

## Radioisótopo e modelagem matemática na avaliação da suplementação de fitase em dietas para suínos em crescimento

[Radioisotope and mathematical modeling in the assessment of supplementation of Phytase in diets for growing pigs]

L.C. Mota<sup>1</sup>, J.A. Moreira<sup>1</sup>, R.M. Patino<sup>3</sup>, R.L.R Oliveira<sup>1</sup>, D.M.S.S. Vitti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – Natal, RN

<sup>2</sup>Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena) – Piracicaba, SP

<sup>3</sup>Universidade de Sucre – Bogotá, Colômbia

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da inclusão de níveis crescentes de enzima fitase em dietas para suínos em fase de crescimento, por meio do uso de modelagem matemática. Foram utilizados dados de 20 leitões mestiços, machos castrados, pesando em média, 26,8kg. Os animais ficaram alojados em gaiolas metabólicas individuais para a coleta de fezes e urina, onde permaneceram por um período de 17 dias. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições. A dieta experimental fornecida aos leitões foi à base de milho e farelo de soja, suplementada com cinco níveis crescentes de enzima fitase (0, 250, 500, 750 e 1000UF/kg), correspondendo a 0; 0,01; 0,02; 0,03 e 0,04%, respectivamente. As variáveis avaliadas foram: ingestão, excreção, fluxo e refluxo do P nos compartimentos (trato digestivo, corrente sanguínea, tecidos moles e ossos). A enzima fitase não interferiu no P consumido ( $P > 0,05$  ( $F_{10}$ ), no P excretado na urina ( $F_{02}$ ), no fluxo e refluxo do P nos ossos ( $F_{32}$  e  $F_{23}$ ) e nos tecidos moles ( $F_{42}$  e  $F_{24}$ ), entretanto observou-se redução no P excretado nas fezes ( $F_{01}$ ) em 8,92%; 26,76%; 22,53% e 28,64% para os níveis 0, 250, 500, 750 e 1000UF/kg, respectivamente, e efeito linear positivo para o P endógeno ( $F_{12}$ ). Pode-se utilizar dietas à base de milho e farelo de soja com 50% de P por fosfato bicálcico, adicionando-se 250UF/kg de dieta para suínos em crescimento, o que reduz em 27% as excreções de P nas fezes.

Palavras-chave: fitase, fitato, fósforo, poluição ambiental, nutrição, suínos

### ABSTRACT

*The purpose of this study was to evaluate the effects of including increasing levels of phytase enzyme in pig diets for growing pigs, using the mathematical model. Data from 20 crossbred male piglets, castrated and weighing 26.80 kg on average was used. The animals were housed in individual metabolic cages to collect feces and urine in a 17 day period. A randomized block experimental design containing five treatments and four repetitions was used. The experimental diet provided to piglets contained corn and soybean and was supplemented with five increasing levels of phytase enzyme (0, 250, 500, 750 and 1000 UF/kg), corresponding to 0.00 %, 0.01 %, 0.02 %, 0.03 % and 0.04 % respectively. The variables evaluated were: intake, excretion, output flow of P in the digestive tract, bloodstream, bones and soft tissues. The phytase enzyme did not affect the P intake ( $P > 0.05$  ( $F_{10}$ ), the P excreted in urine ( $F_{02}$ ) and the output flow of P in the bones ( $F_{32}$  e  $F_{23}$ ) and soft tissue ( $F_{42}$  e  $F_{24}$ ), however, there was a reduction in P excreted in feces ( $F_{01}$ ) of 8.92 %, 26.76 %, 22.53 % and 28.64 % to the levels 0, 250, 500, 750 e 1000UF/kg, respectively and showed a positive linear effect ( $P < 0.08$ ) for the endogenous P ( $F_{12}$ ). Corn and soybean meal based diets can be used with 50% of P by dicalcium phosphate, adding 250UF/kg diet for growing pigs, and may cause a reduction of 27 % of P excretion in feces.*

*Keywords: environmental pollution, nutrition, phosphorus, phytase enzyme, phytate, swine*

Recebido em 26 de abril de 2012

Aceito em 15 de março de 2013

E-mail: japmoreira@bol.com.br

## INTRODUÇÃO

A modelagem matemática é uma ferramenta que vem sendo usada para o estudo do fluxo de minerais no metabolismo animal (Teixeira *et al.*, 2004; Vitti *et al.*, 2006), sendo os estudos realizados com monogástricos e ruminantes.

O P é um macromineral essencial ao desenvolvimento dos suínos, pois este elemento participa, junto ao cálcio, na formação do esqueleto ósseo e dentes, além de fazer parte das moléculas de ATP, DNA e RNA (Bettelheim *et al.*, 2012).

As rações formuladas para animais monogástricos são basicamente constituídas de cereais e subprodutos, sendo geralmente suplementadas com fosfatos, pois nos vegetais a maior parte do P aparece complexado nas moléculas de fitato (Ludke *et al.*, 2002). Os animais monogástricos não sintetizam a enzima fitase, substância capaz de degradar a molécula de fitato e disponibilizar o P e outros nutrientes. Nesse contexto, as vantagens, relacionadas ao uso da enzima são inúmeras, além da redução do custo das dietas (Santos *et al.*, 2008).

