da ração, digestibilidade dos nutrientes, custo de moagem e desempenho dos animais podem ser influenciados pelo tamanho de partículas dos alimentos (DHITAL et al., 2010). Portanto, o entendimento da inter-relação entre granulometria, nutrição animal e produção de ração é fundamental para maximizar os resultados econômicos do sistema produtivo (PUPA; HANNAS, 2003).

Com relação ao desempenho produtivo, diversos estudos (GIESEMANN et al., 1990; HEALY et al., 1994; WONDRA et al., 1995a, 1995b; ZANOTTO; GUIDONE; PIENIZ, 1999) realizados com suínos nas diferentes fases de produção, têm demonstrado que a redução das partículas do milho proporciona maior eficiência alimentar, o que estaria relacionado, principalmente, à melhora na digestibilidade dos nutrientes.

Por outro lado, granulometrias mais finas podem estar relacionadas à problemas respiratórios (pulvurulência das rações), ulcerações gástricas e

diminuição do fluxo dos comedouros (ESMINGER, 1985; GROESBECK et al., 2003; STRAW et al., 1994). Da mesma forma, do ponto de vista de produção de rações, a redução da granulometria, ainda que possa favorecer o processo de peletização, reduzir a variabilidade de partículas e melhorar a mistura (GOODBAND et al., 2006), poderia resultar em maiores gastos de energia e menor eficiência (toneladas/hora) de moagem (BELLAYER; NONES, 2000).

Nesse sentido, considerando-se os resultados disponíveis na literatura, a granulometria do milho para suínos que melhor equilibra desempenho animal e eficiência na fabricação de rações estaria entre 500 e 700 μm . Entretanto, alguns estudos ainda estão sendo realizados com o objetivo de identificar o tamanho de partícula ideal para cada fase da produção, uma vez que não há consenso entre os pesquisadores. Assim, elucidar a influência da granulometria dos alimentos sobre o modo de ação das enzimas digestivas e sobre a velocidade de digestão dos nutrientes tem sido o foco principal das pesquisas atuais nesta área.

Sabe-se que a digestão do amido é um processo complexo que inclui diferentes fases: difusão da enzima através do substrato (influenciada pela porosidade do substrato), adsorção e hidrólise (COLONNA; LELOUP; BULEON, 1992). De acordo com Rooney e Pflugfelder (1986) fatores como a fibra, a matriz protéica que envolve o amido e outros componentes do alimento, podem inibir a mobilidade da α -amilase.

Dessa forma, o processo catalítico é acelerado pela redução do tamanho das partículas, uma vez que o aumento da superfície de contato por unidade de massa facilita a difusão e ação das enzimas digestivas. Além disso, partículas menores estão associadas à maior produção de ácido clorídrico e maior atividade da pepsina no estômago (MAXWELL et al., 1970), o que favoreceria a quebra da matriz protéica do grão de milho.

De fato, observações microscópicas (DHITAL et al., 2010; FANNON; HAUBER; BEMILLER, 1992; FANNON; SHULL; BEMILLER, 1993;

FRANCO et al., 1992; OATES, 1997; ZHANG; AO; HEMAKER, 2006) indicaram diferentes modos de ação das enzimas digestivas em partículas de cereais com diferentes tamanhos. Nestas análises, foi demonstrado que os grânulos de amido são essencialmente separados da parede celular e dos corpos protéicos nas partículas mais finas. Além disso, a redução do tamanho de partículas, associada às características moleculares (superfície rugosa do grão e presença de canais e poros superficiais) e supramoleculares do grão de milho, aumentam consideravelmente o número de sítios para difusão e adsorção enzimática, acelerando a hidrólise (DHITAL et al., 2010).

Diante do que foi exposto, a influência do tamanho de partículas sobre a velocidade de digestão dos nutrientes é evidente. Com base nisto, variações na taxa de digestão do amido em função da granulometria vêm sendo estudadas por diversos pesquisadores (AL-RABADI; GILBERT; DIDLEY, 2009; DHITAL et al., 2010; FRANCO et al., 1992; MAHASUKHONTHACHAT; SOPADE; GIDLEY, 2010). Segundo os autores, a cinética de digestão, por estar relacionada ao índice glicêmico, pode ter implicações práticas na nutrição e saúde de animais e seres humanos.

Assim, a cinética de digestão do amido seria mais um fator importante a ser considerado na determinação da granulometria correta do milho para os suínos nas diferentes fases de produção.

2.5 Aplicação prática da cinética de digestão do amido na nutrição animal

Na nutrição humana, a cinética de digestão do amido já é considerada uma importante característica alimentar. Englyst, Veenstra e Hudson (1996) mostraram que a taxa de digestão estaria correlacionada ao índice glicêmico. De acordo com Brand-Miller (1999), essa informação seria usada na manipulação da taxa de absorção de glicose para prevenir desordens metabólicas, controlar o

apetite ou melhorar o desempenho mental e esportivo. Assim, diversos estudos vêm sendo conduzidos nos últimos anos com estes objetivos (AL-TAMINI et al., 2010; BEHALL et al., 2006; ELLS et al., 2005; GRABITSKE; SLAVIN, 2008; HARBIS et al., 2004; SEAL et al., 2003; WACHTERS-HAGEDOOM et al., 2006).

Segundo Weurding et al. (2001), a taxa de digestão do amido pode afetar o nível de insulina no sangue e a disponibilidade de nutrientes ao mesmo tempo (sincronização da energia dietética disponível e absorção de aminoácidos), uma vez que a diminuição na taxa de digestão reduziria ou atrasaria a resposta da insulina e glicose pós prandial (CUMMINGS; ENGLYST, 1995). A importância deste fato na nutrição de suínos é evidente, pois a diferença na taxa de digestão entre carboidratos e proteínas pode influenciar o metabolismo do animal (RÉRAT, 1985).

Assim, objetivando verificar diferenças entre a taxa de digestão do amido de diferentes alimentos, Everts et al. (1996) observaram que a taxa de desaparecimento do amido de milho em relação ao amido da ervilha no intestino de suínos foi mais rápida. Além disso, a digestibilidade ileal do nitrogênio foi positivamente afetada pela alimentação com amido proveniente do milho.

Isto sugere que dietas com quantidades similares de nutrientes digestíveis, porém com diferenças na cinética de digestão, podem culminar em variações no desempenho. Weurding, Enting e Verstegen (2003) observaram que dietas contendo amido de digestão lenta para frangos de corte resultaram em melhor conversão alimentar que aquelas com amido de rápida digestão. Além disso, houve interação entre taxa de digestão do amido e o conteúdo de aminoácidos. A adição de caseína e glutamina na dieta contendo amido lentamente disponível não melhorara a conversão alimentar, mas quando a caseína e glutamina foram adicionadas em dietas contendo amido de digestão

rápida a conversão melhorou. Estes resultados podem ser relacionados com a eficiência de deposição protéica, que está relacionada com os níveis de insulina.

Além disso, a energia necessária para suprir a necessidade da parede intestinal também pode estar envolvida com este fato. De acordo com Vaugelade et al. (1994), o transporte intestinal de nutrientes absorvidos coincide com o catabolismo parcial de alguns aminoácidos no intestino, principalmente glutamina. O trato gastrintestinal consome aproximadamente 20% de toda energia dietética para realização dos processos de digestão e absorção. Entretanto, a atividade metabólica do intestino delgado também afeta o suprimento de nutrientes para outros tecidos (CANT; MCBRIDE; CROOM JUNIOR, 1996).

Sabe-se que glutamina e glicose são preferencialmente utilizadas para prover energia no intestino delgado (FLEMING; ZAMBELL; FITCH, 1997), mas outros aminoácidos também tem sido mencionados como fonte de energia para o intestino. Dietas nas quais todo o amido é digerido no intestino delgado superior não irão prover grandes quantidades de glicose para a demanda energética. Neste caso, maiores quantidades de aminoácidos deverão ser oxidadas para esta finalidade (LIU; ZHANG; BIN, 2007; NOAH et al., 2000). Dessa forma, dietas com amido de digestão lenta seriam preconizadas para minimizar a utilização de aminoácidos como fonte de energia (YIN et al., 2010).

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

De acordo com esta revisão, pode-se inferir que a cinética de digestão do amido do milho influencia de forma efetiva a utilização dos nutrientes pelos suínos. Portanto, é mais um fator importante a ser considerado na elaboração de dietas para suínos. Para isto, compreender a inter-relação dos fatores intrínsecos e extrínsecos ao alimento e ao animal é fundamental para se formular rações tecnicamente eficientes.

REFERÊNCIAS

AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK OF STANDARD. **Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving**: ASAE standard S319. Saint Joseph, 1973. 325 p.

AL-RABADI, G. J. S.; GILBERT, R. G.; GIDLEY, M. J. Effect of particle size on kinetics of starch digestion in milled barley and sorghum grains by porcine alpha-amylase. **Journal of Cereal Science**, London, v. 50, n. 2, p. 198-204, Feb. 2009.

AL-TAMIMI, E. K. et al. **Consumption of cross-linked resistant starch (RS4XL) on glucose and insulin responses in humans**. Disponível em: <<http://downloads.hindawi.com/journals/jnume/2010/651063.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2010.

BEHALL, K. M. et al. Consumption of both resistant starch and beta-glucan improves postprandial plasma glucose and insulin in women. **Diabetes Care**, Alexandria, v. 29, n. 5, p. 976-981, May 2006.

BELLAVER, C.; NONES, K. A importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola. In: SIMPÓSIO DE AVICULTURA, 4., 2000, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 2000. 1 CD-ROM.

BERTECHINI, A. G.; FIALHO, E. T.; CANTARELLI, V. S. **Fisiologia da digestão de suínos**. Lavras: UFLA, 2004. 89 p.

BRAND-MILLER, J. C. The glycemic index of foods: implications for the food industry. **Food Australia**, Melbourne, v. 51, n. 3, p. 72-73, Mar. 1999.

CANT, J. P.; MCBRIDE, B. W.; CROOM JUNIOR, W. J. The regulation of intestinal metabolism and its impact on whole animal energetics. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 2541-2553, Oct. 1996.

CLASSEN, H. L. Cereal grain starch and exogenous enzymes in poultry diets. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 62, n. 1, p. 21-27, Oct. 1996.

COLONNA, P.; LELOUP, V.; BULEON, A. Limiting factors of starch hydrolysis. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 46, n. 2, p. S17-S32, 1992.

CUMMINGS, J. H.; ENGLYST, H. N. Gastrointestinal effects of food carbohydrate. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 61, n. 4, p. 9388-9455, Apr. 1995.

DHITAL, S. et al. Relationship between granule size and in vitro digestibility of maize and potato starches. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 82, n. 2, p. 480-488, Sept. 2010.

DROZDOWSKI, L. A.; THOMSON, A. B. Intestinal sugar transport. **World Journal of Gastroenterology**, Philadelphia, v. 12, n. 11, p. 1657-1670, Mar. 2006.

ELIASSON, A. C.; GUDMUNDSSON, M. Starch: physicochemical and functional aspects. In: ELIASSON, A. C. (Ed.). **Carbohydrates in food**. New York: M. Dekker, 1996. p. 431-503.

ELLS, L. J. et al. Postprandial glycaemic, lipaemic and haemostatic responses to ingestion of rapidly and slowly digested starches in healthy young women. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 94, n. 6, p. 948-955, Dec. 2005.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 46, n. 2, p. S33-S50, 1992. Supplement.

ENGLYST, H. N.; VEENSTRA, J.; HUDSON, G. Measurement of rapidly available glucose (RAG) in plant foods: a potential in vitro predictor of the glycaemic response. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 75, n. 3, p. 327-337, Mar. 1996.

ENSMINGER, M. E. Processing effects on nutrition. In: MCELLHINEY, R. R. (Ed.). **Feed manufacturing technology III**. Arlington: American Feed Industry Association, 1985. p. 529-536.

EVERTS, H. et al. The digestion of maize and native pea starch in the small intestine of pigs. **Proceedings of the Nutrition Society**, Cambridge, v. 55, n. 2, p. 59, 1996. Abstract.

FANNON, J. E.; HAUBER, R. J.; BEMILLER, J. N. Surface pores of starch granules. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 69, n. 3, p. 284-288, June 1992.

FANNON, J. E.; SHULL, J. M.; BEMILLER, J. N. Interior channels of starch granules. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 70, n. 5, p. 611-613, Sept. 1993.

FINNFEEDS INTERNATIONAL. Enzymes in animal nutrition. In: _____.
Feed enzymes technical support manual. London, 1991. p. 11-16.

FLEMING, S. E.; ZAMBELL, K. L.; FITCH, M. D. Glucose and glutamine provide similar proportions of energy to mucosal cells of rat small intestine. **American Journal of Physiology**, Baltimore, v. 273, n. 4, p. 968-978, Oct. 1997.

FRANCO, C. M. L. et al. Scrutural characteristics and functional properties of wheat starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 79, n. 2, p. 243-248, Feb. 2002.

