

Níveis de Substituição do Fosfato Bicálcico pelo Monobicálcico em Dietas para Suínos nas Fases de Crescimento e Terminação¹

Alexandre de Oliveira Teixeira², Darci Clementino Lopes³, Paulo Cezar Gomes³, João Batista Lopes⁴, Leidimara Feregueti Costa⁵, Vanusa Patrícia de Araújo Ferreira⁶, Sérgio de Miranda Pena⁷, José Aparecido Moreira⁸, Silvano Bünzen⁷

RESUMO - Cinquenta e seis leitões (peso médio inicial de 28,47 kg) foram distribuídos em um delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2 (níveis de substituição do fosfato bicálcico x sexo), com quatro repetições para machos e três para fêmeas e dois animais/baia, para avaliar os efeitos da substituição do fosfato bicálcico pelo fosfato monobicálcico sobre o desempenho e os parâmetros sanguíneos e ósseos de suínos alimentados nas fases de crescimento (30 a 60 kg de peso) e terminação (60 a 90 kg de peso). As dietas experimentais, à base de milho e farelo de soja e P suplementado com a substituição de 33,33%, 66,67% e 100% do fosfato bicálcico (FBC) pelo monobicálcico (MBC), foram formuladas com base nos valores de fósforo total, ou seja, isofosfóricas (0,56% e 0,42% nas fases de crescimento e terminação, respectivamente). Os níveis de substituição do FBC pelo MBC não influenciaram o desempenho, os pesos absoluto e relativo dos rins e do fígado, o rendimento de carcaça e os parâmetros sanguíneos dos suínos. Entretanto, observou-se diminuição linear nos teores de cinza, de fósforo e de cálcio dos ossos e aumento linear na espessura da camada compacta e na relação camada compacta/periosteio dos ossos com a substituição do FBC pelo MBC. A substituição total e/ou parcial do fosfato bicálcico pelo monobicálcico não influenciou o desempenho dos suínos nas fases de crescimento e terminação.

Palavras-chave: flúor, histologia osso, nutrição, resistência, soro sanguíneo

Levels of Substitution of Phosphate Dicalcium by Monodicalcium in the Diets of Swine in the Growing and Finishing Phases

ABSTRACT - Fifty-six pigs (average initial weight of 28.47 kg) were assigned to a randomized blocks design, in a factorial scheme 4 x 2 (levels of dicalcium phosphate substitution x sex) with four replicates for males and three for females, with two animals per experimental unit, to evaluate the effects of replacement levels of phosphate dicalcium by phosphate monodicalcium on the performance, blood and bone parameters of swine fed during the growing (30 to 60 kg) and finishing (60 to 90 kg) phases. Corn and soybean meal based -diets with phosphorus supplemented with replacement levels of 33.33, 66.67 and 100% of phosphate dicalcium (FBC) by monodicalcium (MBC) were formulated based on the values of total phosphorus, i.e., isophosphoric (0.56 and 0.42% in the growth and finishing phases, respectively). The levels of substitution of FBC for MBC did not influence the performance, absolute and relative weight of the kidneys and liver, carcass yield and blood parameters. However, a linear decrease was observed in the ash, phosphorus and calcium contents of the bones and a lineal increase in the thickness of the compact layer and in the layer compact/periosteal relationship of the bones with the substitution of FBC by MBC. It was conclude that during the growth and finishing phases the total and/or partial substitution of phosphate dicalcium by monodicalcium does not influence the performance of the animals.

Key Words: fluorine, histology bone, nutrition, breaking strength, blood serum

Introdução

A baixa disponibilidade de fósforo nos alimentos vegetais usados nas rações de suínos torna necessária a suplementação deste mineral a partir de fontes como o fosfato bicálcico, o que onera o custo de produção, uma

vez que o fósforo inorgânico é, entre os elementos minerais, o mais caro (Nunes et al., 2001). Segundo Viana (1985), na escolha de uma fonte suplementar de fósforo, devem-se considerar o custo por unidade do elemento, a forma química em que o elemento está presente, a granulometria, a solubilidade e o teor de impurezas.

¹ Projeto parcialmente financiado pela BUNGE FERTILIZANTES S/A.

² Zootecnista e doutor em Zootecnia – UFV - 36.571-000 - Viçosa – MG (alexandre.teixeira@bunge.com).

³ Professores do Departamento de Zootecnia - UFV – 36.571-000 - Viçosa - MG.

⁴ Professor do Departamento de Zootecnia - UFPI – Teresina - PI.

⁵ Zootecnista, Mestre em Zootecnia - UFV - 36571-000 – Viçosa - MG.

⁶ Zootecnista e professora titular da FEAD – Belo Horizonte - MG.

⁷ Zootecnista - UFV - 36.571-000 - Viçosa - MG.

⁸ Pesquisador CENA/USP - Piracicaba - SP.

O fosfato bicálcico (FBC) – um suplemento de fósforo para animais amplamente empregado nas rações – é resultante da acidificação do concentrado apatítico, proveniente da flotação da rocha finamente moída, normalmente, com ácido sulfúrico, resultando em ácido fosfórico, que é desfluorizado e desulfatado. A reação entre o rejeito carbonatítico e o ácido fosfórico resulta no FBC, produto com baixos níveis de flúor e de outros contaminantes (Lima et al., 1995). Possui, no mínimo, 18% de fósforo, relação mínima fósforo/flúor de 100/1 e máxima de cálcio/fósforo de 1,38/1.