Os suínos produzem diariamente um volume muito grande de dejetos, sendo proporcional à quantidade de alimento ingerido, em razão das necessidades nutricionais desses animais. Em regiões onde as granjas de suínos não possuem um planejamento para o manejo de dejetos, o resultado é a degradação ambiental, fato que vem acontecendo no sul do Brasil (Hack *et al.*, 2011).

Na Alemanha, a poluição ambiental causada pela atividade suinícola motivou a implantação de medidas restritivas muito rígidas em relação à aplicação de dejetos no solo, na tentativa de melhor preservar ou recuperar os solos e águas de superfície, afetados pela poluição (Seganfredo, 1999).

No solo, os problemas causados pela deposição de dejetos podem prejudicar economicamente os agricultores e aqueles que dependem direta ou indiretamente do solo para garantir seu sustento, pois o nível máximo exigido pelas plantas pode ser ultrapassado, consequentemente a capacidade de adsorção do P pelas partículas do solo se torna

saturada e o P passa a ser lixiviado, alcançando o lençol freático (Rodrigues *et al.*, 2007).

As consequências da poluição dos recursos de água por dejetos com alta concentração de P são o aumento das taxas de demanda química e bioquímica de oxigênio (DBO5 e DQO) entre vegetais e animais, causado pelo crescimento de plantas aquáticas nos mananciais, chamado de eutrofização. O impacto atinge toda a dinâmica dos corpos hídricos, de plâncton, fitoplâncton, zooplâncton e toda a comunidade bentônica do fundo dos rios, lagos e lagoas (Bezerra, 2005).

O impacto causado pelo P excretado pelos suínos pode ser reduzido em 20 a 30% com o uso de dietas suplementadas com enzima fitase (Simons e Versteegh, 1990), beneficiando as regiões onde há maior concentração de suínos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da inclusão de níveis crescentes de enzima fitase em dietas para suínos, na fase de crescimento, por meio do uso de modelagem matemática.

## MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolveu-se este estudo na UFRN, em parceria com o Cena/USP, com o propósito de avaliar os impactos provocados pelo uso de dietas suplementadas com diferentes níveis de inclusão de fitase no metabolismo de suínos, por meio do modelo de Vitti *et al.* (2000).

Foram utilizados 20 leitões mestiços, machos, castrados, pesando, em média, 26,8kg, alojados em gaiolas metabólicas individuais.

A dieta experimental fornecida foi composta de milho e farelo de soja, suplementada com cinco níveis de enzima fitase (0; 250; 500; 750; 1000UF/kg), balanceada de acordo com o conceito de proteína ideal, contendo 14% de PB e 3.250kcal de energia metabolizável, além dos aminoácidos essenciais (L-lisina, DL-metionina, L-treonina, L-triptofano), minerais, exceto o fósforo, contendo 50% de fosfato bicálcico, e vitaminas, a fim de atender as necessidades nutricionais dos suínos na fase de crescimento (Rostagno *et al.*, 2005 e (National Research Council, 1998).

As dietas oferecidas aos animais foram calculadas de acordo com o consumo metabólico

**Radioisótopo e modelagem...**

(W<sup>0,75</sup>), sendo umedecidas diariamente com água, na proporção de 1:1. Os animais foram alimentados às 7h30 e às 15h30. A composição química dos ingredientes e a composição percentual das rações experimentais estão apresentadas na Tab. 1.

O experimento teve duração de 17 dias, compreendendo uma fase pré-experimental de 10 dias para adaptação às gaiolas e às dietas e uma

fase experimental de sete dias destinada à coleta de sangue, fezes e urina.

No primeiro dia da fase experimental, foi injetado em cada animal, via endovenosa, 0,5mL de uma solução radioativa com 7,4 MBq de <sup>32</sup>P. A solução radioativa foi preparada de acordo com Vitti *et al.* (2006), sendo constituída de fosfato de sódio (Na<sub>2</sub>H<sup>32</sup>PO<sub>4</sub>), livre de carregador.

Tabela 1. Composição centesimal e calculada das dietas experimentais usadas para suínos em crescimento

Ingredientes (%)	Níveis de enzima fitase UF/kg de dieta				
	0	250	500	750	1000
Milho	84,03	84,03	84,03	84,03	84,03
Farelo de soja	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50
Fosfato bicálcico	0,372	0,372	0,372	0,372	0,372
Calcário	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
Sal	0,365	0,365	0,365	0,365	0,365
<sup>2</sup> Premix vitamínico - 41	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
<sup>2</sup> Premix vitamínico - 25	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
<sup>1</sup> Premix mineral	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Enzima fitase	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04
Areia lavada	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06
L-lisina (98,5%)	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
DL-metionina (99%)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
L-treonina (98,5%)	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
L-triptofano (98,5%)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<sup>3</sup> Composição calculada	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Energia metabolizável (kcal/kg)	3250	3250	3250	3250	3250
Proteína bruta	14,07	14,07	14,07	14,07	14,07
Lisina digestível	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
Metionina digestível	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Metionina + cistina digestível	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
Triptofano digestível	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Treonina digestível	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
Cálcio	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Fósforo total	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Fósforo disponível	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Relação Ca/P	1,14/1	1,14/1	1,14/1	1,14/1	1,14/1
Fibra	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44
Sódio	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18