FRANCO, C. M. L.; PRETO, S. J. R.; CIACCO, C. F. Factors that affect the enzymatic degradation of natural starch granules: effect of the size of the granules. **Starch**, Weinheim, v. 44, n. 11, p. 422-426, 1992.

GIESEMANN, M. A. et al. Effect of particle size of corn and grain sorghum on growth and digestibility by growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, n. 1, p. 104, Jan. 1990. Abstract.

GOODBAND, B. et al. **Nutritional considerations for optimizing reproductive efficiency**. Manhattan: Kansas State University, 2006. 16 p.

GRABITSKE, H. A.; SLAVIN, J. L. Low-digestible carbohydrates in practice. **Journal of American Dietetic Association**, New York, v. 81, n. 108, p. 1677-1680, 2008.

GRAY, G. M. Starch digestion and absorption in nonruminants. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 122, n. 1, p. 172-177, Jan. 1992.

GROESBECK, C. N. et al. **Particle size, mill type, and added fat influence flow ability of ground corn**. Topeka: Kansas Swine Industry, 2003. 920 p. (Kansas Agricultural Experiment Station Contribution, 04-120-S).

HARBIS, A. et al. Glycemic and insulinemic meal responses modulate postprandial hepatic and intestinal lipoprotein accumulation in obese, insulin resistant subjects. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 80, n. 4, p. 896-902, Oct. 2004.

HEALY, B. J. et al. Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum for nursery pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 9, p. 2227-2236, Sept. 1994.

HOOVER, R.; SOSULSKI, F. W. Composition, structure, functionality and chemical modification of legume starches: a review. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, Ottawa, v. 69, n. 1, p. 79-92, Jan. 1991.

HOSENEY, R. C. Cereal starch. In: _____. **Principles of cereal science and technology**. Saint Paul: AACC, 1986. p. 33-68.

IMBERTY, A. et al. Recent advances in knowledge of starch structure. **Starch**, Weinheim, v. 43, n. 10, p. 375-384, Oct. 1991.

JANE, J.; WONG, K.; MCPHERSON, A. E. Branch-structure difference in starches of A and B-type X-ray patterns revealed by their Naegeli dextrans. **Carbohydrate Research**, London, v. 300, n. 3, p. 219-227, May 1997.

KOTARSKI, S. F.; WANISKA, R. D.; THURN, K. K. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 122, n. 1, p. 178-190, Jan. 1992.

LEHMANN, U.; ROBIN, F. Slowly digestible starch: its structure and health implications: a review. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 18, n. 7, p. 346-355, Nov. 2007.

LIU, J. G.; ZHANG, P.; BIN, S. Y. Effects of different dietary starch constituents on level of blood glucose and insulin of weaned piglets. **Food Science**, Chicago, v. 28, n. 2, p. 315-319, Oct. 2007.

MAHASUKHONTHACHAT, K.; SOPADE, P. A.; GIDLEY, M. J. Kinetics of starch digestion and functional properties of twin-screw extruded sorghum. **Journal of Cereal Science**, London, v. 51, n. 3, p. 392-401, May 2010.

MAXWELL, C. Y. et al. Effect of dietary particle size on lesion development and on the contents of various regions of the swine stomach. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 6, n. 6, p. 911-922, 1970.

MCALLISTER, T. A.; CHENG, K. J. Microbial strategies in the ruminal digestion of cereal grains. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 62, n. 1, p. 29-36, Oct. 1996.

MICHALET-DOREAU, B.; CHAMPION, M. Influence of maize genotype on rate of ruminal starch degradation. **Annales de Zootechnie**, Versailles, v. 44, n. 2, p. 191-195, 1996.

MORAN, E. T. Starch digestion in fowl. **Poultry Science**, Champaign, v. 61, n. 7, p. 1257-1267, 1982.

NOAH, L. et al. Bioavailability of starch and postprandial changes in splanchnic glucose metabolism in pigs. **American Journal of Physiology, Endocrinology and Metabolism**, Baltimore, v. 278, n. 2, p. E181-E188, Feb. 2000.

OATES, C. G. Towards an understanding of starch granule and hydrolysis. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 8, n. 11, p. 375-382, Nov. 1997.

PUPA, J. M. R.; HANNAS, M. I. **Reduzindo o custo de produção animal através da adequação da granulometria das rações**. Viçosa, MG: Allnutri, 2003. 3 p. (Comunicado Técnico, 2).

RÉRAT, A. Intestinal absorption of end products from digestion of carbohydrates and proteins in the pig. **Archives of Animal Nutrition**, Montreux, v. 35, n. 7, p. 461-480, 1985.

ROGEL, A. M. et al. The digestion of wheat starch in broiler chickens. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 38, n. 3, p. 639-649, 1987.

ROONEY, L. W.; PFLUGFELDER, R. L. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 63, n. 5, p. 1607-1623, Nov. 1986.

SEAL, C. J. et al. Postprandial carbohydrate metabolism in healthy subjects and those with type 2 diabetes fed starchs with slow and rapid hydrolysis rates determined in vitro. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 90, n. 5, p. 853-864, Nov. 2003.

SIEVERT, D.; POMERANZ, Y. Enzyme-resistant starch: I., characterization and evaluation by enzymatic, thermoanalytical, and microscopic methods. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 66, n. 4, p. 342-347, July/Aug. 1989.

SILVA, R. P.; LOGUERCIO, L. L.; PAIVA, E. Caracterização dos padrões protéicos do endosperma do milho e sua relação com a estrutura física do grão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 567-575, mar./abr. 2000.

SRICHUWONG, S. et al. Starches from different botanical sources I: contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 60, n. 4, p. 529-538, June 2005.

STRAW, B. et al. Prevalence of gastric ulcers in normal, sick and feed-deprived pigs. **American Society Animal Science**, Chicago, v. 72, n. 2, p. 51-55, Mar. 1994.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch structure and digestibility enzyme-substrate relationship. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 60, n. 2, p. 186-195, June 2004.

VAUGELADE, P. et al. Intestinal oxygen uptake and glucose metabolism during nutrient absorption in the pig. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, London, v. 207, n. 3, p. 309-316, Dec. 1994.

WATCHTERS-HAGEDOORN, R. E. et al. The rate of intestinal glucose absorption is correlated with plasma glucose dependent insulinotropic polypeptide concentrations in healthy men. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 136, n. 6, p. 1511-1516, June 2006.

WEURDING, R. E.; ENTING, H.; VERSTEGEN, M. W. A. The relation between starch digestion rate and amino acid level for broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, n. 9, p. 279-284, Sept. 2003.

WEURDING, R. E. et al. Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens differs among feedstuffs. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 131, n. 9, p. 2329-2335, Sept. 2001.

WONDRA, K. J. et al. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility and stomach morphology in finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, n. 2, p. 457-463, Feb. 1995a.

_____. Reducing particle size of corn in lactation diets from 1,200 to 400 micrometers improves sow and litter performance. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, n. 2, p. 421-426, Feb. 1995b.

YIN, F. et al. Digestion rate of dietary starch affects systemic circulation of amino acids in weaned pigs. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 103, n. 10, p. 1404-1412, Oct. 2010.

ZANOTTO, D. L.; GUIDONE, A. L.; PIENIZ, L. C. **Granulometria do milho em rações para engorda em suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1999. 2 p.

ZANOTTO, D. L.; MONTICELLI, C. J. Granulometria do milho em rações para suínos e aves: digestibilidade de nutrientes e desempenho animal. In: SIMPÓSIO SOBRE GRANULOMETRIA DE INGREDIENTES E RAÇÕES PARA SUÍNOS E AVES, 5., 1998, Concórdia. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1998. p. 26-47.

ZHANG, G.; AO, Z.; HAMAKER, B. R. Slow digestion property of native cereal starches. **Biomacromolecules**, London, v. 7, n. 11, p. 3252-3258, Oct. 2006.

ZOBEL, H. F. Molecules to granules: a comprehensive starch review. **Starch**, Weinheim, v. 40, n. 2, p. 44-50, Apr. 1988.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

**INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO MILHO SOBRE A
CINÉTICA DE DIGESTÃO DO AMIDO NO INTESTINO DELGADO DE
SUÍNOS EM CRESCIMENTO**

Amaral, N.O.; Fialho, E.T. et al.

**Artigo redigido conforme norma da Revista Animal Feed Science and
Technology – versão preliminar**

Influência da granulometria do milho sobre a cinética de digestão do amido no intestino delgado de suínos em crescimento

Resumo – Avaliou-se a cinética de digestão do amido no intestino delgado, o aproveitamento de nutrientes e o desempenho de suínos em crescimento recebendo rações contendo milho em diferentes granulometrias. Para avaliação do desempenho, foram utilizados 42 suínos machos castrados e fêmeas (peso inicial de $30,5 \pm 1,78$ kg) em um delineamento em blocos casualizados (DBC) com três tratamentos (diferentes granulometrias do milho: 550, 700 e 850 μm) e sete repetições. Para avaliação da cinética de digestão do amido, um animal de cada parcela foi abatido. O intestino delgado foi removido e segmentado em cinco partes iguais e o coeficiente de digestibilidade do amido em cada segmento foi determinado. Para determinação da digestibilidade total e balanço de nitrogênio, 24 suínos machos castrados (peso inicial de $41,3 \pm 4,72$ kg) foram alojados em gaiolas de metabolismo em DBC, totalizando três tratamentos e oito repetições. Os animais que receberam rações contendo milho com DGM 550 apresentaram melhor conversão alimentar (CA). No entanto, a digestão do amido foi gradual e variável entre os graus de moagem testados. Verificou-se maior energia digestível (ED), digestibilidade da matéria seca (MSD) e nitrogênio absorvido (NABS) para as rações contendo os milhos moídos com 550 μm e 700 μm . Assim, conclui-se que o milho com menor DGM (550 μm) utilizado em rações para suínos em crescimento melhora a conversão alimentar dos animais. Milhos com DGMs de 550, 700 e 850 μm proporcionam digestão rápida, intermediária e lenta do amido, respectivamente.

Palavras-chave: nutrição; tamanho de partículas; desempenho, metabolismo.

Influence of corn particle size on the kinetics of starch digestion in the small intestine of growing pigs

Abstract – There were evaluated the kinetics of starch digestion in the small intestine, nutrient utilization and performance of growing pigs fed diets containing corn with different particle sizes. For the performance evaluation, there were used 42 barrows and females (initial weight of 30.5 ± 1.78 kg) in a randomized block design (RBD) with three treatments (corn with different geometric mean diameter: 550, 700 e 850 μm) and seven replications. To evaluate the kinetics of starch digestion, one animal of each experimental trial was slaughtered. The small intestine was removed and separated into five equal parts. The starch digestibility in each segment was determined. To determine the total digestibility and nitrogen balance, 24 barrows (initial weight of 41.3 ± 4.72 kg) were housed in metabolism cages in RBD with three treatments and eight repetitions. The animals fed diets containing corn GMD 550 μm had better feed conversion (FC). However, the digestion of starch was gradual and variable between the degrees of grinding tested. A higher digestible energy, dry matter digestibility and nitrogen uptake in diets containing the corn ground with 550 μm and 700 μm . Thus, it was conclude that the GMD smallest of corn (550 μm) used in diets for growing pigs improves feed conversion. GMDs corn with 550, 700 and 850 μm have rapidly, intermediate and slow starch digestion, respectively.

Keywords: nutrition; particle size, performance, metabolism.

INTRODUÇÃO

Na nutrição animal, diversas fontes de amido com diferentes características são utilizadas. Dentre os alimentos comumente usados na formulação de rações para suínos, o milho representa a maior fonte deste nutriente.

O valor nutricional do amido contido no milho depende da composição e estrutura da molécula (FRANCO; PRETO; CIACCO, 1992), da composição e estrutura do grão (CANTARELLI et al., 2007), condições do trato gastrintestinal dos animais (CLASSEN, 1996), presença de outros nutrientes (REFSTIE et al., 1999), taxa de passagem (WEURDING et al., 2001) e forma de processamento (VIEIRA NETO et al., 2009).

Com relação ao processamento, deve-se destacar a granulometria, termo empregado para caracterizar o tamanho e a uniformidade das partículas. Sabe-se que esta influencia aspectos de importância técnica e econômica na produção de suínos (DHITAL et al., 2010). Portanto, o entendimento da inter-relação entre tamanho de partículas, nutrição animal e produção de rações é fundamental para maximizar os resultados econômicos do sistema produtivo (PUPA; HANNAS, 2003).

Nesse sentido, estudos têm sido realizados com o intuito de avaliar a influência da granulometria do milho sobre a digestibilidade do amido (DHITAL et al., 2010; FRANCO; CIACCO; TAVARES, 1998; FRANCO; PRETO; CIACCO, 1992; WEURDING et al., 2001). De acordo com os pesquisadores, a melhora na digestibilidade dos nutrientes, observada em função da redução do tamanho das partículas, estaria relacionada ao aumento das secreções digestivas e à maior superfície de exposição para difusão e ação das enzimas.