Nos últimos anos, pesquisas têm sido feitas, no sentido de avaliar fontes alternativas ao fosfato bicálcico na alimentação animal, buscando-se reduzir o custo de produção, sem prejudicar o desempenho produtivo. No entanto, a maioria das pesquisas foi realizada a partir da avaliação da substituição do FBC pelos fosfatos de rocha (Cardoso, 1991; Veloso, 1991), que, todavia, sofrem restrições de uso na alimentação animal, em razão dos baixos teores de fósforo (P), reduzidos valores de biodisponibilidade de fósforo e elevados teores de flúor. Os fosfatos monoamônico e monocálcico, por outro lado, constituem-se em boas fontes de fósforo para suínos (Barbosa et al., 1992).

No mercado internacional, estão disponíveis vários produtos de composição e valor biológico variáveis – fosfato diamônio, fosfato de sódio monobásico, tripolifosfato de sódio e ácido fosfórico –, que, porém, são menos usados, por sua instabilidade química, pelo custo mais elevado ou, ainda, pelos cuidados especiais no manuseio (ANDIF, 1997).

A utilização de fosfato monobicálcico no Brasil é recente e o número de pesquisas utilizando esta fonte é incipiente. O fosfato monobicálcico é resultante da reação do ácido fosfórico com o concentrado apatítico, em condições que favorecem a evaporação do flúor. É um produto que se caracteriza pela maior presença de fosfato monocálcico, cuja característica é a alta solubilidade em água. Possui, no mínimo, 20% de fósforo, relação mínima fósforo/flúor de 60/1 e máxima de cálcio/fósforo de 1,15/1. Portanto, pode-se tornar uma fonte viável para alimentação de monogástricos com a finalidade de balancear os níveis de cálcio e de fósforo das rações.

Muitos critérios têm sido usados para avaliar a utilização de fósforo nos ingredientes da ração de suínos: desempenho, resistência óssea, cinza no osso, fósforo e fosfatase alcalina no soro, anormalidades

no esqueleto, distribuição do fósforo nos tecidos, taxa de incorporação e biodisponibilidade do fósforo (Ammerman et al., 1963; Peeler, 1972; Gomes, 1988; Lopes, 1998; Lopes et al., 1999; Figueirêdo et al., 2001).

Os ossos podem ser avaliados, também, pela técnica de histomorfometria, com o objetivo de quantificar estruturas do tecido ósseo, como a espessura do perióstio e da camada compacta, diminuindo, assim, a subjetividade dos achados histológicos (Mores et al., 1999).

Neste estudo, foram avaliados os efeitos da substituição do fosfato bicálcico pelo fosfato monobicálcico sobre o desempenho e os parâmetros sanguíneos e ósseos de suínos.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia (DZO) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais, no período de novembro de 2001 a maio de 2002.

Foram utilizados 56 leitões, com peso médio inicial de 28,47 kg, distribuídos em 28 baias, em delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2 (níveis de substituição do fosfato bicálcico x sexo), com quatro repetições para machos e três para fêmeas e dois animais/unidade experimental. Os animais foram alojados em baias de crescimento e terminação, utilizando-se equipamentos, manejo e programa profilático semelhantes aos empregados nas explorações comerciais de suínos. A distribuição dos animais ocorreu conforme o sexo, peso e parentesco.

As rações das fases de crescimento (30 a 60 kg) e de terminação (60 a 90 kg) foram formuladas para atender às exigências dos animais, conforme recomendações de Rostagno et al. (2000). As análises bromatológicas dos ingredientes e das dietas foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, segundo metodologia descrita por Silva (1990).

As rações-controle, à base de milho moído e farelo de soja, foram isoprotéicas, contendo 17,9 e 16,8% de PB para as fases de crescimento e terminação, respectivamente, e isocalóricas, com 3.400 kcal/kg de ED.

Foram adotados os seguintes tratamentos: 100% FBC = dieta basal com 100% do fosfato suplementado com fosfato bicálcico; 33% MBC =

dieta basal com 66,67% do fosfato suplementado com FBC e 33,33% do fosfato monobicálcico (MBC); 66% MBC = dieta basal com 33,33% do fosfato suplementado com FBC e 66,67% do MBC; e 100% MBC = dieta basal com 100% do fosfato suplementado com MBC.

As dietas experimentais, formuladas com base nos valores de fósforo total, foram isofosfóricas, com 0,56 e 0,42% nas fases de crescimento e terminação, respectivamente (Tabela 1).

No final das fases de crescimento (59,90 kg de peso) e terminação (95,34 kg de peso), foram efetuadas pesagens dos animais e das sobras de ração e coletadas amostras de sangue, por punção na região dos sinos orbitais, em todos os animais do bloco, para determinação de fosfatase alcalina, de fósforo e de cálcio. Os teores de fosfatase alcalina, de fósforo e de cálcio foram analisados no Laboratório de Bioquímica da Universidade Federal de Viçosa, utilizando *kits* comerciais.