<sup>1</sup>Conteúdo/kg: 100g Fe; 10g Cu; 1g Co; 40g Mn; 100g Zn; 1,5g I; selênio: 0,3g; excipiente, selênio-0,3g q.s.p.

<sup>2</sup>Conteúdo/kg Vit.A: 6.000.000 UI; D<sub>3</sub>: 1.500.000 UI; E: 15.000; B<sub>1</sub>: 1,35g; B<sub>2</sub>: 4,0g; B<sub>6</sub>: 2g; ácido pantotênico: 9,35g; vit K<sub>3</sub>: 1,5g; ácido nicotínico: 20g; vit B<sub>12</sub>: 20,0g; ácido fólico: 0,6g; biotina: 0,08g; excipiente q.s.p – 1.000g.

<sup>3</sup>Calculado de acordo com Rostagno *et al.* (2005).

No sétimo dia, os animais foram abatidos de acordo com a aprovação da Comissão Ética em Experimentação com Animais do Cena para a coleta de amostras dos ossos (10<sup>a</sup> e 14<sup>a</sup> costelas)

e dos tecidos moles (fígado, coração, rins e músculo (*longissimus dorsi*)).

As análises laboratoriais seguiram os mesmos procedimentos adotados por Lopes *et al.* (2001) e Teixeira *et al.* (2004).

O modelo matemático utilizado no estudo foi desenvolvido por Vitti *et al.* (2000) (Fig. 1). Nesse modelo, foram considerados os seguintes compartimentos anatômicos: (1) trato digestivo (TD), (2) sangue, (3) ossos e (4) tecidos moles

(TM) (coração, fígado, músculo e rins). O sangue é o compartimento central de trocas minerais, e os outros compartimentos estão em fluxo bidirecional com o sangue.

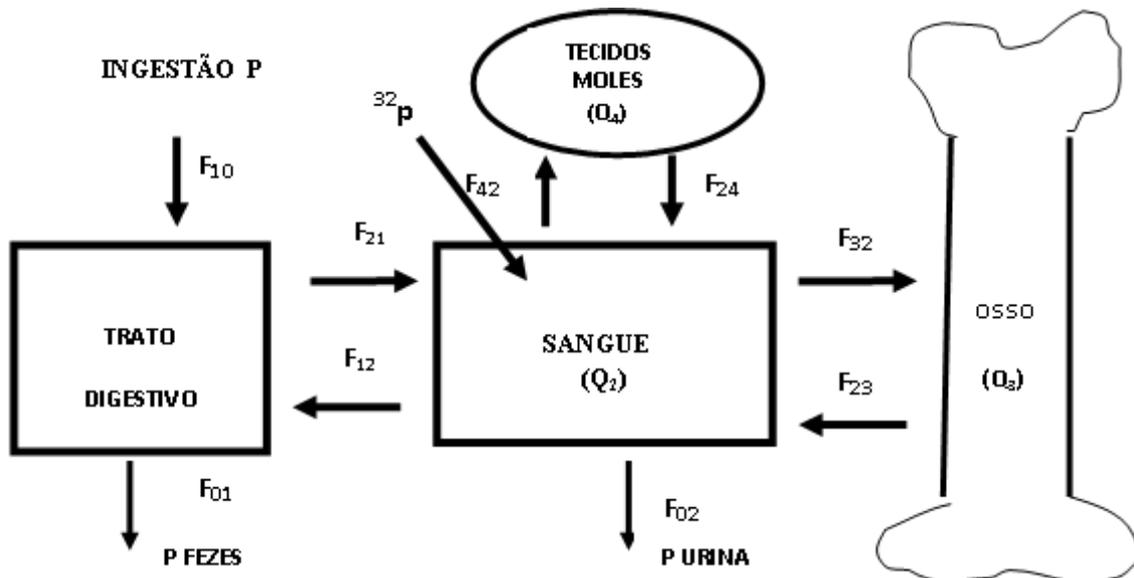


Figura 1. Esquema do Modelo de Vitti representando a distribuição de fósforo no metabolismo de suínos (Vitti *et al.*, 2000).