Aliado a isto, a velocidade com que o amido é digerido também tem sido considerada em alguns estudos. Na nutrição humana, a cinética de digestão,

por estar correlacionada ao índice glicêmico (ENGLYST; VEENSTRA; HUDSON, 1996), já é considerada uma importante característica alimentar. De acordo com Brand-Miller (1999) essa informação seria usada na manipulação da taxa de absorção de glicose para prevenir desordens metabólicas ou melhorar o desempenho esportivo.

Segundo Weurding et al. (2001), a taxa de digestão do amido pode afetar o nível de insulina no sangue e a disponibilidade de nutrientes ao mesmo tempo, uma vez que a alteração na velocidade de digestão adiantaria ou atrasaria a resposta da insulina e glicose pós prandial (CUMMINGS; ENGLYST, 1995). A importância deste fato na nutrição de suínos é evidente, pois a sincronização da energia dietética disponível e a disponibilidade de aminoácidos para a síntese proteica têm consequências nutricionais (RÉRAT, 1985).

Há evidências na literatura que a granulometria do cereal tem influência direta sobre a velocidade com que o amido é digerido. No entanto, informações relacionadas ao grau de moagem do milho e a taxa de digestão em suínos ainda são escassas.

Assim, o presente experimento teve como objetivo avaliar a cinética de digestão do amido no intestino delgado, o aproveitamento de nutrientes e o desempenho de suínos em crescimento recebendo rações contendo o milho em diferentes granulometrias.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Centro Experimental de Suínos do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, região sul do Estado de Minas Gerais, no período de janeiro a março de 2009. Foram realizados três ensaios para a avaliação do

desempenho, cinética de digestão do amido e digestibilidade total e balanço de nitrogênio.

Animais e Instalações

Desempenho - Foram utilizados 42 suínos machos castrados e fêmeas de alto potencial genético para ganho de carne magra (peso inicial de $30,5 \pm 1,78$ kg e final de $56,0 \pm 2,59$ kg). Os animais foram distribuídos em 21 baias equipadas com comedouro semi-automático e bebedouro tipo chupeta. Em cada baia, foram alojados dois animais, sendo um macho e uma fêmea. A temperatura mínima do galpão foi de $18,7 \pm 3,2$ °C e a máxima de $25,9 \pm 2,6$ °C.

Cinética de digestão do amido - Foram utilizados 21 suínos oriundos do desempenho (um animal de cada parcela experimental).

Digestibilidade total e balanço de nitrogênio - Foram utilizados 24 suínos machos castrados em crescimento (peso inicial de $41,3 \pm 4,72$ kg) de alto potencial genético para ganho de carne magra. Os animais foram alojados individualmente em gaiolas metabólicas tipo Pekas, adaptadas por Sales, Fialho e Volpato (2003), colocadas em salas climatizadas com controle parcial da temperatura ($21,5 \pm 1,9$ °C).

Rações experimentais

Foram fornecidas rações convencionais a base de milho e farelo de soja (Tabela 1), seguindo as recomendações mínimas para a linhagem nesta fase de produção (30 a 60 kg) e as rações apresentaram a mesma composição centesimal, diferindo apenas quanto à granulometria dos milhos. Assim, os tratamentos foram estabelecidos em T1 - Milho com diâmetro geométrico médio (DGM) de 550µm; T2 - Milho com DGM de 700 µm e T3 - Milho com DGM de 850µm.

Tabela 1 Composição centesimal e calculada das dietas experimentais

Item	Quantidade (kg)
Milho	68,23
Farelo de soja	27,20
Óleo de soja	1,35
Fosfato bicálcico	1,40
Calcário calcítico	0,74
Sal comum iodado	0,30
Suplemento vitamínico-mineral ¹	0,40
L-lisina HCl 78%	0,24
DL-metionina 99%	0,07
L-treonina 98%	0,05
Promotor de crescimento ²	0,02
Composição calculada	
Energia metabolizável (kcal/kg)	3255
Proteína bruta (%)	17,96
Amido (%)	46,80
Fósforo disponível (%)	0,36
Cálcio (%)	0,71
Lisina digestível (%)	1,00
Metionina digestível (%)	0,33
Treonina digestível (%)	0,65

¹ Composição/kg de produto: cobalto - 125 mg; cobre - 5.000 mg; ferro - 17.500 mg; iodo - 200 mg; manganês - 10.000 mg; selênio - 125 mg; zinco - 20.000 mg; niacina - 6.250 mg; ácido fólico - 150 mg; ácido pantotênico - 2.500 mg; biotina - 12,5 mg; colina - 60.000 mg; vit. A - 2.000.000 U.I.; vit. B₁ - 250 mg; vit. B₁₂ - 5.000 mcg; vit. B₂ - 1.000 mg; vit. B₆ - 500 mg; vit. C - 12.500 mg; vit. D₃ - 300.000 U.I.; vit. E - 5.000 UI; vit. K₃ - 625 mg; BHT - 500 mg

² Princípio ativo: tilosina granulada

A variação na granulometria foi obtida mediante diferentes graus de moagem do milho em moinho de martelos com peneiras de 1,0; 2,5 e 4,0 mm para os DGMs de 550, 700 e 850 µm, respectivamente. O farelo de soja de todas as rações experimentais foi moído em peneira de 3,0 mm. A determinação do

DGM e do desvio padrão geométrico (DPG) foi realizada seguindo a metodologia descrita por Zanotto e Bellaver (1996). O DGM e DPG foi, respectivamente, de 558 μm e 1,88 para o milho do T1, 729 μm e 1,84 para o milho do T2 e 858 μm e 1,92 para o milho do T3. O DGM e DPG do farelo de soja foi de 712 μm e 1,90, respectivamente.

Procedimento Experimental

Desempenho - No ensaio de desempenho, o período experimental foi de 30 dias. Durante este período água e ração foram fornecidas à vontade. Diariamente, foi realizada a limpeza das baias e, duas vezes ao dia, a ração fornecida e os desperdícios foram pesados para determinação do consumo de cada baia.

Para a determinação do ganho de peso, os animais foram pesados no início e no final do experimento. A conversão alimentar foi obtida por meio da relação entre o consumo de ração e o ganho de peso durante o período experimental.

Cinética de Digestão do Amido - Durante cinco dias, um animal de cada parcela foi alimentado com a mesma ração do período anterior, porém, com adição de Cr_2O_3 . A quantidade de ração fornecida a cada animal foi calculada com base no peso metabólico ($\text{PV}^{0,75}$) e fracionada duas vezes ao dia. No sexto dia, 6h após a última refeição, tempo estipulado em experimento prévio, os suínos foram abatidos por insensibilização elétrica e posterior sangria com os animais em decúbito dorsal. Imediatamente após a sangria, o intestino delgado foi removido e segmentado em cinco partes iguais. Após as segmentações, a digesta total de cada segmento foi armazenada em $-20\text{ }^\circ\text{C}$ e posteriormente liofilizada e analisada em laboratório.

O coeficiente de digestão do amido em cada segmento intestinal, calculado conforme Weurding et al. (2001), foi utilizado para como parâmetro

indicador da cinética de digestão. Para isso, considerou-se que o tamanho de partículas tem pouca influência sobre a taxa de passagem do alimento em suínos (IVAN et al., 1974; ZANOTTO et al., 1995).

A concentração de amido das dietas experimentais e das amostras de digestas de cada segmento foi determinada pelo método da hidrólise enzimática por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), conforme metodologia descrita por Rickard e Behn (1987). O amido foi calculado como glicose total – glicose livre multiplicado pelo fator 0,9 (SOMOGY, 1945). Assumiu-se que toda glicose livre na digesta era proveniente do amido.

Digestibilidade total e balanço de nitrogênio - Após um período de cinco dias para adaptação dos animais às gaiolas, às rações e também para o ajuste do consumo, as fezes e urina foram coletadas diariamente, durante um período de quatro dias, e armazenadas em *freezer* para posteriores análises.

A quantidade de ração fornecida diariamente a cada animal foi calculada com base no peso metabólico ($PV^{0,75}$) e no ajuste ao menor consumo observado durante o período de adaptação dos animais às gaiolas e dietas experimentais. Foram feitas duas alimentações: às 7 h e às 17 h.

O óxido férrico (Fe_2O_3) foi utilizado como marcador fecal, a fim de determinar o início e o final do período de coleta de fezes e de urina. As fezes foram coletadas diariamente e acondicionadas em sacos plásticos mantidos em congelador (-10 °C). A urina foi coletada diariamente com o auxílio de um balde plástico com filtro, a fim de prevenir contaminações com fezes e pêlos. No balde, foram adicionados, diariamente, 20 ml de ácido clorídrico (HCl) para evitar proliferação bacteriana e possíveis perdas de nitrogênio. Foi retirada uma alíquota de 10% do volume total diário de urina, que foi armazenada em congelador (-10 °C).

Ao final do período de coleta, as amostras de fezes foram retiradas do *freezer* e deixadas em temperatura ambiente até o descongelamento e depois

homogeneizadas. No caso da urina, as amostras foram descongeladas, homogeneizadas e filtradas. Após este procedimento, o material foi encaminhado para a realização das análises laboratoriais.

A matéria seca foi determinada após pesagem e secagem das amostras em estufa aos 65 °C com ventilação forçada, até atingir peso constante e, posteriormente, em estufa aos 105 °C por 24 horas.

O nitrogênio das rações, fezes e urina foi determinado usando-se o método Kjeldahl (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST - AOAC, 1990) e a energia bruta, através da bomba calorimétrica adiabática (Parr Instruments Co). Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Pesquisa Animal da Universidade Federal de Lavras.

Análises estatísticas

Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados com três tratamentos e sete repetições para o ensaio de desempenho e oito repetições para a digestibilidade total e balanço de nitrogênio. O critério para formação dos blocos foi o peso inicial dos animais. Para a cinética de digestão do amido adotou-se um delineamento inteiramente ao acaso com dados desbalanceados.

No ensaio de desempenho, as variáveis analisadas foram o ganho de peso médio diário, o consumo de ração médio diário e a conversão alimentar. Para a cinética de digestão do amido foram avaliados os coeficientes de digestibilidade do amido em cada segmento intestinal. Com relação ao ensaio de digestibilidade total e balanço de nitrogênio, avaliou-se o coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CDMS), o percentual de nitrogênio absorvido (%Nabs), o percentual de nitrogênio retido (%Nret), o percentual de nitrogênio retido do que foi absorvido (%Nret/abs), a energia digestível (ED) e a energia metabolizável (EM). Para as variáveis de desempenho, a unidade experimental

foi representada por dois animais. Para as demais, um animal representou a parcela experimental.

Os resultados foram analisados através do programa computacional Statistical Analysis System (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 1996). Os dados foram submetidos à análise de variância (PROC GLM), sendo anteriormente verificada a normalidade dos resíduos pelo Teste de SHAPIRO-WILK (PROC UNIVARIATE) e a homogeneidade das variâncias comparadas pelo Teste QUI QUADRADO (PROC GLM). Para comparar as diferentes granulometrias utilizou-se o teste SNK, a 5 % de probabilidade.

RESULTADOS

Os suínos que receberam rações contendo milho com DGM 550 apresentaram ($P < 0,05$) melhor conversão alimentar, entretanto, não foi observado efeito do tamanho das partículas sobre as demais variáveis estudadas (Tabela 1).

Tabela 1 Desempenho de suínos em crescimento alimentados com rações com milhos em diferentes granulometrias¹

Variável Analisada	Granulometria do milho (μm)			CV (%)
	550	700	850	
Ganho de peso médio diário (kg/dia)	0,859	0,856	0,852	4,90
Consumo de ração médio diário (kg/dia)	1,814	1,903	1,883	4,77
Conversão alimentar	2,11a	2,22b	2,21b	2,71

¹ Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste SNK ($P < 0,05$)

Com relação à cinética de digestão do amido nos diferentes segmentos intestinais dos suínos avaliados (Tabela 2), observou-se que, nas três granulometrias testadas, 90% do amido foi digerido até o íleo (segmento final), não havendo diferença ($P>0,05$) neste segmento. No entanto, as diferenças ($P<0,05$) observadas entre as dietas experimentais nos quatro primeiros segmentos estudados indicam que a digestão do amido foi gradual e variável entre os graus de moagem testados.

Tabela 2 Coeficiente de digestão do amido nos segmentos intestinais de suínos em crescimento alimentados com rações com milhos em diferentes granulometrias¹

Segmento Intestinal	Coeficiente de Digestão do Amido (%)			CV (%)
	Granulometria (μm)			
	550	700	850	
Inicial	59,90 ^a	21,83b	19,12b	17,06
Médio-inicial	75,38 ^a	61,43b	33,90c	6,77
Médio	88,60 ^a	65,77b	62,82b	5,80
Médio-final	91,61 ^a	77,32b	79,45b	7,22
Final	91,99	92,28	90,07	3,02

¹ Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste SNK ($P<0,05$)

Nos animais que receberam milho DGM 550, foi verificado que 60% do amido dietético foi digerido já no primeiro segmento intestinal isolado e praticamente toda a digestão observada ao longo do intestino delgado foi alcançada já no terceiro segmento (médio). Para aqueles alimentados com milho de DGM 700, verificou-se que esta digestão foi um pouco mais lenta que a observada na granulometria mais fina, ou seja, 60% do amido foi digerido até a segunda porção e aproximadamente 80% no quarto segmento. Com relação aos

que foram alimentados com as partículas maiores, observou-se que a digestão do amido foi mais lenta que a dos demais, sendo a digestibilidade de 60% alcançada somente no terceiro segmento intestinal e, após isso, apresentou comportamento semelhante ao observado no DGM 700.