Tabela 1 - Composição das rações experimentais nas fases de crescimento e terminação
Table 1 - Composition of experimental diets in the growing and finishing phases

Ingredientes <i>Ingredients</i>	Rações experimentais (<i>Experimental diets</i>)							
	Fase de crescimento <i>Growing phase</i>				Fase de terminação <i>Finishing phase</i>			
	100%	33%	66%	100%	100%	33%	66%	100%
	BIC	MBC	MBC	MBC	BIC	MBC	MBC	MBC
Farelo de soja <i>Soybean meal</i>	26,24	26,24	26,24	26,24	22,08	22,08	22,08	22,08
Milho (<i>Corn</i>)	68,00	68,00	68,00	68,00	74,40	74,40	74,40	74,40
L-lisina (<i>L-Lysine HCl</i>)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
Óleo de soja (<i>Soybean oil</i>)	1,65	1,65	1,65	1,65	0,70	0,70	0,70	0,70
Sal (<i>Salt</i>)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31
Mistura mineral ¹ <i>Mineral mix</i>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Mistura vitamínica ² <i>Vitamin mix</i>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
BHT	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário (<i>Limestone</i>)	0,99	1,05	1,12	1,17	1,11	1,14	1,17	1,19
Fosfato bicálcico ³ <i>Dicalcium phosphate</i>	1,28	0,86	0,42	-	0,58	0,39	0,19	-
Fosfato monobicálcico ³ <i>Monocalcium phosphate</i>	-	0,39	0,79	1,18	-	0,18	0,36	0,54
Areia lavada (<i>Washed sand</i>)	1,23	1,20	1,17	1,15	0,56	0,54	0,53	0,52
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada ⁴ (<i>Calculated composition</i> ⁴)								
Energia digestível, kcal/kg <i>Digestible energy</i>	3400	3400	3400	3400	3401	3401	3401	3401
Proteína, % <i>Crude protein</i>	17,90	17,90	17,90	17,90	16,502	16,502	16,502	16,502
Fósforo total, % <i>Total phosphorus</i>	0,560	0,560	0,560	0,560	0,420	0,420	0,420	0,420
Cálcio (<i>Calcium</i>), %	0,780	0,780	0,780	0,780	0,651	0,651	0,651	0,651
Sódio (<i>Sodium</i>), %	0,157	0,157	0,157	0,157	0,160	0,160	0,160	0,160
Lisina total (<i>Total lysine</i>), %	0,980	0,980	0,980	0,980	0,840	0,840	0,840	0,840
Metionina (<i>Methionine</i>), %	0,287	0,287	0,287	0,287	0,270	0,270	0,270	0,270
Treonina (<i>Threonine</i>), %	0,693	0,693	0,693	0,693	0,639	0,639	0,639	0,639
Triptofano (<i>Tryptophan</i>), %	0,212	0,212	0,212	0,212	0,188	0,188	0,188	0,188

¹ Conteúdo/kg (*Content/kg*): 100 g Fe; 10 g Cu; 1 g Co; 40 g Mn; 100 g Zn; 0,3 g Se; 1,5 g I; 1.000 g excipiente (*vehicle*) q.s.p.

² Conteúdo/kg (*Content/kg*): vit A - 6.000.000 UI; D₃ - 1.500.000 UI; E - 15.000 UI; B₁ - 1,35; B₂ - 4 g; B₆ - 2 g; ácido pantotênico (*Pantotenic acid*) - 9,35 g; vit K₃ - 1,5 g; ácido nicotínico (*Nicotinic acid*) - 20,0 g; vit B₁₂ - 20,0 g; ácido fólico (*Folic acid*) - 0,6 g; biotina (*Biotin*) - 0,08 g; excipiente (*vehicle*) q.s.p. - 1.000 g.

³ Análises realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFV. Conteúdo (%) de cálcio, fósforo, magnésio e flúor (Ca; P; Mg; F) das fontes: FBC: (23,25; 18,66; 1,34; 0,17) e MBC: (19,5; 20,29; 0,81; 0,19). *Analyses accomplished in the Laboratory of Animal Nutrition of the Department of Animal Science of UFV: Content (%) of the calcium, phosphorus, magnesium and fluorine (Ca; P; Mg; F) of the source: FBC: (23,25; 18,66; 1,34; 0,17) and MBC: (19,5; 20,29; 0,81; 0,19)*

⁴ Composição calculada segundo Rostagno et al. (2000). (*Calculated composition according to Rostagno et al., 2000*).

No final de cada bloco experimental, após jejum de 24 horas, foi abatido um animal por baia, com o peso próximo da média do bloco. Foi coletada a pata anterior direita e fragmentos com, aproximadamente, 1 cm de comprimento, da sexta costela a cerca de 10 cm abaixo da articulação costovertebral, para análise histológica. Em seguida, efetuou-se a pesagem de fígado, rins e carcaça.

As patas coletadas foram colocadas em panela de alumínio, envoltas em papel-alumínio, e fervidas, para amolecer a pele e a carne que envolve os ossos. Após descarnamento, foram lavadas em água fria e, com auxílio de escova, retirados os resíduos de carne e a cartilagem proximal. Mediram-se o comprimento e o diâmetro dos ossos, com paquímetro, que, em seguida, foram pesados.

O terceiro metacarpiano do membro anterior de um animal por baia foi submetido à resistência a quebra ou flexão, utilizando o aparelho Instron Corporation IX Automated Materials Testing System – modelo 4204, pertencente ao Laboratório de Papel e Celulose do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa.

Após quebra, os ossos foram desengordurados em extrator Soxhlet e levados à estufa ventilada a 55°C, por 72 horas; em seguida, foram triturados em moinho de bola, para se proceder à secagem definitiva em estufa a 105°C, por 24 horas. A determinação dos teores de cinzas foi feita em forno mufla a 600°C; as concentrações de cálcio e de magnésio dos ossos, por espectrofotometria de absorção atômica; e de fósforo, por colorimetria, de acordo com a metodologia descrita por Silva (1990). As análises de flúor foram realizadas no laboratório da Rodes Química Cajati LTDA, em Cajati - São Paulo.

Os fragmentos de costela foram lavados imediatamente em solução fisiológica, fixados em BOUIN por 24 horas, desidratados em álcool etílico, diafanizados em xilol e incluídos em parafina. Com micrótomo, realizaram-se secções com 7 mm de espessura, sendo os cortes corados em hematoxilina e eosina. As análises morfológicas foram feitas por intermédio de microscópio, com aumento de 40 vezes, acoplado ao analisador de imagem "Image-Pro Plus 1.3.2" (1994).