Para a elaboração do modelo do fluxo do P, foram medidas todas as variáveis de entrada no sistema, ou seja, o P consumido ( $F_{10}$ ) e as variáveis de saída, como a excreção fecal ( $F_{01}$ ) e a excreção urinária ( $F_{02}$ ). Consideraram-se também as atividades específicas do  $^{32}\text{P}$  nas fezes ( $S_1$ ), no sangue ( $S_2$ ), nos ossos ( $S_3$ ) e nos tecidos moles ( $S_4$ ) e outras entradas, tais como a quantidade de fósforo no sangue ( $Q_2$ ), nos ossos ( $Q_3$ ) e nos tecidos moles ( $Q_4$ ), e outras saídas, representadas pelo fluxo bidirecional do P entre o sangue e o trato digestivo. O  $F_{21}$  representa o fluxo do P que vai para o compartimento 2, saindo do compartimento 1, sendo os demais

fluxos também representados dessa maneira. O  $F_{32}$  e  $F_{23}$ , assim como o  $F_{42}$  e  $F_{24}$ , representam o fluxo e o refluxo nos compartimentos, ossos e tecidos moles, respectivamente.

O princípio da conservação das massas é aplicado para cada compartimento na Fig. 1 para gerar as equações diferenciais, que representam o comportamento dinâmico do sistema. As equações diferenciais apresentadas de 1 a 4 representam esse princípio para o P não marcado, e as equações de 5 a 8 para o P, conforme Tab. 2.

Tabela 2. Símbolos utilizados no desenvolvimento do modelo de Vitti para a distribuição de fósforo no metabolismo de suínos

$F_{ij}$	Fluxo total de P para o <i>pool</i> $i$ a partir do $j$ . $F_{10}$ denota fluxo de entrada dentro do <i>pool</i> e o $F_{0j}$ o fluxo de saída do sistema a partir do compartimento $j$ . Parâmetros em negrito indicam o fluxo que pode ser medido experimentalmente: g/d
D	Dose de $^{32}\text{P}$ administrada no sangue no tempo zero: dpm.
$Q_i$	Quantidade total de P no <i>pool</i> $i$ : g
$q_i$	Quantidade de $^{32}\text{P}$ na <i>pool</i> $i$ : dpm
$S_i$	Atividade específica do <i>pool</i> $i$ ( $= q_i/Q_i$ ): dpm/g
T	Tempo: d

$$\begin{aligned}
 (01) \quad & dQ_1/dt = F_{10} + F_{12} - F_{01} - F_{21} \\
 (02) \quad & dQ_2/dt = F_{21} + F_{23} + F_{24} - F_{02} - F_{12} - F_{32} \\
 & - F_{42} \\
 (03) \quad & dQ_3/dt = F_{32} - F_{23} \\
 (04) \quad & dQ_4/dt = F_{42} - F_{24} \\
 (05) \quad & dq_1/dt = S_2 F_{12} - S_1 (F_{01} - F_{21}) \\
 (06) \quad & dq_2/dt = S_1 F_{21} + S_3 F_{23} + S_4 F_{24} - S_2 (F_{02} \\
 & + F_{12} + F_{32} + F_{42}) \\
 (07) \quad & dq_3/dt = S_2 F_{32} - S_3 F_{23} \\
 (08) \quad & dq_4/dt = S_2 F_{42} - S_4 F_{24} .
 \end{aligned}$$

Quando se considera o coeficiente diferencial de  $S_3$  com respeito ao tempo, tem-se:

$$(09) \quad 3/dt = d(q_3/Q_3)/dt = [dq_3/dt - (q_3/Q_3)dQ_3/dt]/Q_3 .$$

Ao reorganizar o sistema de equações, obtém-se:

$$(10) \quad dq_3/dt = Q_3 dS_3/dt + S_3 dQ_3/dt .$$

Quando se utilizam as equações (03) e (04) para substituir por  $dQ_3/dt$  e  $dq_3/dt$ , respectivamente, aproximando-se  $dS_3/dt$  por  $[S_3(t) - S_3(t=0)] / [t - 0]$ , a equação (11) torna-se: (12)  $S_3/t = (S_2 - S_3)F_{32}/Q_3$  .

Como  $S_3(t=0)$  é zero, e considerando-se similar, logo, ao aplicar para  $ds_4/dt$ , então tem-se: (13)  $S_4/t = (S_2 - S_4) F_{42}/Q_4$  .

Oito dias depois da injeção do material radioativo, pressupõe-se que o *pool* 1 (lúmen do intestino) encontra-se em estado estável (i.e., ambos  $dQ_1/dt$  são zero) e que o compartimento 2 (sangue) acha-se em estado não isotópico estável (i. e.,  $dQ_2/dt$  é zero). Assim, as equações (01), (02), (05), (11) e (12) agora se transformam:

$$\begin{aligned}
 (14) \quad & F_{10} + F_{12} - F_{01} - F_{21} = 0 \\
 (15) \quad & F_{21} + F_{23} + F_{24} - F_{02} - F_{12} - F_{32} - F_{42} = 0 \\
 (16) \quad & S_2 F_{12} - S_1 (F_{01} + F_{02}) = 0 \\
 (17) \quad & (S_2 - S_3)F_{32}/Q_3 = S_3/8 \\
 (18) \quad & (S_2 - S_4)F_{42}/Q_4 = S_4/8 .
 \end{aligned}$$