Quanto à digestibilidade dos nutrientes e o balanço de nitrogênio das rações (Tabela 3), verificou-se maior ($P<0,05$) energia digestível (ED), digestibilidade da matéria seca (MSD) e da proteína (nitrogênio absorvido) para as rações contendo os milhos moídos com 550 μm e 700 μm , sem efeito ($P>0,05$) da granulometria do milho sobre a energia metabolizável, nitrogênio retido ou nitrogênio retido do absorvido.

Tabela 3 Valor energético e aproveitamento de nitrogênio de rações para suínos em crescimento, formuladas com milho em diferentes granulometrias¹

Variável Analisada	Granulometria do milho (μm)			CV (%)
	550	700	850	
Energia Digestível (Kcal/kg)	3579a	3567a	3502b	1,26
Energia Metabolizável (Kcal/kg)	3216	3164	3163	4,69
Matéria seca digestível (%)	89,68a	89,31a	88,30b	1,23
Nitrogênio absorvido (%)	89,44a	88,18a	86,28b	1,96
Nitrogênio retido (%)	53,46	58,41	55,18	13,46
Nitrogênio retido/absorvido (%)	59,79	66,25	63,91	13,36

¹ Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste SNK ($P<0,05$)

DISCUSSÃO

A melhora da conversão alimentar dos suínos alimentados com rações contendo milhos de DGM 550 estão de acordo com os resultados disponíveis na literatura (GIESEMANN et al., 1990; GRABOUSKI et al., 1987; HEALY et al., 1994; LAWRENCE, 1983; WONDRA et al., 1995a, 1995b; ZANOTTO;

GUIDONE; PIENIZ, 1999). Em geral, a redução das partículas da dieta tem pouca influência sobre o ganho de peso dos animais, sendo mais efetiva na redução do consumo diário de ração e principalmente, como foi observado no presente experimento, na eficiência alimentar (HANCOCK et al., 1997).

Estes resultados podem ser explicados pela melhor digestibilidade dos nutrientes. É consenso entre os autores que a redução do tamanho das partículas, por aumentar a superfície de contato por unidade de massa, facilita a difusão e ação das enzimas digestivas. Além disso, de acordo com Maxwell et al. (1970), granulometrias mais finas estão associadas à maior produção de ácido clorídrico e à maior atividade da pepsina no estômago, fato essencial para a quebra da matriz protéica que envolve os grânulos de amido. Sabe-se que os grânulos de amido estão firmemente “empacotados” às proteínas do endosperma, e estas interferem diretamente na digestão total deste polissacarídeo e na velocidade de hidrólise pelas enzimas digestivas (CANTARELLI et al., 2007; DHITAL et al., 2010; ZHANG; AO; HAMAKER, 2006).

De fato, observações microscópicas, realizadas por Franco, Preto e Ciacco (1992) indicaram diferentes modos de ação das enzimas digestivas em partículas do milho com diferentes tamanhos. Foi demonstrado por estes autores que os grânulos de amido são essencialmente separados da parede celular e dos corpos protéicos nas partículas mais finas.

A melhora observada na digestibilidade da energia, matéria seca e proteína para os milhos de DGM 550 e DGM 700 podem estar relacionadas à quebra na matriz protéica que envolve o amido do milho. Nota-se, porém, que isto não foi suficiente para melhorar a digestibilidade ileal do amido, uma vez que a mesma foi similar entre as três granulometrias testadas.

No entanto, ainda que não tenha sido suficiente para influenciar a digestão ileal do amido, a variação no tamanho das partículas do grão de milho resultou em cinéticas de digestão diferentes. Os milhos DGM 550, 700 e 850

apresentaram, respectivamente, rápida, intermediária e lenta digestão do amido. A maior velocidade de digestão do amido observada à medida que se reduziu o tamanho das partículas também foram apresentadas por Franco, Preto e Ciacco (1992), com milho, Al-Rabadi, Gilbert e Gidley (2009) com cevada e sorgo, Dhital et al. (2010) com milho e batata, e Mahasukhonthachat, Sopade e Gidley (2010) com sorgo. Al-Rabadi, Gilbert e Gidley (2009) concluíram que a o tamanho e a distribuição das partículas são os fatores de maior influência sobre a taxa de digestão do amido em grãos *in natura*. Os resultados obtidos no presente trabalho confirmaram este fato.

Há muito tempo, desde o trabalho de Fraps (1932), tem sido descrito os benefícios da redução das partículas dos alimentos que compõem as dietas. Entretanto, não há consenso com relação à granulometria ideal das rações para suínos nas diferentes fases da produção, razão pela qual diversos estudos ainda estão sendo realizados.

Em geral, vários fatores são considerados para a determinação do tamanho de partícula ideal para cada fase. Do ponto de vista nutricional, granulometrias mais finas favorecem a digestão, reduzem a variabilidade das partículas, melhoram a mistura das rações e favorecem a peletização (GOODBAND et al., 2006). Por outro lado, podem estar relacionadas a problemas respiratórios (pulvurulência das rações), ulcerações gástricas e diminuição do fluxo dos comedouros (ESMINGER, 1985; GROESBECK et al., 2003; STRAW et al., 1994). Da mesma forma, do ponto de vista de produção de rações, quanto maior o tamanho de partículas maior a economia de energia e eficiência (toneladas/hora) de moagem (BELLAVÉR; NONES, 2000).

Portanto, com base nos resultados apresentados, a cinética de digestão do amido é mais um fator a ser considerado na determinação da granulometria correta do milho para suínos. Desta forma, pode-se inferir que a velocidade com que o amido é digerido no intestino delgado, por estar relacionada ao índice

glicêmico (ENGLYST; VEENSTRA; HUDSON, 1996), pode ter implicações práticas na nutrição dos suínos.

Pesquisas têm demonstrado que o conteúdo nutricional do alimento ou dieta pode não ser o único fator determinante no crescimento e desenvolvimento dos animais (LI et al., 2008; MEULEN et al., 1997; WEURDING; ENTING; VERSTEGEN, 2003; YIN et al., 2010). A região do intestino delgado em que predomina a digestão do amido, bem como a velocidade do processo, pode afetar diretamente a eficiência de utilização dos nutrientes em função da sincronização da energia dietética disponível com a absorção de aminoácidos, resposta insulinêmica e catabolismo de aminoácidos no intestino. Entretanto, faz-se necessário a realização de estudos que relacionem tamanho de partículas, cinética de digestão e exigência nutricional dos animais.

CONCLUSÃO

O milho com menor DGM (550 μm) utilizado em rações para suínos em crescimento melhora a conversão alimentar dos animais. A variação da granulometria do milho entre 550 e 850 μm proporciona a mesma digestibilidade ileal do amido da dieta, porém com taxas de digestão diferentes. Neste sentido, milhos com DGMs de 550, 700 e 850 μm proporcionam digestão rápida, intermediária e lenta do amido, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- AL-RABADI, G. J. S.; GILBERT, R. G.; GIDLEY, M. J. Effect of particle size on kinetics of starch digestion in milled barley and sorghum grains by porcine alpha-amylase. **Journal of Cereal Science**, London, v. 50, n. 2, p. 198-204, Feb. 2009.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST. **Official methods of analysis**. Arlington, 1990. 1230 p.
- BELLAVER, C.; NONES, K. A importância da granulometria, da mistura e da pelletização da ração avícola. In: SIMPÓSIO DE AVICULTURA, 4., 2000, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 2000. 1 CD-ROM.
- BRAND-MILLER, J. C. The glycemic index of foods: implications for the food industry. **Food Australia**, Melbourne, v. 51, n. 3, p. 72-73, Mar. 1999.
- CANTARELLI, V. S. et al. Composição química, vitreosidade e digestibilidade de diferentes híbridos de milho para suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 860-864, maio/jun. 2007.
- CLASSEN, H. L. Cereal grain starch and exogenous enzymes in poultry diets. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 62, n. 1, p. 21-27, Oct. 1996.
- CUMMINGS, J. H.; ENGLYST, H. N. Gastrointestinal effects of food carbohydrate. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 61, n. 4, p. 9388-9455, Apr. 1995.
- DHITAL, S. et al. Relationship between granule size and in vitro digestibility of maize and potato starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 82, n. 2, p. 480-488, Sept. 2010.
- ENGLYST, H. N.; VEENSTRA, J.; HUDSON, G. Measurement of rapidly available glucose (RAG) in plant foods: a potential in vitro predictor of the glycaemic response. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 75, n. 3, p. 327-337, Mar. 1996.
- ENSMINGER, M. E. Processing effects on nutrition. In: MCELLHINEY, R. R. (Ed.). **Feed manufacturing technology III**. Arlington: American Feed Industry Association, 1985. p. 529-540.

FRANCO, C. M. L.; CIACCO, C. F.; TAVARES, D. Q. The structure of waxy corn starch: effect of granule size. **Starch/Starke**, Weinheim, v. 50, n. 5, p. 193-198, May 1998.

FRANCO, C. M. L.; PRETO, S. J. R.; CIACCO, C. F. Factors that affect the enzymatic degradation of natural starch granules: effect of the size of the granules. **Starch**, Weinheim, v. 44, n. 11, p. 422-426, Nov. 1992.

FRAPS, G. S. Digestibility and production coefficients of hog feeds. **Texas Agricultural Experiment Station Bulletin**, College Station, v. 454, p. 1-24, 1932.

GIESEMANN, M. A. et al. Effect of particle size of corn and grain sorghum on growth and digestibility by growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, n. 1, p. 104, 1990. Abstract.

GOODBAND, B. et al. **Nutritional considerations for optimizing reproductive efficiency**. Manhattan: Kansas State University, 2006. 16 p.

GRABOUSKI, H. A. et al. **New varieties of grain sorghum-are they better for swine**. Lincoln: Lincoln Press, 1987. 24 p. (Nebraska Swine Report, EC87-219).

GROESBECK, C. N. et al. **Particle size, mill type, and added fat influence flow ability of ground corn**. Topeka: Kansas Swine Industry, 2003. 920 p. (Kansas Agricultural Experiment Station Contribution, 04-120-S).

HANCOCK, J. D. et al. Feed processing and modifications affect growth performance and economics of swine production. In: **SHORT COURSE ON NUTRITION AND MANAGEMENT OF WEANLING PIGS**, 1., 1997, San José. **Proceedings...** San José: Society of Nutrition of Weanling Pigs, 1997. p. 1-20.

HEALY, B. J. et al. Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum for nursery pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 9, p. 2227-2236, Sept. 1994.

IVAN, M. et al. Nutritional evaluation of wheat: I., effects of preparation on digestibility of dry matter, energy and nitrogen in pigs. **Animal Production**, Edinburgh, v. 19, p. 359-365, 1974.

LAWRENCE, T. L. J. The effects of cereal particle size and pelleting on the nutritive value of oat-based diets for the growing pig. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 91-97, May 1983.

LI, T. J. et al. Dietary starch sources affect net portal appearance of amino acids and glucose in growing pigs. **Animal Science**, Edinburg, v. 2, n. 5, p. 723-729, Sept. 2008.

MAHASUKHONTHACHAT, K.; SOPADE, P. A.; GIDLEY, M. J. Kinetics of starch digestion and functional properties of twin-screw extruded sorghum. **Journal of Cereal Science**, London, v. 51, n. 3, p. 392-401, May 2010.

MAXWELL, C. Y. et al. Effect of dietary particle size on lesion development and on the contents of various regions of the swine stomach. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 6, n. 6, p. 911-922, 1970.

MEULEN, J. et al. Effect of source of starch on net portal flux of glucose, lactate, volatile fatty acids, and amino acids in the pig. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 78, n. 4, p. 533-544, Mar. 1997.

PUPA, J. M. R.; HANNAS, M. I. Reduzindo o custo de produção animal através da adequação da granulometria das rações. **Allnutri**, Viçosa, MG, v. 2, n. 2, p. 1-3, ago. 2003.

REFSTIE, S. et al. Nutrient digestibility in Atlantic salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soyabean products. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 79, n. 4, p. 331-345, June 1999.

RÉRAT, A. Intestinal absorption of end products from digestion of carbohydrates and proteins in the pig. **Archives of Animal Nutrition**, Montreux, v. 35, n. 7, p. 461-480, 1985.

RICKARD, J. E.; BEHN, K. R. Evaluation of acid and enzyme hydrolytic methods for determination of cassava starch. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 41, n. 4, p. 373-379, Aug. 1987.

SALES, G. T.; FIALHO, E. T.; VOLPATO, C. T. Modificação nas gaiolas metabólicas para experimentos com suínos. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, 16., 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2003. p. 249.