Para estudo histológico do osso da costela, foram feitas 140 medidas por tratamento em 20 pontos distintos da superfície do osso cortical, para determinar a espessura do periosteio, que compreende desde a superfície em contato com o tecido muscular até a superfície da camada compacta, e a largura da camada

compacta, que compreende desde a superfície periosteal até o osso trabecular.

A análise estatística dos parâmetros estudados no experimento foi realizada de acordo com o programa Statistical Analysis System (SAS, 1996), sendo os dados submetidos à análise de regressão.

Resultados e Discussão

Os dados de ganho de peso médio diário (GP), de consumo de ração médio diário (CR) e de conversão alimentar (CA) de suínos alimentados com ração contendo níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico, nas fases de crescimento e terminação e de acordo com o sexo, são apresentados na Tabela 2.

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os níveis de substituição e sexo dos animais. Os machos tiveram maior ($P < 0,05$) GP e CR que as fêmeas e a pior ($P < 0,05$) conversão alimentar, em todos os períodos.

A substituição do FBC pelo MBC não influenciou ($P > 0,05$) o GP, CR e CA dos animais em todos os períodos. Apesar de não ter sido diferente nos animais que consumiram ração com níveis crescentes de MBC, o GP apresentou tendência de aumento em relação àqueles dos tratamentos com FBC.

As fontes de fósforo à base de fosfato e monobicálcico podem substituir o fosfato bicálcico em rações de suínos do sétimo dia até a fase de acabamento, sem prejudicar o desempenho dos animais (Barbosa et al., 1995; Barbosa et al., 1992; Medeiros, 1999). Segundo Gomes (1995), os fosfatos de Tapira, monobicálcico, Fosforindus, monoamônio e as diversas combinações destes elementos constituem fontes de fósforo que podem ser utilizadas em rações de suínos nas fases de crescimento e terminação.

O mesmo comportamento pode ser observado neste experimento, em que a utilização de fosfato monobicálcico promove resultados de desempenho semelhantes aos do FBC e, ainda, possui baixa contaminação por metais pesados e flúor e maior biodisponibilidade do fósforo que os fosfatos de rochas usados em outros experimentos.

Economicamente, a substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico será viável quando o preço do monobicálcico for, no máximo, 10% superior ao fosfato bicálcico, pois o MBC possui aproximadamente 10% mais fósforo que o FBC.

Os dados de pesos absoluto e relativo do fígado e rim e o rendimento de carcaça de suínos alimentados

Tabela 2 - Ganho de peso diário (GP), consumo ração médio diário (CR) e conversão alimentar de suínos alimentados com ração contendo níveis crescentes de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico nas fases de crescimento e terminação, de acordo com o sexo (M = macho; F = fêmea e C = média)

Table 2 - Weight gain daily (DWG), feed intake daily (DFI) and feed / gain ratio(F/G) of swine fed with ration contend increasing levels of substitution of the phosphate dicalcium for the mono-dicalcium in the growing and finishing phase, according to sex (M = male; F = female and X = mean)

Parâmetros <i>Parameters</i>	Sexo <i>Sex</i>	Níveis de substituição (<i>Substitution Levels</i>)				CV ¹ (%)
		100% FBC	33% MBC	66% MBC	100% MBC	
GP - 30 a 60 kg	Macho(M)	0,895	0,909	0,938	0,928	11,39
DWG - 30 to 60 kg	Fêmea (F)	0,703	0,823	0,739	0,793	
	Médias(X)	0,799	0,866	0,839	0,860	
GP - 60 a 90 kg	Macho(M)	1,044	0,965	1,071	1,046	9,95
DWG - 60 to 90 kg	Fêmea (F)	0,925	0,831	0,831	0,987	
	Médias(X)	0,985	0,898	0,951	1,016	
GP - 30 a 90 kg	Macho(M)	0,968	0,936	1,004	0,986	9,40
DWG - 30 to 90 kg	Fêmea (F)	0,812	0,827	0,784	0,894	
	Médias(X)	0,890	0,881	0,894	0,940	
CR - 30 a 60 kg	Macho(M)	2,117	2,203	2,277	2,145	8,69
DFI - 30 to 60 kg	Fêmea (F)	1,721	1,929	1,790	1,767	
	Médias(X)	1,919	2,066	2,034	1,956	
CR - 60 a 90 kg	Macho(M)	3,118	3,026	3,076	3,161	11,80
DFI - 60 to 90 kg	Fêmea (F)	2,321	2,283	1,978	2,254	
	Médias(X)	2,720	2,654	2,527	2,707	
CR - 30 a 90 kg	Macho(M)	2,617	2,615	2,676	2,653	9,65
DFI - 30 to 90 kg	Fêmea (F)	2,021	2,106	1,884	2,011	
	Médias(X)	2,319	2,360	2,280	2,332	
CA - 30 a 60 kg	Macho(M)	2,37	2,42	2,43	2,31	8,04
F/G - 30 to 60 kg	Fêmea (F)	2,45	2,34	2,42	2,23	
	Médias(X)	2,40	2,39	2,42	2,27	
CA - 60 a 90 kg	Macho(M)	2,99	3,14	2,87	3,02	10,32
F/G - 60 to 90 kg	Fêmea (F)	2,51	2,75	2,38	2,28	
	Médias(X)	2,76	2,96	2,66	2,66	
CA - 30 a 90 kg	Macho(M)	2,70	2,79	2,67	2,69	5,88
F/G - 30 to 90 kg	Fêmea (F)	2,49	2,55	2,40	2,25	
	Médias(X)	2,61	2,68	2,55	2,48	

¹ Coeficiente de variação (*coefficient of variation*).