Por meio da manipulação algébrica das equações (13) e (17), tem-se o resultado:

$$\begin{aligned}
 (19) \quad & F_{12} = S_1 F_{10}/(S_2 - S_1) \\
 (20) \quad & F_{21} = F_{10} + F_{12} - F_{01} \\
 (21) \quad & F_{32} = S_3 Q_3/[8(S_2 - S_3)] \\
 (22) \quad & F_{42} = S_4 Q_4/[8(S_2 - S_4)] \\
 (23) \quad & |F_{23} + F_{24}| = F_{02} + F_{12} + F_{32} + F_{42} - F_{21} ,
 \end{aligned}$$

em que o  $|F_{23} + F_{24}|$  indica o fluxo experimentalmente medido. O fluxo combinado  $|F_{23} + F_{24}|$  denota a soma do fluxo de saída do *pool* 3 e do *pool* 4 (equação 23), podendo ser

separado pela combinação desses dois *pools*. O  $S^*$  denota a atividade específica desse *pool* combinado, sendo calculado de acordo com a equação 24:

$$\begin{aligned}
 (24) \quad & |F_{23} + F_{24}| = F_{23} + F_{24} \\
 (25) \quad & S^* = (S_3 Q_3 + S_4 Q_4) / (Q_3 + Q_4) .
 \end{aligned}$$

Por meio de manipulação algébrica das equações (23) e (25), obtém-se:

$$\begin{aligned}
 (26) \quad & F_{24} = (S^* - S_3) \times |F_{23} + F_{24}| / (S_4 - S^*) \\
 (27) \quad & F_{23} = |F_{23} + F_{24}| - F_{24} .
 \end{aligned}$$

O modelo é aplicado usando as equações (18) a (22), (24) e (26) a (27) para computar os fluxos desconhecidos.

Os resultados encontrados foram submetidos à análise de variância e à análise de regressão por polinômios ortogonais, de acordo com os procedimentos do SAS (2000).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros utilizados no estudo do fluxo do P no metabolismo de suínos encontram-se na Tab. 3.

O uso de diferentes níveis de enzima fitase nas dietas não interferiu no P consumido ( $F_{10}$ ) ( $P > 0,05$ ), sendo considerado normal, pois, em ensaios de metabolismo, o consumo de ração é padronizado, visto que as dietas são calculadas de acordo com o consumo metabólico, o que está de acordo com Moreira *et al.* (2009), os quais também não observaram efeitos da fitase sobre essa variável.

A excreção de P nas fezes ( $F_{01}$ ) foi de 2,13; 1,94; 1,56; 1,65; 1,52g/dia, respectivamente, para os níveis de 0, 250, 500, 750 e 1000UF/kg de ração. Considerando-se a excreção de 2,13g/dia, média do tratamento sem adição de fitase, como 100% de excreção, obteve-se uma redução de 8,92%, 26,76%, 22,53% e 28,64% com a utilização de 250, 500, 750 e 1000UF/kg de dieta, respectivamente. Estes valores apresentaram a mesma tendência observada por Conte (2000), em pesquisa com frangos de corte.

Observou-se uma relação linear decrescente entre os níveis de fitase e o P excretado nas fezes ( $P < 0,05$ ) (Fig. 2), o que demonstra a eficiência da enzima em catabolizar a molécula de fitato e disponibilizar o P e outros nutrientes para o metabolismo animal.

Tabela 3. Efeitos da enzima fitase no fluxo de P no metabolismo de suínos

Parâmetro	Símb.	Níveis de enzima fitase em UF/kg de dieta				
		0	250	500	750	1000
<b>Entradas do modelo (g P/dia)</b>						
Ingestão de P	F10	4,41±0,82	4,10±0,25	3,79±0,26	3,95±0,18	3,81±0,25
<sup>3</sup> P excretado nas fezes	F01	2,13±0,34	1,94±0,44	1,56±0,39	1,65±0,31	1,52±0,17
P excretado na urina	F02	0,088±0,083	0,141±0,089	0,0438±0,035	0,0135±0,013	0,129±0,119
<b>Saídas do modelo (g/dia)</b>						
<sup>3</sup> P do sangue para os TD	F12	0,432±0,123	0,489±0,094	0,594±0,106	0,620±0,131	0,542±0,071
P do TD para o sangue	F21	2,71±1,025	2,65±0,95	2,94±0,54	2,915±0,56	2,84±0,45
P do sangue para ossos	F32	14,49±3,18	18,48±4,52	18,25±5,52	18,45±4,17	15,88±2,85
P do sangue para os TM	F42	3,18±0,52	3,51±0,504	3,38±1,005	3,18±0,62	2,87±0,73
P dos TM para o sangue	F24	3,40±0,80	3,78±0,48	3,60±1,11	3,34±0,64	3,00±0,83
P dos ossos para o sangue	F23	12,07±3,30	16,20±4,13	15,83±5,06	16,02±3,65	13,59±2,27

<sup>a</sup>Efeito linear (P< 0,05).