SOMOGY, M. Determination of blood sugar. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, n. 160, p. 69-73, 1945.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS system for Microsoft Windows**. Version 6.12. Cary, 1996. 1 CD-ROM.

STRAW, B. et al. Prevalence of gastric ulcers in normal, sick and feed-deprived pigs. **American Society of Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 2, p. 51-55, Mar. 1994.

VIEIRA NETO, J. et al. Evaluation of different corn textures in dry grain or silage forms for piglets from 7 to 15 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 9, p. 1757-1761, set. 2009.

WEURDING, R. E.; ENTING, H.; VERSTEGEN, M. W. A. The relation between starch digestion rate and amino acid level for broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, n. 2, p. 279-284, Feb. 2003.

WEURDING, R. E. et al. Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens differs among feedstuffs. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 131, n. 2, p. 2329-2335, Feb. 2001.

WILFART, A. et al. Sites of nutrient digestion in growing pigs: effect of dietary fiber. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, n. 4, p. 976-983, Apr. 2007.

WONDRA, K. J. et al. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility and stomach morphology in finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, n. 3, p. 457-463, Mar. 1995a.

_____. Reducing particle size of corn in lactation diets from 1,200 to 400 micrometers improves sow and litter performance. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, n. 2, p. 421-426, Feb. 1995b.

YIN, F. et al. Digestion rate of dietary starch affects systemic circulation of amino acids in weaned pigs. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 103, n. 10, p. 1404-1412, Oct. 2010.

ZANOTTO, D. L.; BELLAVER, C. **Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações em suínos e aves**. Concórdia: EMBRAPA-CNPASA, 1996. 5 p. (Comunicado Técnico, 215).

ZANOTTO, D. L. et al. Granulometria do milho da digestibilidade das dietas para suínos em crescimento e terminação. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 24, n. 3, p. 428-436, 1995.

ZANOTTO, D. L.; GUIDONE, A. L.; PIENIZ, L. C. **Granulometria do milho em rações para engorda em suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1999. 2 p.

ZHANG, G.; AO, Z.; HAMAKER, B. R. Slow digestion property of native cereal starches. **Biomacromolecules**, Washington, v. 7, n. 11, p. 3252-3258, Oct. 2006.

ARTIGO 2

**NÍVEIS DE LISINA EM RAÇÕES COM MILHO DE DIFERENTES
CINÉTICAS DE DIGESTÃO DO AMIDO PARA SUÍNOS EM
CRESCIMENTO**

Amaral, N.O.; Fialho, E.T. et al.

**Artigo redigido conforme norma da Revista Animal Feed Science and
Technology – versão preliminar**

Níveis de lisina em rações com milho de diferentes cinéticas de digestão do amido para suínos em crescimento

Resumo – Objetivou-se verificar se a cinética de digestão do amido afeta a exigência de lisina digestível para suínos em crescimento. Foram utilizados 120 suínos machos castrados e fêmeas (peso médio inicial de $34,2 \pm 3,8$ kg) para avaliação do desempenho e 60 suínos machos castrados (peso inicial de $40,3 \pm 5,9$ kg) para determinação da digestibilidade total e balanço de nitrogênio. Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 3×4 , sendo três granulometrias (milho com DGM de 550, 700 e 850 μm) e quatro níveis de lisina (0,85; 0,95; 1,05 e 1,15%), totalizando doze tratamentos e cinco repetições cada. Houve interação entre os fatores estudados, para consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA). Para os níveis de lisina digestível de 0,85 e 0,95% verificou-se menor CRMD dos animais que receberam a fonte de digestão lenta do amido (ADL). No nível de 1,05 % de lisina, entretanto, esta situação se inverteu. Além disso, observou-se efeito quadrático no CRMD de animais que receberam ADL na dieta, à medida que se elevou o nível de lisina. Para CA, animais que receberam dietas contendo ADL e formuladas com 0,85% de lisina digestível apresentaram CA 14% menor que aqueles alimentados com dietas contendo amido de digestão rápida (ADR) e intermediária (ADI). Além disso, foi observado efeito quadrático à medida que se aumentou o nível de lisina na fonte ADR e efeito linear para a fonte ADL. Assim, conclui-se que a variação da cinética de digestão do amido, proporcionada por diferentes graus de moagem do milho, influencia a exigência de lisina de suínos em crescimento (30 a 60 kg). A granulometria de digestão lenta do amido (850 μm) melhora a eficiência de utilização da lisina pelos suínos.

Palavras-chave: nutrição; tamanho de partículas; desempenho; balanço de nitrogênio, aminoácidos.

Lysine levels in diets with different corn starch digestion kinetics for growing in pigs

Abstract - This study was conducted to verify the influence of the kinetics of starch digestion on digestible lysine requirement of growing pigs. It were used a total of 120 females and barrows (initial weight of 34.2 kg) for performance evaluation and a total of 60 barrows (initial weight of 40.3 kg) to determine the total digestibility and nitrogen balance. It were used a randomized block design in factorial 3 x 4, with three (maize DGM 550, 700 and 850 mm) and four levels of lysine (0.85, 0.95, 1.05 and 1.15%) totaling twelve treatments and five replications. There was a significant interaction between treatments for average daily feed intake (ADFI) and FC. For lysine levels of 0.85 and 0.95% showed lower ADFI of pigs fed the source of slow digested starch (SDS). At 1.05% level, however, this situation was reversed. Moreover, there was a quadratic effect on ADFI animals receiving SDS in the diet, as they raised the level of lysine. For FC, the animals fed diets formulated with SDS and 0.85% lysine had FC14% lower than those fed diets containing rapidly digested starch (RDS) and intermediate digested starch (IDS). Moreover, there was a quadratic effect as it increased the level of lysine in RDS and a linear effect to the source SDS. Thus, the conclusion is that the variation of the kinetics of starch digestion provided by different degrees of grinding corn influences the lysine requirement of growing pigs (30-60 kg). The particle size of slow starch digestion (850 μ m) enhances the efficiency of lysine utilization by pigs.

Keywords: nutrition; particle size, performance; nitrogen balance; amino acids.

INTRODUÇÃO

A maior parte da energia metabolizável das dietas convencionais para suínos é fornecida pelo amido dietético, normalmente proveniente de cereais, sementes de leguminosas, tubérculos e raízes. Em alimentos não processados, o amido está presente em grânulos (BANKS; MUIR, 1980), que diferem entre as fontes pelo tamanho, cristalinidade e teor de amilose e amilopectina (ELIASSON; GUDMUNDSSON, 1996).

Diferenças nas propriedades do amido, bem como na acessibilidade dos grânulos determinam sua susceptibilidade à degradação enzimática no intestino delgado. De acordo com alguns autores (AL-RABADI; GILBERT; GIDLEY, 2009; DHITAL et al., 2010; MAHASUKHONTHACHAT; SOPADE; GIDLEY, 2010), o grau de moagem, por exemplo, tem influência direta sobre a digestibilidade e sobre a proporção do amido que é digerido por unidade de tempo.

De modo geral, os sistemas de avaliação de alimentos para monogástricos não levam em consideração a velocidade com que os polímeros são hidrolizados, bem como a extensão da degradação no intestino delgado. Entretanto, pesquisas recentes têm demonstrado que estes fatores, por estarem diretamente relacionados com a sincronização entre a disponibilidade de energia e a síntese de proteínas e outros compostos vitais ao organismo (LI et al., 2008; LIU; ZHANG; BIN, 2007; NOAH et al., 2000), podem exercer influência significativa sobre a eficiência de utilização dos principais aminoácidos limitantes, entre eles a lisina (GUTIERREZ-DEL-ALAMO et al., 2009).

Há evidências que a quantidade de glicose absorvida nos diferentes segmentos do intestino (duodeno, jejuno e íleo) é determinada pela taxa de digestão do amido e pela taxa de passagem do alimento no conteúdo intestinal (WEURDING; ENTING; VERSTEGEN, 2003). Sabe-se que estes fatores

podem ser manipulados na dieta através da combinação de diferentes fontes de amido ou pelo processamento das mesmas (WEURDING et al., 2001; WILFART et al., 2008). Entretanto, há pouca informação disponível na literatura relacionando cinética de digestão, formulação de dietas e desempenho de suínos.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo verificar se a cinética de digestão do amido afeta a exigência de lisina digestível de suínos em crescimento. Para isto, foram utilizados milhos moídos para apresentarem rápida, intermediária e lenta digestão do amido, obtidos por Amaral et al. (Capítulo II).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Centro Experimental de Suínos do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, região sul do Estado de Minas Gerais, no período de setembro a dezembro de 2010. Foram realizados dois ensaios para a avaliação do desempenho e da digestibilidade dos nutrientes e balanço de nitrogênio.

Animais e Instalações

Desempenho - Foram utilizados 120 suínos machos castrados e fêmeas de alto potencial genético para ganho de carne magra (peso inicial de $34,2 \pm 3,8$ kg e peso final de $64,6 \pm 5,0$ kg). Os animais foram distribuídos em 60 baias equipadas com comedouro semi-automático e bebedouro tipo chupeta. Em cada baia foram alojados dois animais, sendo um macho e uma fêmea. A temperatura mínima no galpão foi de $19,5 \pm 3,4$ °C e a máxima de $26,2 \pm 2,8$ °C.

Digestibilidade dos nutrientes e balanço de nitrogênio – Foram utilizados 60 suínos machos castrados em crescimento (peso inicial de $40,3 \pm 5,9$

kg) com alto potencial genético para ganho de carne magra. Os animais foram alojados individualmente em gaiolas metabólicas tipo Pekas, porém adaptadas por Sales, Fialho e Volpato (2003), colocadas em salas climatizadas com controle parcial da temperatura ($21,9 \pm 1,8$ °C).

Rações experimentais

Em estudo prévio realizado por Amaral et al. (capítulo II), foi verificado que milhos com DGMs de aproximadamente 550, 700 e 850 μm apresentam, respectivamente, cinéticas de digestão rápida, intermediária e lenta. Desta forma, foram fornecidas rações (Tabela 1) formuladas com milhos de diferentes granulometrias (cinéticas de digestão) e farelo de soja, seguindo as recomendações mínimas para a linhagem nesta fase de produção (30 aos 60 kg), com exceção dos níveis de lisina, metionina + cistina e treonina. Os níveis de lisina digestível variaram entre 0,85 e 1,15%, para cada granulometria estudada. As concentrações de metionina + cistina (63%) e treonina (70%) foram ajustadas para manter a relação ideal com a lisina (100%).

A variação na granulometria foi obtida mediante diferentes graus de moagem do milho em moinho de martelos com peneiras de 1,0; 2,5 e 4,0 mm para os milhos de partículas finas, intermediárias e grosseiras, respectivamente. O farelo de soja de todas as rações experimentais foi moído em peneira de 3,0 mm. A determinação do DGM e do desvio padrão geométrico (DPG) foi realizada seguindo a metodologia descrita por Zanotto e Bellaver (1996). O DGM e DPG do milho foi, respectivamente, 542 μm e 1,81 para o milho do T1, 715 μm e 1,74 para o milho do T2 e 842 μm e 1,93 para o milho do T3. O DGM e DPG do farelo de soja foi de 704 μm e 1,88, respectivamente.

Tabela 1 Composição centesimal e calculada das dietas experimentais contendo milhos de 550, 700 e 850 μm e formuladas com diferentes níveis de lisina

Item	Nível de Lisina Digestível (%)			
	0,85	0,95	1,05	1,15
Milho	67,96	67,96	67,96	67,96
Farelo de soja	27,20	27,20	27,20	27,20
Óleo de soja	1,35	1,35	1,35	1,35
Fosfato bicálcico	1,40	1,40	1,40	1,40
Calcário calcítico	0,74	0,74	0,74	0,74
Sal iodatado	0,30	0,30	0,30	0,30
Suplemento vitamínico ¹	0,10	0,10	0,10	0,10
Suplemento mineral ²	0,10	0,10	0,10	0,10
L-lisina HCl 78%	0,042	0,170	0,298	0,426
DL-metionina 99%	0,0	0,064	0,126	0,189
L-treonina 98%	0,0	0,071	0,141	0,212
Promotor de crescimento ³	0,02	0,02	0,02	0,02
Caolim	0,79	0,52	0,32	0,0
Composição calculada				
Energia metabolizável (kcal/kg)	3246	3246	3246	3246
Proteína bruta (%)	17,94	17,94	17,94	17,94
Amido (%)	46,63	46,63	46,63	46,63
Fósforo disponível (%)	0,36	0,36	0,36	0,36
Cálcio (%)	0,71	0,71	0,71	0,71
Lisina digestível (%)	0,85	0,95	1,05	1,15
Metionina + cistina digestível (%)	0,53	0,60	0,66	0,72
Treonina digestível (%)	0,60	0,67	0,74	0,81

¹ Suplemento vitamínico contendo: vitamina A, 8.000.000 UI; vitamina D3, 1.200.000 UI; vitamina E, 20 g; vitamina K3, 2.500 mg; vitamina B1, 1.000 mg; riboflavina (B2), 4.000 mg; piridoxina (B6), 2.000 mg; vitamina B12, 20.000 mcg; niacina, 25.000 mg; ácido pantotênico, 10 g; ácido fólico, 600 mg; biotina, 50 mg; vitamina C, 50 g; antioxidante, 125 mg e excipiente q.s.q. 1000 g

² Suplemento mineral contendo, por kg do produto: selênio, 500 mg; ferro, 180 g; cobre, 20 g; manganês, 80 g; zinco, 140 g; iodo, 4 g; cobalto, 4 g e excipiente q.s.q. 1000 g

³Princípio ativo: tilosina granulada

Procedimento Experimental

Desempenho – No ensaio de desempenho o período experimental foi de 35 dias. Durante este período, água e ração foram fornecidas à vontade. Diariamente, foi realizada a limpeza das baias e, duas vezes ao dia, a ração foi fornecida e os desperdícios foram pesados para determinação do consumo de cada baia.