² FBC: fosfato bicálcico (*FBC: Dicalcium phosphate*); MBC: Fosfato monobicálcico (*MBC: Monodicalcium phosphate*).

com ração contendo níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico, nas fases de crescimento e terminação, são apresentados na Tabela 3.

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os níveis de substituição e sexo. Não foram observadas também diferenças ($P > 0,05$) entre machos e fêmeas em todos os parâmetros estudados, exceto para peso absoluto do fígado, que foi maior ($P < 0,05$) nos machos.

O aumento da substituição do FBC pelo MBC nas dietas experimentais não influenciou ($P > 0,05$) os pesos absoluto e relativo dos órgãos e o rendimento de carcaça de suínos aos 90 kg de peso.

Os teores de cálcio (Ca), de fósforo (P) e de fosfatase alcalina (FA) do soro sanguíneo de suínos aos 60 e aos 90 kg de peso, em função das dietas experimentais, são apresentados na Tabela 4.

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os níveis de substituição e sexo. Também não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) entre machos e fêmeas em todos os parâmetros estudados, exceto para atividade da fosfatase alcalina aos 60 kg de peso, que foi maior ($P < 0,05$) nas fêmeas.

A substituição do FBC pelo MBC não influenciou ($P > 0,05$) os parâmetros sanguíneos; entretanto, a fosfatase alcalina dos animais que consumiram dieta FBC apresentaram tendência de redução da atividade, à medida que o FBC foi substituído pelo MBC.

A fosfatase alcalina é uma enzima que catalisa a hidrólise de ésteres de fosfato, com vida média no sangue de 24 a 48 horas. Sua concentração sérica tem sido amplamente utilizada como marcador da remodelagem óssea; em humanos, é um marcador

Tabela 3- Pesos absolutos (g) e relativos (% da carcaça) de fígado e rins e rendimento de carcaça de suínos alimentados com ração contendo níveis crescentes de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico, nas fases de crescimento e terminação

Table 3 - Absolute (g) and relative (% of carcass) weights liver of and kidney, and carcass yield (%) of swines fed ration with increasing levels of substitution of the phosphate dicalcium by monodicalcium in the growing and finishing phases

Parâmetros Parameters	Níveis de substituição Substitution levels				CV ¹ (%)
	100% FBC	33% MBC	66% MBC	100% MBC	
Fígado (kg) (Liver)	1,68	1,68	1,73	1,80	16,92
Rim (kg) (Kidney)	0,313	0,327	0,322	0,348	10,33
Relativo fígado (%) (Relative liver)	1,87	1,85	1,81	1,89	17,37
Relativo rim (%) (Relative kidneys)	0,347	0,359	0,339	0,364	12,02
Rendimento carcaça (%) (Carcass yield)	77,21	78,22	76,39	77,77	4,45

¹ Coeficiente de variação (coefficient of variation).

² FBC: fosfato bicálcico (FBC: Dicalcium phosphate); MBC: Fosfato monobicálcico (MBC: Monodicalcium phosphate).

Tabela 4- Efeito de níveis crescentes de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico sobre o teor de fosfatase alcalina (FA), fósforo (P) e cálcio (Ca) do soro sangüíneo de suínos aos 60 e 90 kg de peso

Table 4 - Effect of increasing substitution levels of phosphate by monodicalcium into the content of alkaline phosphatase (PA), phosphorus (P) and calcium (Ca), of the blood serum swine to the 60 and 90 kg of weight

Parâmetros Parameters	Níveis de substituição Substitution levels				CV ¹ (%)
	100% FBC	33% MBC	66% MBC	100% MBC	
FA - 60 kg (UI)	442,93	404,43	426,43	409,43	11,91
FA - 90 kg (UI)	439,07	374,50	405,36	404,69	11,98
P - 60 kg (mg/dL)	9,35	8,95	9,37	8,81	8,08
P - 90 kg (mg/dL)	8,39	8,45	8,75	8,74	8,99
Ca - 60 kg (mg/dL)	12,94	12,50	13,24	12,89	5,66
Ca - 90 kg (mg/dL)	13,82	13,95	13,75	13,40	4,25

¹ Coeficiente de variação (coefficient of variation).

² FBC: Fosfato bicálcico (FBC: Dicalcium phosphate) MBC: Fosfato monobicálcico (MBC: Monodicalcium phosphate).

útil. Embora a medida de sua atividade envolva grande variedade de isoenzimas que se originam dos intestinos, rins, pâncreas, placenta, fígado e osso, as duas maiores fontes desta enzima são o osso (osteoblasto) e o fígado (células endoteliais).

A fosfatase alcalina osso-específica está localizada na membrana plasmática do osteoblasto, sendo liberada na circulação como um dímero. O seu papel exato é desconhecido, mas, *in vivo*, está envolvida na formação e mineralização óssea e correlaciona-se com a fosfatase alcalina total e osteocalcina; sua vantagem é ser relativamente independente de doenças que afetam outras fontes de fosfatase alcalina (Åkesson, 1995, citado por Penido et al., 2003).

A dosagem da fosfatase alcalina em suínos é discutida. Boyd et al. (1983) verificaram que a disponibilidade de fósforo no milho com alta umidade foi

semelhante quando determinada com base na resistência à quebra de osso ou na atividade de fosfatase alcalina como critério de resposta. Por outro lado, Doige et al. (1975) observaram que os níveis de fosfatase alcalina no soro apresentam pouco valor no diagnóstico de deficiência de cálcio ou fósforo.