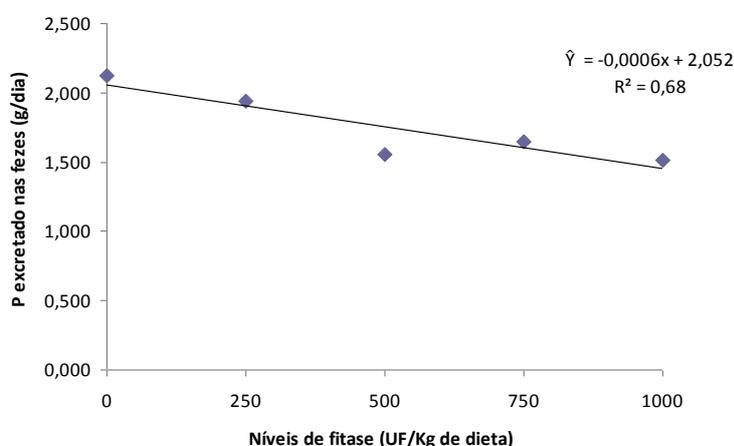


Figura 2. Efeitos de níveis crescentes de inclusão de enzima fitase sobre o P excretado nas fezes (F<sub>01</sub>).

Os resultados deste experimento estão em consonância com os de Figueirêdo *et al.* (2000), que constataram redução no conteúdo de P total excretado nas fezes de suínos alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja, adicionadas com níveis crescentes de enzima fitase. Do mesmo modo, Moreira *et al.* (2003) observaram que houve redução da excreção de P nas fezes de suínos, quando utilizou fitase até o nível de 931UF/kg (ponto mínimo). Ludke *et al.* (2002) verificaram que a fitase (níveis entre 421-

466UF/kg) ocasionou redução do N, P e Ca excretados por leitões.

O P, além de ser o terceiro nutriente mais oneroso nas rações para monogástricos, depois da proteína e da energia, tem sido considerado um dos nutrientes mais poluidores ao meio ambiente, devido ao baixo aproveitamento do P das fontes vegetais pelos suínos, exigindo a suplementação de fontes inorgânicas de P, o que leva à formulação de dietas com alto teor de P

total e, conseqüentemente, com altas taxas de excreções nos dejetos (Rostagno *et al.*, 2007).

Em relação ao P excretado na urina ( $F_{02}$ ), não foi encontrado efeito significativo, devido, provavelmente, a um coeficiente de variação elevado, conforme também já foi observado por Figueirêdo *et al.* (2000) e Moreira *et al.* (2003), que constataram que a enzima fitase não influenciou o P urinário. Entretanto, Lopes (1998) constatou que houve uma relação linear entre o P ingerido e o P urinário, o que indica que a utilização do P consumido é regulada também pela ação renal. De acordo com os estudos de Breves e Schroder (1991), a excreção renal do P pela urina, em monogástricos, funciona como importante mecanismo de controle homeostático.

Em relação ao endógeno ( $F_{12}$ ), que representa o fluxo de P da corrente sanguínea para o trato gastrointestinal, foi observado um efeito linear positivo, como mostra a Fig. 3, o que caracteriza

um efeito real da enzima fitase sobre a molécula de fitato. A maior quantidade de P que retorna do sangue para o trato digestivo pode ser produto de uma maior disponibilidade do mineral nos locais de absorção.

A fitase interferiu na excreção do P total e endógeno nas fezes, entretanto não foram observados efeitos significativos ( $P>0,05$ ) sobre a variável  $F_{21}$ , que representa o fluxo do P do trato digestivo para o plasma. Resultados similares foram observados por Moreira *et al.* (2009), que, ao trabalharem com dietas balanceadas com milho e farelo de soja, suplementadas com níveis crescentes de fitase (253, 759, 1265 e 1748UF/kg), também não observaram efeitos sobre essa variável.

A variável  $F_{21}$  representa a absorção total, uma associação entre o fluxo do P exógeno e uma fração reabsorvida do P endógeno, constituindo uma variável pouco eficiente para avaliar os efeitos da fitase.

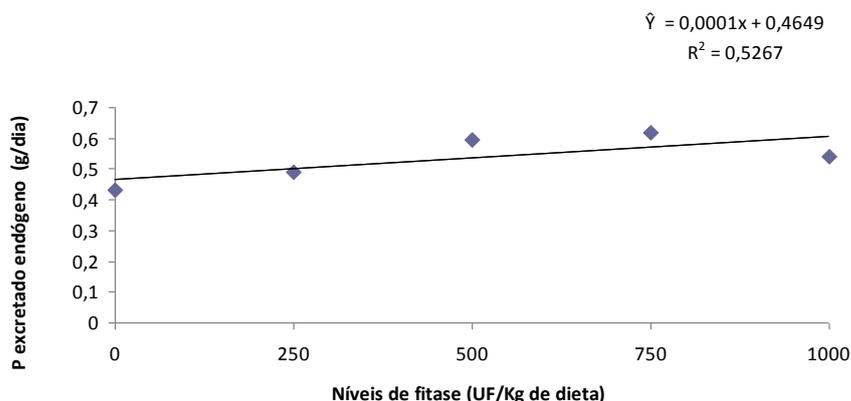


Figura 3. Efeitos de níveis crescentes de inclusão de enzima fitase sobre o P endógeno ( $F_{12}$ ).