Para a determinação do ganho de peso, os animais foram pesados no início e no final do experimento. A conversão alimentar foi obtida por meio da relação entre o consumo de ração e o ganho de peso durante o período experimental.

Digestibilidade total e balanço de nitrogênio - Após um período de cinco dias para adaptação dos animais às gaiolas, às rações e também para o ajuste do consumo ($PV^{0,75}$), as fezes e urina foram coletadas diariamente (quatro dias) e armazenadas em *freezer* para posterior análises.

A quantidade de ração fornecida diariamente a cada animal foi calculada com base no peso metabólico ($PV^{0,75}$) e no ajuste ao menor consumo observado durante o período de adaptação dos animais às gaiolas e dietas experimentais. Foram feitas duas alimentações: às 7 h e às 16 h.

O óxido férrico (Fe_2O_3) foi utilizado como marcador fecal, a fim de determinar o início e o final do período de coleta de fezes e de urina. As fezes foram coletadas diariamente e acondicionadas em sacos plásticos mantidos em congelador (-10 °C). A urina foi coletada diariamente com o auxílio de um balde plástico com filtro, a fim de prevenir contaminações com fezes e pêlos. No balde, foram adicionados, diariamente, 20 ml de ácido clorídrico (HCl) para evitar proliferação bacteriana e possíveis perdas de nitrogênio. Foi retirada uma alíquota de 10% do volume total diário de urina, que foi armazenada em congelador (-10 °C).

No final do período de coleta, as amostras de fezes foram retiradas do *freezer* e deixadas em temperatura ambiente até o descongelamento e depois homogeneizadas. No caso da urina, as amostras foram descongeladas, homogeneizadas e filtradas. Após este procedimento, o material foi encaminhado para a realização das análises laboratoriais.

A matéria seca foi determinada após pesagem e secagem das amostras em estufa aos 65 °C com ventilação forçada, até atingir peso constante e, posteriormente, em estufa aos 105 °C por 24 horas.

O nitrogênio das rações, fezes e urina foi determinado usando-se o método Kjeldahl (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST - AOAC, 1990) e a energia bruta, através da bomba calorimétrica adiabática (Parr Instruments Co). Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Pesquisa Animal da Universidade Federal de Lavras.

Análises estatísticas

Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 4, sendo três granulometrias (550, 700 e 850 µm) e quatro níveis de lisina (0,85; 0,95; 1,05 e 1,15%), totalizando doze tratamentos e cinco repetições. A unidade experimental foi de dois animais para o ensaio de desempenho e um animal para o ensaio de digestibilidade e balanço de nitrogênio. O critério para formação dos blocos foi o peso inicial dos animais.

No ensaio de desempenho, as variáveis analisadas foram o ganho de peso médio diário, o consumo de ração médio diário e a conversão alimentar. Para o ensaio de digestibilidade dos nutrientes e balanço de nitrogênio, avaliou-se o coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CDMS), o percentual de nitrogênio absorvido (%Nabs), o percentual de nitrogênio retido (%Nret), o percentual de nitrogênio retido do que foi absorvido (%Nret/abs) e energia digestível (ED).

Os resultados foram analisados através do programa computacional SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 1996). Os dados foram submetidos à análise de variância (PROC GLM), sendo anteriormente verificada a normalidade dos resíduos pelo Teste de SHAPIRO-WILK (PROC UNIVARIATE) e a homogeneidade das variâncias comparadas pelo Teste QUI QUADRADO (PROC GLM). Para comparar as diferentes granulometrias utilizou-se o teste SNK (5 % de probabilidade) e para os níveis de lisina, aplicou-se a análise de regressão.

RESULTADOS

Não foi observado efeito ($P>0,05$) da cinética de digestão e dos níveis de lisina sobre o ganho de peso dos animais.

Houve interação ($P<0,05$) entre os fatores estudados para consumo de ração e conversão alimentar (Tabela 2). Com relação ao consumo de ração, nos níveis de lisina digestível de 0,85 e 0,95% verificou-se menor consumo dos animais que receberam a granulometria de digestão lenta do amido (GDLA). No nível 1,05 %, entretanto, esta situação se inverteu. Além disso, observou-se efeito quadrático (Figura 1) dos níveis de lisina sobre o consumo de ração pelos animais que receberam GDLA na dieta. Nesse caso o maior consumo de ração foi determinado com 1,06% de lisina. Para as demais granulometrias, não houve efeito ($P>0,05$) dos níveis de lisina.

Para conversão alimentar (CA), animais que receberam dietas contendo 0,85% de lisina digestível apresentaram menor CA quando GDLA foi utilizada em relação àqueles alimentados com dietas contendo a granulometria de digestão rápida (GDRA) e intermediária (GDIA) do amido. Além disso, foi observado efeito quadrático (Figura 2) à medida que se aumentou o nível de

lisina para a GDRA (nível ótimo de lisina digestível igual a 1,02%) e efeito linear (Figura 3) para a GDLA.

Tabela 2 Desempenho de suínos em crescimento alimentados com rações contendo milhos com granulometria de rápida (GDRA), intermediária (GDIA) e lenta (GDLA) digestão do amido, formuladas com diferentes níveis de lisina.¹

Variável Analisada	Nível de Lisina Digestível (%)				Média
	0,85	0,95	1,05	1,15	
Ganho de peso médio diário (kg/dia)					
GDRA	0,868	0,906	0,875	0,879	0,882
GDIA	0,877	0,913	0,867	0,919	0,894
GDLA	0,889	0,869	0,916	0,854	0,882
Média	0,878	0,896	0,886	0,884	0,886
CV (%)	5,63				
Consumo de ração médio diário (kg/dia)					
GDRA	1,958a	1,930a	1,816b	1,909b	1,903
GDIA	2,022a	2,021a	1,900b	2,060a	2,001
GDLA ²	1,748b	1,830b	2,041a	1,902b	1,880
Média	1,909	1,927	1,919	1,957	1,928
CV (%)	5,34				
Conversão alimentar					
GDRA ²	2,257a	2,133	2,078	2,176	2,161
GDIA	2,308a	2,216	2,193	2,248	2,241
GDLA ³	1,965b	2,107	2,237	2,227	2,134
Média	2,177	2,152	2,169	2,217	2,179
CV (%)	5,39				

¹ Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem significativamente pelo teste SNK (P<0,05)

² Efeito quadrático significativo (P<0,05)

³ Efeito linear significativo (P<0,05)

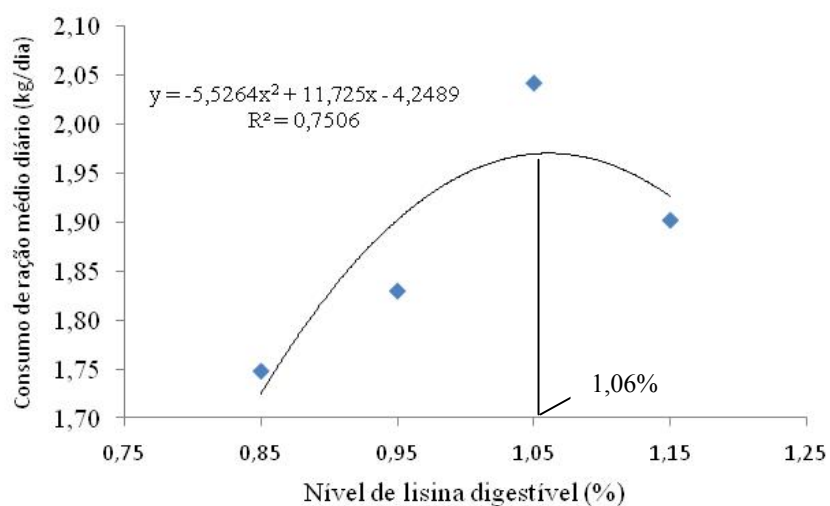


Figura 1 Consumo de ração médio diário (CRMD) de suínos em crescimento alimentados com rações contendo milho com granulometria de lenta digestão do amido e formuladas com diferentes níveis de lisina digestível

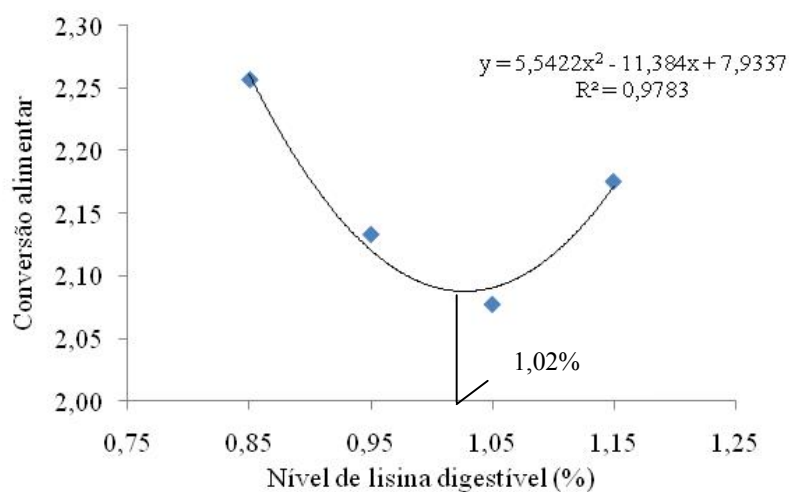


Figura 2 Conversão alimentar (CA) de suínos em crescimento alimentados com rações contendo milho com granulometria de rápida digestão do amido e formuladas com diferentes níveis de lisina digestível

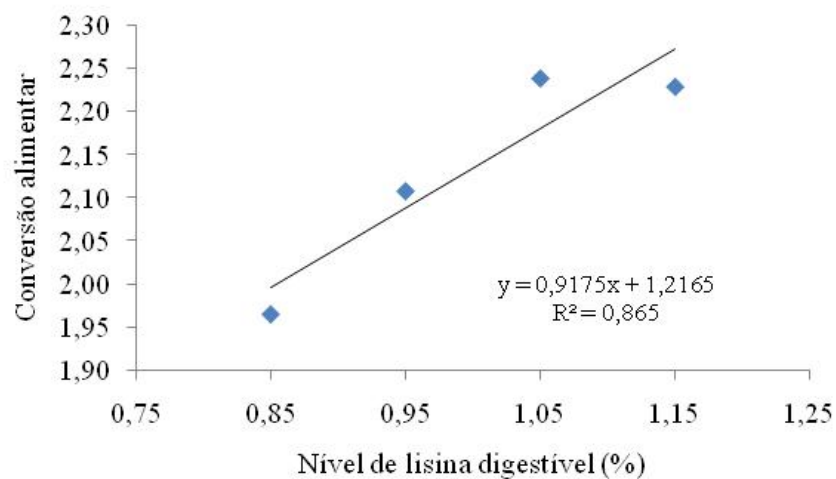


Figura 3 Conversão alimentar (CA) de suínos em crescimento alimentados com rações contendo milho com granulometria de lenta digestão do amido e formuladas com diferentes níveis de lisina digestível

Com relação à digestibilidade dos nutrientes e ao balanço de nitrogênio (Tabelas 3), verificou-se maior ($P < 0,05$) energia digestível (ED), digestibilidade da matéria seca (MSD) e da proteína (nitrogênio absorvido) para as rações contendo os milhos moídos com 550 μm e 700 μm . Não houve efeito ($P > 0,05$) dos níveis de lisina sobre as variáveis analisadas.