Koch & Mahan (1986) e Engstron et al. (1985) encontraram efeito linear significativo na concentração de fósforo inorgânico no soro sangüíneo de suínos em terminação recebendo níveis crescentes de fósforo dietético. Diferentemente dos resultados desta pesquisa, esses autores verificaram que a hipofosfatemia se instalou progressivamente nos leitões alimentados com as rações deficientes em fósforo, atingindo média mínima de fósforo, no plasma, em torno de 34 a 41 dias de restrição do mineral na ração, em consequência da depressão das reservas lábeis do elemento nos tecidos de reserva de fósforo no animal.

Os resultados de comprimento, peso, diâmetro, resistência, teores de gordura, cinza, cálcio, fósforo, magnésio e flúor do osso do terceiro metacárpio, espessura do perióstio e da camada compacta e relação camada compacta/perióstio do osso da costela dos suínos alimentados com ração contendo níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico, nas fases de crescimento e terminação, encontram-se na Tabela 5.

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os níveis de substituição e sexo. Não foram observadas também diferenças ($P > 0,05$) entre os sexos, para todos os parâmetros estudados.

As dietas experimentais não influenciaram ($P > 0,01$) comprimento, peso, diâmetro, resistência, teores de gordura, magnésio e flúor do osso terceiro metacárpio, bem como a espessura do perióstio da costela dos suínos.

A substituição do FBC pelo MBC provocou redução linear no teor de cinza na ASA ($P < 0,05$; $Y = 52,2365 - 0,02984x$; $R^2 = 98\%$), cinza na ASE ($P < 0,05$; $Y = 54,8264 - 0,03859x$; $R^2 = 100\%$), fósforo

($P < 0,05$; $Y = 11,7399 - 0,00701x$; $R^2 = 98\%$) e cálcio ($P < 0,05$; $Y = 19,3922 - 0,0149x$; $R^2 = 88\%$) no osso dos animais que consumiram níveis crescentes de MBC. No entanto, a substituição do FBC pelo MBC provocou aumento linear na camada compacta ($P < 0,01$; $Y = 513,483 + 220,493x$; $R^2 = 77\%$) e na relação perióstio/camada compacta ($P < 0,01$; $Y = 4,0634 + 2,4150x$; $R^2 = 66\%$).

O cálcio de origem vegetal encontra-se, em grande parte, sob a forma de fitato ou oxalato, tornando-se pouco solúvel e pouco absorvível (Gueguen, 1990). A suplementação de cálcio é feita com calcário calcítico. Entretanto, a maioria dos suplementos de fósforo também possui elevados e variados teores de cálcio. Segundo Ross et al. (1984), o cálcio contido nos diversos suplementos minerais é completo e igualmente assimilável. Entretanto, encontra-se pouca informação quanto à biodisponibilidade de cálcio dos diferentes suplementos de fósforo contendo cálcio (Cromwell, 1989). A partir dos resultados obtidos neste experimento, fica clara a necessidade de se conhecer não apenas a biodisponibilidade de fósforo das fontes de

Tabela 5 - Comprimento, peso, diâmetro, resistência, teor de gordura, cinza, cálcio, fósforo, magnésio e flúor, espessura do perióstio e da camada compacta e a relação camada compacta/perióstio do osso de suínos alimentados com ração contendo níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico, nas fases de crescimento e terminação

Table 5 - Length, weigh, diameter, breaking strength, content of the fat, ash, calcium, phosphorus, magnesium and fluorine and periosteal thickness, and compact layer and relationship compact layer/thickness periosteal of the bone of swine fed with diet contend increasing levels of substitution phosphate dicalcium by monodicalcium in the growing and finishing phase

Parâmetros Parameters	Níveis de substituição Substitution levels				CV ³ (%)
	100% FBC	33% MBC	66% MBC	100% MBC	
Comprimento (cm) (Length)	7,21	7,02	7,03	7,15	3,46
Peso (g) (Weigh)	19,71	18,71	19,57	20,00	9,65
Diâmetro (cm) (Diameter)	1,40	1,40	1,35	1,42	6,91
Resistência (N) ² Breaking strength	946	930	940	935	1,45
Gordura (%) (Fat)	17,89	16,91	15,28	14,61	23,48
Cinza ASA (%) ¹ (Ash)	52,43	51,07	50,02	49,47	5,31
Cinza ASE (%) ¹ (Ash)	54,98	53,37	52,18	54,13	5,99
Fósforo (%) ¹ (Phosphorus)	11,77	11,43	11,32	11,03	6,02
Cálcio (%) ¹ (Calcium)	19,60	18,53	18,53	17,94	5,70
Magnésio (%) (Magnesium)	2,85	2,81	2,62	2,77	8,89
Flúor (%) (Fluorine)	0,514	0,385	0,420	0,366	37,31
Espessura do perióstio (µm) Periosteal thickness	113,8	122,09	109,14	109,3	22,08
Espessura da compacta (µm) ¹ Compact layer	821,9	749,08	1326,97	1352,5	12,33
Relação compacta/perióstio ¹ Compact/periosteal ratio	7,22	6,14	12,16	12,36	28,46

¹ Efeito linear ($P < 0,01$) (Linear effect, $P < 0,01$).

² Resistência do osso em N, em que 1N = 0,1020 kgf/mm (Breaking strength of bone in N, where 1N = .1020 kgf/mm).

³ Coeficiente de variação.