O fluxo de P do sangue para o osso ( $F_{32}$ ) e o refluxo do P do osso para o sangue ( $F_{23}$ ) não foram afetados pelos níveis crescentes de inclusão da fitase nas dietas ( $P>0,05$ ). Os valores obtidos para  $F_{21}$  foram 14,49; 18,48; 18,25; 18,45 e 15,88 e para  $F_{32}$  foram 12,07; 16,20; 15,83; 16,02 e 13,59, correspondendo aos tratamentos 0, 250, 500, 750 e 1000, respectivamente. Os valores demonstram o efeito da enzima, sendo o fluxo e o refluxo da dieta correspondentes ao tratamento controle, inferior aos tratamentos em que se utilizou a fitase,

entretanto esse efeito não foi detectado pela análise de regressão.

O mecanismo homeostático do suíno é muito eficiente, podendo aumentar a absorção e reduzir a excreção endógena, sem afetar de maneira significativa a concentração nos ossos. Conte (2000), ao trabalhar com frangos de corte alimentados com dietas com farelo de arroz integral suplementadas com níveis crescentes de fitase (0, 400, 800 e 1200UF/kg), também concluiu que a utilização da enzima não afetou a deposição de zinco, ferro, cobre e manganês nos

ossos de frangos aos 21 e aos 42 dias de idade. Entretanto, Moreira *et al.* (2009) encontraram resultados diferentes, observando efeito linear positivo entre essas duas variáveis, o que demonstra que o fluxo de entrada e saída nos compartimentos é constante e que houve efeito da enzima na retenção de P nos ossos.

O osso é um compartimento fundamental para o estudo do metabolismo do P, pois é no esqueleto ósseo e nos dentes que ficam armazenados cerca 80% do P absorvido (Moreira *et al.*, 2010). O P absorvido entra na corrente sanguínea, e seu mecanismo de transporte para as células é regulado por um sistema hormonal constituído pelos hormônios paratireoideanos (PTH) e calcitonina (CT), estrógeno e metabolitos de vitamina D (Murray *et al.*, 1990). A CT atua na entrada do fosfato nas células ósseas e no fluido periósseo, diminuindo o movimento do cálcio ósseo para o plasma, enquanto o PTH estimula o movimento do Ca e do P dos ossos para o sangue.

A fitase não influenciou o fluxo do P da corrente sanguínea para os tecidos moles  $F_{42}$  e o refluxo do P dos tecidos para o sangue  $F_{24}$  ( $P > 0,05$ ). A retenção de P nos tecidos e órgãos é variável e depende da taxa de renovação e da fase de crescimento do animal. Conforme o desenvolvimento progressivo do animal, a troca desses minerais vai diminuindo e pode aumentar durante as fases de reprodução, gestação e lactação. (Georgievskii, 1982); sendo assim, em experimento de curta duração, os efeitos podem ser difíceis de serem detectados, pois, apesar do intercâmbio ser obrigatório, as exigências dos tecidos são garantidas pelo mecanismo fisiológico do animal, por meio da homeostase no sangue.

## CONCLUSÃO

O uso de dieta à base de milho e farelo de soja, suplementada com 50% de P por fosfato bicálcico e 250UF/kg de dieta, reduz em 27% o P nas excreções fecais, sem afetar o fluxo e o refluxo do P nos ossos e nos tecidos moles.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Fapesp, pelo financiamento do projeto, e às empresas ABVista Feed, Ingredients Nutron e Ajinomoto, pela doação de ingredientes para a formulação da dieta dos animais.

## REFERÊNCIAS

BEZERRA, S. A. Gestão ambiental da propriedade suinícola: um modelo baseado em 307 um biosistema integrado. *Revista Ciências Empresariais* da UNIPAR, v.6, p.153-186, 308 2005.

BETTELHEIM, F.A.; BROWN, W.H.; CAMPBELL, M.K.; FARRELL, S.O. *Introdução à Bioquímica*. 9.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 781p.

BREVES, G.; SCHRODER, B. Comparative aspects of gastrointestinal phosphorus metabolism. *Nutrit. Res. Rev.*, v.4, p.125-140, 1991

CONTE, A.J. *Valor nutritivo do farelo de arroz integral em rações para frangos de corte, suplementadas com fitase e xilase*. 2000. 164f. Tese (doutorado em zootecnia). Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2000.

FIGUEIRÊDO, A.V.; FIALHO, E.T.; VITTI, D.M.S.S. *et al.* Ação da fitase sobre a disponibilidade biológica do fósforo, por intermédio da técnica de diluição isotópica, em dietas com farelo de arroz integral para suínos. *Rev. Bras. Zootec.*, v.29, p.177-182, 2000.