Tabela 3 Energia digestível, matéria seca digestível e balanço de nitrogênio de suínos em crescimento, alimentados rações contendo milhos com granulometrias de rápida (GDRA), intermediária (GDIA) e lenta (GDLA) digestão do amido e formuladas com diferentes níveis de lisina¹

Variável Analisada	Nível de Lisina Digestível (%)				Média
	0,85	0,95	1,05	1,15	
Energia digestível (Kcal/kg)					
GDRA	3617	3595	3603	3592	3602a
GDIA	3624	3620	3599	3656	3625a
GDLA	3564	3551	3568	3538	3555b
Média	3602	3588	3590	3596	3594
CV (%)	1,47				
Matéria seca digestível (%)					
GDRA	90,78	90,65	90,42	90,60	90,61a
GDIA	90,57	90,68	90,44	92,16	90,96a
GDLA	89,66	89,57	90,12	89,87	89,80b
Média	90,34	90,30	90,33	90,88	90,46
CV (%)	1,47				
Nitrogênio absorvido (%)					
GDRA	91,88	91,08	91,05	91,29	91,33a
GDIA	91,23	90,95	91,17	91,39	91,18a
GDLA	89,74	89,47	90,66	89,70	89,89b
Média	90,95	90,50	90,96	90,80	90,80
CV (%)	1,32				
Nitrogênio retido (%)					
GDRA	54,46	57,24	53,97	55,01	55,17
GDIA	54,12	55,66	56,72	57,94	56,11
GDLA	52,52	53,28	55,49	52,19	53,37
Média	53,70	55,39	55,39	55,05	54,88
CV (%)	10,26				
Nitrogênio retido/absorvido (%)					
GDRA	59,23	62,85	59,33	60,26	60,42
GDIA	59,29	61,15	62,24	63,43	61,53
GDLA	58,53	59,53	61,20	58,14	59,35
Média	59,02	61,17	60,92	60,61	60,43
CV (%)	10,08				

¹Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem significativamente pelo teste SNK (P<0,05)

DISCUSSÃO

Pesquisas relacionando à taxa de digestão do amido, formulação de dietas e o desempenho dos animais são escassas na literatura. Weurding, Enting e Verstegen (2003) publicaram um estudo com frangos de corte, que relacionou a taxa de digestão do amido e o nível de aminoácidos na dieta. Os frangos foram alimentados com rações a base de milho e ervilha (amido rapidamente disponível) ou a base de milho e tapioca (amido lentamente disponível). Neste caso, foi verificado efeito dos fatores estudados sobre o ganho de peso das aves e conversão alimentar, sem, contudo, influenciar o consumo de ração. Foi constatado que o amido lentamente disponível melhorou o aproveitamento da proteína e da energia pelas aves.

No presente trabalho, os resultados apresentados (Tabela 2) demonstraram que, em rações formuladas com 0,85% de lisina digestível, os suínos alimentados com GDLA apresentaram melhor CA que aqueles que receberam GDRA, sem influência sobre o ganho de peso. Assim como observado por Weurding, Enting e Verstegen (2003), a maior diferença na CA observada entre as fontes de amido em dietas formuladas com níveis mais baixos dos principais aminoácidos limitantes, indicam que o suprimento de glicose e aminoácidos podem ficar desbalanceados em dietas com amido rapidamente digerido.

Isto significa que a sincronização entre a digestão do amido e disponibilidade de aminoácidos limitantes para a síntese proteica, pode resultar em melhoras na eficiência alimentar e qualidade de carcaça dos animais. A possível explicação estaria relacionada às respostas hormonais à absorção da glicose. A absorção gradual da glicose ao longo do intestino delgado resultaria em um menor, porém mais duradouro pico insulinêmico (LUDWIG, 2002) que, associado a disponibilidade de aminoácidos ao mesmo tempo favoreceria a

síntese protéica (BORNE et al., 2007). Sabe-se que a insulina é essencial para o transporte de glicose e aminoácidos para as células, produção de energia e, portanto, síntese de proteínas e ácidos graxos (WOLEVER, 2003).

Além disso, a falta de sincronia entre a digestibilidade do amido e das proteínas pode resultar em maior oxidação de aminoácidos para atender a demanda energética do intestino. Estudos têm evidenciado que o intestino delgado é um órgão extremamente complexo, não só responsável pela digestão e absorção dos nutrientes, mas também pelo importante papel no metabolismo de aminoácidos (SHOVELLER et al., 2005; WU, 1998).

Aproximadamente 20% da energia da dieta é consumida para manutenção do epitélio intestinal. Normalmente, glutamina e glicose são preferencialmente utilizadas para prover esta energia (FLEMING; ZAMBELL; FITCH, 1997), porém outros aminoácidos, como glutamato, aspartato, arginina, prolina, aminoácidos de cadeia ramificada, lisina e, talvez, metionina, fenilalanina, treonina, glicina e serina, podem ser oxidados com esta finalidade (BURRIN et al., 2000; STOLL et al., 1998; WU, 1998). Por serem utilizados como combustível para as células intestinais, e, além disso, serem essenciais como precursores para a síntese de proteínas, glutatona, poliaminas, óxido nítrico, bases nitrogenadas, entre outras substâncias necessárias para manutenção da integridade e função da mucosa intestinal, cerca de 30 a 50% destes aminoácidos dietéticos podem não entrar na circulação portal (SHOVELLER et al., 2005; WU; KNABE; FLYNN, 2005). Portanto, o extensivo catabolismo de aminoácidos nos enterócitos pode reduzir substancialmente a disponibilidade dos mesmos para os outros tecidos, além de alterar seletivamente o perfil de aminoácidos da circulação sistêmica (BURRIN et al., 2000).

Neste sentido, dietas com amido de digestão lenta poderiam ser preconizadas com o objetivo de liberar gradualmente a glicose, poupando os aminoácidos para outras funções. De fato, de acordo com Li et al. (2008) e

Meulen et al. (1997), diferentes fontes de amido influenciam o aparecimento de glicose e o perfil de aminoácidos na circulação portal. Isto sugere que fontes que proporcionam uma digestão mais lenta do amido resultam em menor absorção de glicose e, conseqüentemente, maior absorção de aminoácidos essenciais.

A influência da glicose dietética sobre o perfil aminoacídico da veia porta pode ser explicada por dois fatores. Primeiro, o GDLA reduz a digestão da proteína dietética e a absorção dos aminoácidos ou peptídeos resultantes. Isto foi demonstrado pela menor digestibilidade da energia, matéria seca e proteína proporcionada pelo GDLA, ainda que as fontes testadas apresentassem a mesma digestibilidade ileal do amido (Amaral et al., Capítulo II). Segundo, o GDLA, por disponibilizar a glicose gradualmente, estaria relacionado ao menor catabolismo de aminoácidos no intestino, o que contribuiria para a melhor eficiência de utilização dos mesmos. Esperava-se demonstrar este fato pela retenção de nitrogênio, entretanto, não foi observado efeito dos níveis de lisina ou fonte de amido sobre esta variável.

Baseado nos resultados disponíveis na literatura (CHIARADIA et al., 2009; LE BELLEGO; NOBLET, 2002; ZANGERONIMO et al., 2007a, 2007b) é possível inferir que variações na retenção de nitrogênio em função da adição de aminoácidos sintéticos são mais evidentes quando se reduz o nível de proteína bruta na dieta. Conceitualmente, proteína ideal consiste no balanço ideal dos aminoácidos da ração capaz de prover, sem deficiências ou excessos, as exigências de todos os aminoácidos necessários à manutenção e ao crescimento da espécie (ZAVIEZO, 1998). Para isso, deve-se prever a relação entre os aminoácidos essenciais com a lisina, considerada padrão por ser utilizada basicamente para a síntese proteica, principal componente do tecido magro dos suínos (WANG; FULLER, 1989). Como nas dietas experimentais só foram alterados os níveis dos principais aminoácidos limitantes, sem, contudo

reduzir o nível de proteína bruta, o excesso de aminoácidos não essenciais pode ter influenciado negativamente a melhor utilização dos essenciais.

No presente trabalho não foi possível quantificar a redução do catabolismo de aminoácidos proporcionada pela fonte de GDLA. Entretanto, a interação entre a taxa de digestão e a exigência de lisina foi demonstrada. Os resultados indicam que o suprimento de aminoácidos em dietas contendo amido de digestão lenta e de digestão rápida não devem ser as mesmas. Da mesma forma, a melhor conversão alimentar observada nos animais alimentados com GDLA, não é explicada somente pela melhor eficiência de utilização da proteína, mas também, pela melhor eficiência de utilização da energia através da elevação prolongada dos níveis plasmáticos de glicose. Nesse sentido, a seleção da granulometria do milho que forneça diferentes taxas de digestão do amido (lenta ou rápida digestão) tem importantes implicações no aproveitamento dos nutrientes pelos suínos.

Assim, pode-se inferir que rações contendo amido de rápida ou lenta digestão devem ser formuladas com diferentes níveis de aminoácidos. As implicações práticas da taxa de digestão do amido na eficiência de utilização dos nutrientes pelos suínos devem ser consideradas na escolha da granulometria correta do milho.

CONCLUSÃO

A variação da cinética de digestão do amido ao longo do intestino delgado, proporcionada por diferentes graus de moagem do milho resulta em exigência de lisina diferenciada para suínos em crescimento (30 a 60 kg). A granulometria de digestão lenta do amido (850 μm) melhora a eficiência de utilização da lisina pelos suínos.

REFERÊNCIAS

AL-RABADI, G. J. S.; GILBERT, R. G.; GIDLEY, M. J. Effect of particle size on kinetics of starch digestion in milled barley and sorghum grains by porcine alpha-amylase. **Journal of Cereal Science**, London, v. 50, n. 2, p. 198-204, Feb. 2009.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST. **Official methods of analysis**. Arlington, 1990. 1230 p.

BANKS, W.; MUIR, D. D. Structure and chemistry of the starch granule. In: _____. **The biochemistry of plants**. New York: Academic, 1980. v. 3, p. 321-369.

BORNE, J. J. G. C. et al. Synchronising the availability of amino acids and glucose increases protein retention in pigs. **Animal**, Cambridge, v. 1, n. 5, p. 666-674, May 2007.

BURRIN, D. G. et al. Nutrient requirements for intestinal growth and metabolism in the developing pig. In: LINDBERG, J. E.; OGLE, B. (Ed.). **Digestive physiology of pig**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 75-88.

CHIARADIA, R. C. F. et al. Levels of true digestible lysine and metabolizable energy for growing pigs: effect on nitrogen and energy balance. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1655-1662, nov./dez. 2009.

DHITAL, S. et al. Relationship between granule size and in vitro digestibility of maize and potato starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 82, n. 2, p. 480-488, Sept. 2010.

ELIASSON, A. C.; GUDMUNDSSON, M. Starch: physicochemical and functional aspects. In: ELIASSON, A. C. (Ed.). **Carbohydrates in food**. New York: M. Dekker, 1996. p. 431-503.

FLEMING, S. E.; ZAMBELL, K. L.; FITCH, M. D. Glucose and glutamine provide similar proportions of energy to mucosal cells of rat small intestine. **American Journal of Physiology**, Baltimore, v. 273, n. 4, p. 968-978, Oct. 1997.

GUTIERREZ-DEL-ALAMO, A. et al. Wheat starch digestion rate affects broiler performance. **Poultry Science**, Champaign, v. 88, n. 8, p. 1666-1675, Apr. 2009.

LE BELLEGO, L.; NOBLET, J. Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 76, n. 1/2, p. 45-58, Apr. 2002.

LI, T. J. et al. Dietary starch sources affect net portal appearance of amino acids and glucose in growing pigs. **Animal Science**, Edinburgh, v. 2, n. 5, p. 723-729, Sept. 2008.

LIU, J. G.; ZHANG, P.; BIN, S. Y. Effects of different dietary starch constituents on level of blood glucose and insulin of weaned piglets. **Food Science**, Chicago, v. 28, n. 2, p. 315-319, Oct. 2007.

LUDWIG, D. S. The glycemic index: physiological mechanisms relating to obesity, diabetes, and cardiovascular disease. **Journal of the American Medical Association**, Chicago, v. 287, n. 18, p. 2414-2423, May 2002.

MAHASUKHONTHACHAT, K.; SOPADE, P. A.; GIDLEY, M. J. Kinetics of starch digestion and functional properties of twin-screw extruded sorghum. **Journal of Cereal Science**, London, v. 51, n. 3, p. 392-401, May 2010.

MEULEN, J. et al. Effect of source of starch on net portal flux of glucose, lactate, volatile fatty acids, and amino acids in the pig. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 78, n. 4, p. 533-544, Mar. 1997.

NOAH, L. et al. Bioavailability of starch and postprandial changes in splanchnic glucose metabolism in pigs. **American Journal of Physiology, Endocrinology and Metabolism**, Bethesda, v. 278, n. 2, p. E181-E188, Feb. 2000.

SALES, G. T.; FIALHO, E. T.; VOLPATO, C. T. Modificação nas gaiolas metabólicas para experimentos com suínos. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, 16., 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2003. p. 249.

SHOVELLER, A. K. et al. Nutritional and functional importance of intestinal sulfur amino acid metabolism. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 135, n. 7, p. 1609-1612, July 2005.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUITE. **SAS system for Microsoft Windows**. Version 6.12. Cary, 1996. 1 CD-ROM.

STOLL, B. et al. Catabolism dominates the first-pass intestinal metabolism of dietary essential amino acids in milk protein-fed piglets. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 128, n. 3, p. 606-614, Mar. 1998.

WANG, T. C.; FULLER, M. F. The optimum dietary amino acid pattern for growing pig: I., experiments by amino acid deletion. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 62, n. 1, p. 77-89, July 1989.