FBC: fosfato bicálcico (FBC: Dicalcium phosphate); MBC: Fosfato monobicálcico (MBC: Monodicalcium phosphate).

fósforo das fontes de fósforo e cálcio, mas também a biodisponibilidade de cálcio.

A deficiência de cálcio e de fósforo pode resultar em prejuízo na mineralização dos ossos, redução do crescimento ósseo e crescimento deficiente. Suínos adultos consumindo dietas deficientes mobilizam cálcio e fósforo dos ossos, apresentando ossos frágeis (osteoporose). Isso pode resultar em uma condição denominada “porcas deitadas”. Entretanto, não foram observados sinais de deficiência nos animais que consumiram MBC.

Apesar de não ter sido diferente estatisticamente, o teor de magnésio e de flúor nos ossos mostrou tendência de redução nos animais que consumiram níveis crescentes de MBC, o que pode estar relacionado ao baixo teor de flúor e magnésio do MBCs. Entretanto, o flúor constitui um mineral importante, pois, no organismo, apresenta grande afinidade por tecidos duros mineralizados, onde substitui o composto hidroxiapatita por flurapatita

(Barbosa et al., 1993). Contudo, o excesso de flúor pode provocar incoordenação motora nos suínos (Bellaver et al., 1991). A sensibilidade à intoxicação por flúor obedece a uma escala decrescente: bovinos, caninos, eqüinos, ovinos, suínos e aves (Shupe & Olson, 1983).

As alterações histológicas (Figura 1) observadas no osso cortical dos animais que receberam níveis crescentes de MBC podem ter sido acompanhadas por aumento da porosidade óssea, pois não foi constatado incremento na resistência óssea, mas sim diminuição dos teores de cálcio e de fósforo, o que sugere maior reabsorção óssea.

Conclusões

Em suínos nas fases de crescimento e terminação, a substituição total e/ou parcial do fosfato bicálcico pelo monobicálcico não influencia o desempenho dos animais.

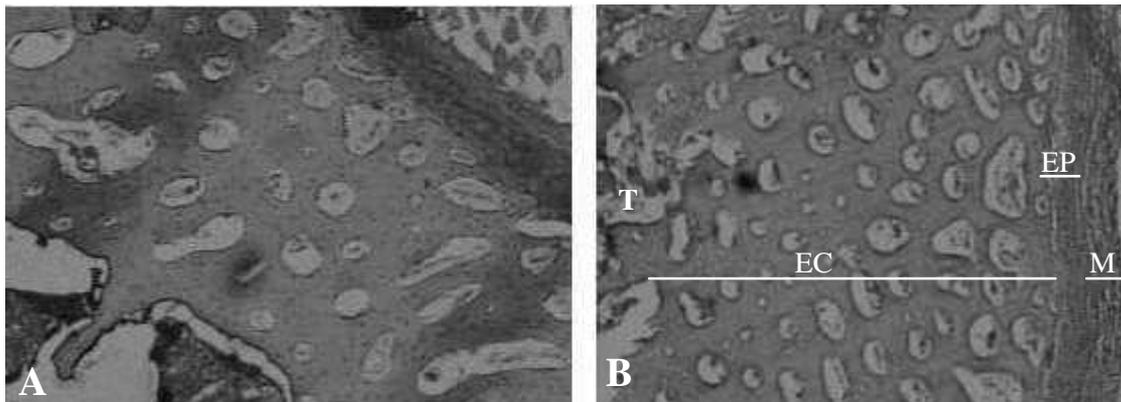


Figura 1 - Secções de ossos da costela dos suínos aos 90 kg de peso. As letras **A e B**, nas fotomicrografias, correspondem respectivamente aos ossos de suínos alimentados com as dietas contendo 100% FBC e 100% MBC. Em **B**, detalhe da: (**M**) tecido muscular; (**EP**) perióstio; (**T**) osso esponjoso e (**EC**) camada compacta. Aumento: 40 X. Coloração: HE.

Figure 1 - Slices of the rib bones of the swine with 90 kg of weight. The letters **A and B**, in the photo, correspond to the swine bones fed with diets contains 100% FBC and 100% MBC. In **B**, detail of the: (**M**) muscular tissue; (**EP**) periosteal; (**T**) bony spongy and (**EC**) layer compacts. Increase: 40 X. Coloration: HE.

Literatura Citada

- AMMERMAN, C.B.; ARRINGTON, L.R.; McCALL, J.T. et al. Inorganic phosphorus utilization by swine as measured by an isotope technique. *Journal of Animal Science*, v.22, n.2, p.890-893, 1963.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE FONTES DE FÓSFORO NA ALIMENTAÇÃO – ANDIF. **O fósforo na alimentação animal**. São Paulo: 1997. 74p. (Séries Técnicas 1).
- BARBOSA, H.P.; FIALHO, E.T.; LIMA, G.J.M.M. Efeitos dos níveis de flúor proveniente de fosfato de Patos de Minas no desempenho e características do osso de suínos em crescimento e terminação *Boletim da Indústria Animal*, v.50, n.1, p.1-5, 1993.
- BARBOSA, H.P.; MORES, N.; FIALHO, E.T. et al. Comparação de fontes de fósforo para suínos em diferentes idades. I. Aleitamento e creche. *Boletim da Indústria Animal*, v.52, n.2, p.119-125, 1995.