GEORGIEVSKII, V.I. The physiological role of macroelements. In: GEORGIVIESKII, V.I.; ANNENKOV, B.N.; SAMOKHIN V.T. (Eds.) *Mineral nutrition of animals*. 1.ed. London: Butterworths, 1982. p.91-170.

HACK, E.C; SATURNINO, P.M.F.C.; MEINERZ, C.C. *et al.* Geração de resíduos provenientes da suinocultura na região oeste do Paraná: um caso de insustentabilidade. *Sci. Agraria Paranaensis*, v.10, p.21-36, 2011.

LOPES, J.B. *Avaliação da absorção real e das perdas endógenas de fósforo para suínos pela técnica de diluição isotópica*. 1998. 87f. Tese (doutorado em ciências em energia nuclear). Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1998.

LOPES, J.B.; VITTI, D.M.S.S.; ABDALLA, A.L. *et al.* Modelo do fluxo biológico do fósforo de fontes de fosfato em suínos, usando o  $^{32}\text{P}$  como marcador. *Rev. Bras. Zootec.*, v.30, p.165-173, 2001.

- LUDKE, M.C.M.; LOPEZ, J.; LUDKE, J.V. Fitase em dietas para suínos em crescimento: (II) parâmetros de carcaça e ossos. *Cienc. Rural*, v.32, p.103-118, 2002.
- MOREIRA, J.A.; VITTI, D.M.S.S., LOPES, J.B. *et al.* Biodisponibilidade e perdas endógenas mínimas de P em dietas com níveis crescentes de fitase para suínos em crescimento pela técnica de diluição isotópica. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.55, p.350-356, 2003.
- MOREIRA, J.A.; VITTI, D.M.S.S.; TEXEIRA, A.O. *et al.* Fisiologia digestiva de suínos alimentados com rações contendo diferentes fontes de fósforo. *Rev. Bras. Zootec.*, v.38, p.676-684, 2009.
- MOREIRA, J.A.; VITTI, D.M.S.S.; PATINO, T.S. *et al.* Impacto ambiental provocado pelo P em dietas suplementadas com enzima fitase e proteína ideal para suínos em crescimento: estudo do fluxo do P no metabolismo animal. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.62, p.1206-1215, 2010.
- MURRAY, R.K.; GRANER, D.K.; MAYNES, P.A.; RODWELL, V.W. *Bioquímica*. São Paulo: Atheneu, 1990. 705p.
- NATIONAL Research Council – NRC. *Nutrients requirement of swine*. 10.ed. Washington, D.C.: 1998. p.189.
- RODRIGUES, P. B., BRITO, J.A.C., SILVA, E.L., NASCIMENTO, G.A.J. Manejo na dieta para reduzir o impacto ambiental da excreção de nutrientes na avicultura. In: VII Seminário de Aves e Suínos, 2007, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: AVISUI Regiões.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. *et al.* *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. 2.ed. Viçosa: UFV, 2005. 186p.
- ROSTAGNO, H.S.; BÜZEN, S.; SAKOMURA, N.K.; ALBINO, L.F.T. Avanços metodológicos na avaliação de alimentos e de exigências nutricionais para aves e suínos. *Rev. Bras. Zootec.*, v.36, p.295-304, 2007.
- SANTOS, S.P.; NUNES, R.C.; LOPES, E.L. *et al.* Retirada do suplemento micromineral-vitamínico, redução de fósforo inorgânico e adição de fitase em rações de suínos na fase de terminação. *Cienc. Anim. Bras.*, v.9, p.663-671, 2008.
- SEGANFREDO, M.A. Os dejetos de suínos são um fertilizante ou um poluente do solo. *Cad. Cienc. Tecnol.*, v.16, p.129-141, 1999.
- SIMONS, P.C.M., VERSTEEGH, H.A.J. 1990. Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. *Br. J. Nut.*, v. 64, p. 525-540.
- STATISTICAL analysis system-SAS. The SAS system for windows. Release 8.01. Cary: SAS Institute, 2000.
- TEIXEIRA, A.O.; LOPES, D.C.; VITTI, D.M.S.S. *et al.* Estimativas do fluxo do fósforo entre os compartimentos anatômicos e fisiológicos de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo. *Rev. Bras. Zootec.*, v.33, p.1246-1253, 2004.
- VITTI, D.M.S.S.; KREAB, E.; LOPES, J.B. *et al.* A kinetic of phosphorus metabolism in growing goats. *J. Anim. Sci.*, v.78, p.2706-2712, 2000.
- VITTI, D.M.S.S.; ROQUE, A.P.; DIAS, R.S. *et al.* Metabolismo de cálcio em ovinos em crescimento sobre suplementação com diferentes fontes de cálcio: aplicação e comparação de dois modelos matemáticos. *Rev. Bras. Zootec.*, v.35, p.2487-2495, 2006.