WEURDING, R. E.; ENTING, H.; VERSTEGEN, M. W. A. The relation between starch digestion rate and amino acid level for broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, n. 2, p. 279-284, Feb. 2003.

WEURDING, R. E. et al. Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens differs among feedstuffs. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 131, n. 9, p. 2329-2335, Sept. 2001.

WILFART, A. et al. Kinetics of enzymatic digestion of feeds as estimated by a stepwise in vitro method. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 141, n. 1/2, p. 171-183, Mar. 2008.

WOLEVER, T. M. S. Carbohydrate and the regulation of blood glucose and metabolism. **Nutrition Reviews**, New York, v. 61, n. 5, p. S40-S48, May 2003. Supplement.

WU, G. Intestinal mucosal amino acid catabolism. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 128, n. 6, p. 1249-1252, Aug. 1998.

WU, G.; KNABE, D. A.; FLYNN, N. E. Amino acid metabolism in the small intestine: biochemical bases and nutritional significance. In: BURRIN, D. G.; MERSMANN, H. J. (Ed.). **Biology of metabolism of growing animals**. New York: Elsevier, 2005. p. 107-126.

ZANGERONIMO, M. G. et al. Desempenho e excreção de nitrogênio de leitões dos 9 aos 25 kg alimentados com dietas com diferentes níveis de lisina digestível e proteína bruta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 1382-1387, set./out. 2007a.

ZANGERONIMO, M. G. et al. Efeito de níveis de lisina digestível verdadeira e proteína bruta na dieta sobre parâmetros morfo-fisiológicos e utilização do nitrogênio em suínos na fase inicial. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 506-513, mar./abr. 2007b.

ZANOTTO, D. L.; BELLAVER, C. **Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações em suínos e aves**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1996. 5 p. (Comunicado Técnico, 215).

ZAVIEZO, D. Proteína ideal: novo conceito nutricional na formulação de rações para aves e suínos. **Avicultura Industrial**, São Paulo, v. 10, n. 1060, p. 16-20, out. 1998.

ANEXOS

Tabela 1A Análise de variância e coeficiente de variação para ganho de peso médio diário de suínos em crescimento alimentados com rações formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	0,000176	0,000088	0,050	0,9516
BLOCO	6	0,012555	0,002092	1,189	0,3747
Erro	12	0,021120	0,001760		
Total corrigido	20	0,033851			
CV (%)	4,90				

Tabela 2A Análise de variância e coeficiente de variação para consumo de ração médio diário de suínos em crescimento alimentados com rações formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	0,030105	0,015052	1,902	0,1917
BLOCO	6	0,025043	0,004174	0,527	0,7776
Erro	12	0,094977	0,007915		
Total corrigido	20	0,150125			
CV (%)	4,77				

Tabela 3A Análise de variância e coeficiente de variação para conversão alimentar de suínos em crescimento alimentados com rações formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	0,052041	0,026020	7,433	0,0079
BLOCO	6	0,032117	0,005353	1,529	0,2498
Erro	12	0,042006	0,003501		
Total corrigido	20	0,126164			
CV (%)	2,71				

Tabela 4A Análise de variância e coeficiente de variação para energia digestível de rações para suínos em crescimento formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	27130,5626	13565,28131	6,830	0,0085
BLOCO	7	27271,0555	3895,865074	1,961	0,1342
Erro	14	27807,8196	1986,272831		
Total corrigido	23	82209,4377			
CV (%)	1,26				

Tabela 5A Análise de variância e coeficiente de variação para energia metabolizável de rações para suínos em crescimento formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	14874,7369	7437,3684	0,334	0,7219
BLOCO	7	98625,5086	14089,3583	0,632	0,7227
Erro	14	312150,4404	22296,46003		
Total corrigido	23	425650,6861			
CV (%)	4,69				

Tabela 6A Análise de variância e coeficiente de variação para matéria seca digestível de rações para suínos em crescimento formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	14,427058	7,213529	8,118	0,0046
BLOCO	7	6,869450	0,981350	1,104	0,4120
Erro	14	12,440275	0,888591		
Total corrigido	23	33,736783			
CV (%)	1,23				

Tabela 7A Análise de variância e coeficiente de variação para nitrogênio absorvido em suínos em crescimento alimentados com rações formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	40,522275	20,261137	6,807	0,0086
BLOCO	7	27,647533	3,949648	1,327	0,3082
Erro	14	41,672792	2,976628		
Total corrigido	23	109,842600			
CV (%)	1,96				

Tabela 8A Análise de variância e coeficiente de variação para nitrogênio retido em suínos em crescimento alimentados com rações formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	101,343258	50,671629	0,902	0,4279
BLOCO	7	442,246467	63,178067	1,125	0,4011
Erro	14	786,127808	56,151986		
Total corrigido	23	1329,717533			
CV (%)	13,46				

Tabela 9A Análise de variância e coeficiente de variação para nitrogênio retido/absorvido em suínos em crescimento alimentados com rações formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	171,069358	85,534679	1,196	0,3316
BLOCO	7	535,171333	76,453048	1,069	0,4313
Erro	14	1001,552042	71,539432		
Total corrigido	23	1707,792733			
CV (%)	13,36				

Tabela 10A Análise de variância e coeficiente de variação para coeficiente de digestão do amido no segmento A do intestino delgado de suínos em crescimento alimentados com rações formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	3654,1468350	1827,0734175	47,05	0,0001
Erro	7	271,8231750	38,8318821		
Total corrigido	9	3925,9700100			
CV (%)	17,06				

Tabela 11A Análise de variância e coeficiente de variação para coeficiente de digestão do amido no segmento B do intestino delgado de suínos em crescimento alimentados com rações formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	4384,0794621	2192,039731	129,65	0,0001
Erro	13	219,7939379	16,9072260		
Total corrigido	15	4603,8734000			
CV (%)	6,77				

Tabela 12A Análise de variância e coeficiente de variação para coeficiente de digestão do amido no segmento C do intestino delgado de suínos em crescimento alimentados com rações formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	1840,3604057	920,1802029	50,79	0,0001
Erro	11	199,3056800	18,1186982		
Total corrigido	13	2039,6660857			
CV (%)	5,80				

Tabela 13A Análise de variância e coeficiente de variação para coeficiente de digestão do amido no segmento D do intestino delgado de suínos em crescimento alimentados com rações formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	772,04071492	386,02035746	10,61	0,0013
Erro	15	545,97766286	36,39851086		
Total corrigido	17	1318,01837778			
CV (%)	7,22				

Tabela 14A Análise de variância e coeficiente de variação para coeficiente de digestão do amido no segmento E do intestino delgado de suínos em crescimento alimentados com rações formuladas com milhos em diferentes granulometrias

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	20,226752	10,113376	1,366	0,2803
Erro	18	133,263514	7,403529		
Total corrigido	20	153,490267			
CV (%)	3,02				

Tabela 15A Análise de variância e coeficiente de variação para ganho de peso médio diário de suínos em crescimento alimentados com rações contendo milhos de rápida, intermediária e lenta digestão do amido e formuladas com diferentes níveis de lisina

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	0,001563	0,000782	0,314	0,7318
LISINA	3	0,002218	0,000739	0,297	0,8271
DGM*LISINA	6	0,021517	0,003586	1,443	0,2203
BLOCO	4	0,019183	0,004796	1,929	0,1224
Erro	44	0,109377	0,002486		
Total corrigido	59	0,153858			
CV (%)	5,63				

Tabela 16A Análise de variância e coeficiente de variação para consumo de ração médio diário de suínos em crescimento alimentados com rações contendo milhos de rápida, intermediária e lenta digestão do amido e formuladas com diferentes níveis de lisina.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	0,158890	0,079445	7,492	0,0016
LISINA	3	0,018298	0,006099	0,575	0,6343
DGM*LISINA	6	0,341657	0,056943	5,370	0,0003
LISINA/DGM 550	3	0,055655	0,018552	1,750	0,1695
LISINA/DGM 700	3	0,073680	0,024560	2,316	0,0879
LISINA/DGM 850	3	0,230620	0,076873	7,250	0,0005
<i>Regr. Linear</i>	(1)	0,111556	0,111556	10,520	0,0020
<i>Regr. Quadrática</i>	(1)	0,060500	0,060500	5,706	0,0210
<i>Regr. Cúbica</i>	(1)	0,058564	0,058564	5,523	0,0230
DGM/0,85% Lisina	2	0,202240	0,101120	9,536	0,0003
DGM/0,95% Lisina	2	0,092280	0,046140	4,351	0,0183
DGM/1,05% Lisina	2	0,128853	0,064427	6,076	0,0045
DGM/1,15% Lisina	2	0,077173	0,038587	3,639	0,0335
BLOCO	4	0,212557	0,053139	5,011	0,0020
Erro	44	0,466563	0,010604		
Total corrigido	59	1,197965			
CV (%)	5,3				
	4				

Tabela 17A Análise de variância e coeficiente de variação para conversão alimentar de suínos em crescimento alimentados com rações contendo milhos de rápida, intermediária e lenta digestão do amido e formuladas com diferentes níveis de lisina

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	0,118583	0,059292	4,294	0,0198
LISINA	3	0,032938	0,010979	0,795	0,5031
DGM*LISINA	6	0,332297	0,055383	4,011	0,0027
LISINA/DGM 550	3	0,099948	0,0333162	2,413	0,0437
<i>Regr. Linear</i>	1	0,021609	0,021609	1,565	0,2180
<i>Regr. Quadrática</i>	1	0,061605	0,061605	4,462	0,0400
<i>Regr. Cúbica</i>	1	0,001681	0,001681	0,122	0,7290
LISINA/DGM 700	3	0,037600	0,012533	0,908	0,4435
LISINA/DGM 850	3	0,242740	0,080913	5,860	0,0018
<i>Regr. Linear</i>	1	0,209764	0,209764	15,193	0,0000
<i>Regr. Quadrática</i>	1	0,028880	0,028880	2,092	0,1550
<i>Regr. Cúbica</i>	1	0,004096	0,004096	0,297	0,5890
BLOCO	4	0,085533	0,021383	1,549	0,2048
Erro	44	0,607507	0,013807		
Total corrigido	59	1,176858			
CV (%)		5,39			

Tabela 18A Análise de variância e coeficiente de variação para energia digestível de rações para suínos em crescimento formuladas com milhos de rápida, intermediária e lenta digestão do amido e diferentes níveis de lisina

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	50377,633333	25188,81666	8,981	0,0005
LIS	3	1614,983333	538,327778	0,192	0,9015
DGM*LIS	6	11553,966667	1925,661111	0,687	0,6614
BLOCO	4	1698,410490	424,602622	0,151	0,9614
Erro	44	123409,989510	2804,772489		
Total corrigido	59	188654,983333			
CV (%)		1,47			

Tabela 19A Análise de variância e coeficiente de variação para matéria seca digestível de rações para suínos em crescimento formuladas com milhos de rápida, intermediária e lenta digestão do amido e diferentes níveis de lisina

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	14,122893	7,061447	3,979	0,0258
LIS	3	3,511260	1,170420	0,660	0,5813
DGM*LIS	6	7,492400	1,248733	0,704	0,6482
BLOCO	4	3,373050	0,843262	0,475	0,7537
Erro	44	78,080590	1,774559		
Total corrigido	59	106,580193			
CV (%)	1,47				

Tabela 20A Análise de variância e coeficiente de variação para nitrogênio absorvido em suínos em crescimento alimentados com rações contendo milhos de rápida, intermediária e lenta digestão do amido e formuladas com diferentes níveis de lisina

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	24,881110	12,440555	8,684	0,0007
LIS	3	2,077873	0,692624	0,483	0,6954
DGM*LIS	6	4,760877	0,793479	0,554	0,7643
BLOCO	4	3,910246	0,977562	0,682	0,6079
Erro	44	63,034034	1,432592		
Total corrigido	59	98,664140			
CV (%)	1,32				

Tabela 21A Análise de variância e coeficiente de variação para nitrogênio retido em suínos em crescimento alimentados com rações contendo milhos de rápida, intermediária e lenta digestão do amido e formuladas com diferentes níveis de lisina

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	77,736123	38,868062	1,226	0,3034
LIS	3	29,159693	9,719898	0,306	0,8207
DGM*LIS	6	74,580757	12,430126	0,392	0,8802
BLOCO	4	535,305360	133,826340	4,220	0,0056
Erro	44	1395,482840	31,715519		
Total corrigido	59	2112,264773			
CV (%)	10,26				

Tabela 22A Análise de variância e coeficiente de variação para nitrogênio retido/absorvido em suínos em crescimento alimentados com rações contendo milhos de rápida, intermediária e lenta digestão do amido e formuladas com diferentes níveis de lisina.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DGM	2	47,376990	23,688495	0,639	0,5328
LIS	3	42,415338	14,138446	0,381	0,7669
DGM*LIS	6	74,759157	12,459859	0,336	0,9142
BLOCO	4	657,058575	164,264644	4,429	0,0043
Erro	44	1631,715665	37,084447		
Total corrigido	59	2453,325725			
CV (%)	10,08				