- BARBOSA, H.P.; MORES, N.; FIALHO, E.T. et al. Efeitos dos níveis de flúor provenientes dos fosfatos de Tapira e monocálcico no desempenho e características do osso de suínos em crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.21, n.5, p.838-846, 1992.
- BELLAVER, C.; GOMES, P.C.; FIALHO, E.T. et al. Fosfatos de rocha em dietas para suínos formuladas com base no fósforo disponível. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.10, p.1771-1776, 1991.
- BOYD, R.D.; HALL, D.; WU, J.F. Plasma alkaline phosphatase as a criterion for determining biological availability of phosphorus for swine. **Journal of Animal Science**, v.57, n.2, p.396-401, 1983.
- CARDOSO, J.L.A. Produção, processamento e perspectiva do fosfato na alimentação animal. In: MINI SIMPÓSIO DO COLÉGIO BRASILEIRO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 1991, Campinas. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 1991. p.35-52.
- CROMWELL, G.L. Requeriments, biological availability of calcium, phosphorus for swine evaluated. **Feedstuffs**, v.61, n.23, p.16-20, 1989.
- DOIGE, C.E.; OWEN, B.D.; MILLS, J.H.L. Influence of calcium and phosphorus on growth and skeletal development of growing swine. **Canadian Journal of Animal Science**, v.55, n.1, p.147-164, 1975.
- ENGSTRON, G.W.; HORST, R.L.; REINHARDT, T.A. et al. Effect of dietary phosphorus levels on porcine renal 25-hydroxyvitamin D₃ 1 α and 24-R hidroxyase activities and plasma 1,25-hydroxyvitamin D₃ concentration. **Journal of Animal Science**, v.60, n.5, p.1005-1011, 1985.
- FIGUEIRÊDO, A.V.; VITTI, D.M.S.S.; LOPES, J.B. et al. Disponibilidade biológica do fósforo de fontes fosfatadas determinada por intermédio da técnica de diluição isotópica. II. Suínos em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.5, p.1514-1520, 2001.
- FISHER, L.J. A comparison of supplemental forms of phosphorus. **Canadian Journal of Animal Science**, v.58, p.313-317, 1978.
- GOMES, P.C. **Exigência nutricional de fósforo e sua disponibilidade em alguns alimentos para suínos de diferentes idades**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1988. 163p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.
- GUEGEN, L. La biodisponibilité du calcium des aliments. **Cahiers de Nutrition et diététique**, v.25, n.4, p.233-236, 1990.
- IMAGE - PRO PLUS 1.3.2. **The proven solution for image analysis**. Reference Guide, 1994.
- KOCH, M.E.; MAHAN, D.C. Biological characteristics for assessing low phosphorus intake in finishing swine. **Journal of Animal Science**, v.62, p.163-172, 1986.
- LIMA, F.R.; MENDONÇA, C.X.; ALVAREZ, J.C. et al. Chemical and physical evaluations of commercial dicalcium phosphate as source of phosphorus in animal nutrition. **Poultry Science**, v.74, n.10, p.1659-1670, 1995.
- LOPES, J.B. **Avaliação da absorção real e das perdas endógenas de fósforo para suínos pela técnica de diluição isotópica**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 1998, 87p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 1998.
- LOPES, J.B.; VITTI, D.M.S.S.; FIGUEIRÊDO, A.V. et al. Avaliação das perdas endógenas e das exigências de fósforo, por meio da técnica da diluição isotópica, para suínos em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.4, p.773-778, 1999.
- MEDEIROS, S.L.S. **Desempenho de suínos em terminação suplementados com quatro fontes de fósforo disponível**. Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 1999. 54p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Minas Gerais, 1999.
- MORES, N.; BARBOSA, H.P.; BARIONI Jr., W. Efeito de diferentes fontes de fósforo na dieta sobre as características dos ossos de porcas e suas proles. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.19, n.1, p.1-6, 1999.
- NUNES, R.V.; BUTERI, C.B.; NUNES, C.G.V. et al. Fatores antinutricionais dos ingredientes destinados à alimentação animal. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2001. p.235-272.
- PEELER, H.T. Biological availability of nutrients in feeds: availability of major mineral ions. **Journal of Animal Science**, v.35, n.3, p.695-712, 1972.
- PEELER, H.T. Biological availability of nutrients in feeds: availability of major mineral ions. **Journal of Animal Science**, v.35, n.3, p.695-712, 1972.
- PENIDO, M.G.M.G.; LIMA, E.M.; MARINO, V.S.P. et al. Bone alteration in children with idiopathic hypercalciuria at the time of diagnosis. **Pediatric Nephology**, v.18, p.133-138, 2003.
- ROSS, R.D.; CROMWELL, G.L.; STAHLY, T.S. Effects of source and the particle size on biological availability of calcium supplements for growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.59, n.1, p.125-134, 1984.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. **Tabelas brasileira para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2000. p.141.
- STATISTICAL ANALYSES SYSTEM - SAS. **SAS system for Windows**. release 6.12. Cary: 1996. 01 CD-ROM.
- SHUPE, J.L.; OLSON, A.E. Clinical and pathological aspects of fluoride toxicosis in animals. In: SHUPE, J.L.; PETERSON, H.B.; LEONE, N.C. (Eds.). **Fluorides effects on vegetation, animals and humans**. Utah: 1983. p.319-338.
- SILVA, D.J. **Análise de alimentos** (métodos químicos e biológicos). Viçosa, MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 1990. 165p.
- VELOSO, J.A.F. **Perspectiva de uso dos fosfatos de rocha nacionais na alimentação animal**. Belo Horizonte: Centro de Extensão da Escola de Veterinária da UFMG, 1991. p.55-84. (Caderno técnico 6)
- VIANA, J.A.F. Fontes de sais minerais para bovinos e o desafio de suplementos de fósforo no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 1985, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1985. p.47-66.

Recebido em: 06/05/03

Aceito em: 31/08/04