

ALEXANDRE DE OLIVEIRA TEIXEIRA

**BIODISPONIBILIDADE E FLUXO DO FÓSFORO PELA TÉCNICA
DE DILUIÇÃO ISOTÓPICA E UTILIZAÇÃO DE FONTES
DE FÓSFORO PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO
E TERMINAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2002

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

T266b
2002

Teixeira, Alexandre de Oliveira, 1972-

Biodisponibilidade e fluxo do fósforo pela técnica de
diluição isotópica e utilização de fontes de fósforo para
suínos em crescimento e terminação / Alexandre de
Oliveira Teixeira. – Viçosa : UFV, 2002
121p. : il.

Orientador: Darci Clementino Lopes

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa

1. Suíno - Nutrição. 2. Suíno - Alimentação e rações -
Fontes de fósforo. 3. Radioisótopos em nutrição animal.
4. Suíno - Desempenho. 5. Suíno - Ossos. 6. Suíno - Tecidos -
Teor de metais pesados. I. Universidade Federal de
Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 636.4085

CDD 20.ed. 636.4085

ALEXANDRE DE OLIVEIRA TEIXEIRA

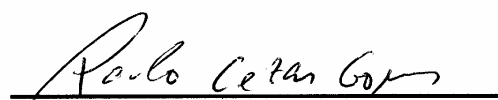
**BIODISPONIBILIDADE E FLUXO DO FÓSFORO PELA TÉCNICA
DE DILUIÇÃO ISOTÓPICA E UTILIZAÇÃO DE FONTES
DE FÓSFORO PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO
E TERMINAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Zootecnia, para
obtenção do título de “Doctor
Scientiae”.

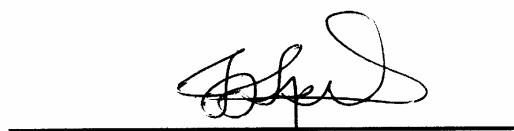
APROVADA: 2 de dezembro de 2002.



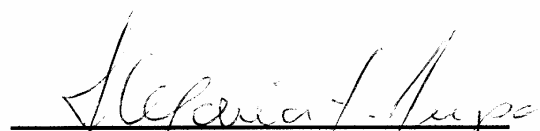
Prof. Horácio Santiago Rostagno
(Conselheiro)



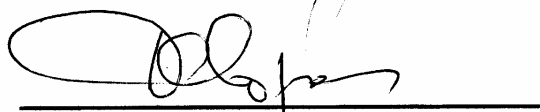
Prof. Paulo Cezar Gomes
(Conselheiro)



Prof. João Batista Lopes



Dr. Júlio Maria R. Pupa



Prof. Darci Clementino Lopes
(Orientador)

A Deus, por ter me dado a vida e sempre iluminá-la.

A os meus pais Domingos e Maria, pela educação, pelo irrestrito apoio e por sempre terem dado o mais lindo exemplo de bondade, coragem e honestidade.

A os meus irmãos, sobrinhos e cunhados, que incondicionalmente sempre me apoiaram nos diversos momentos de vida.

À minha amada Luciene, pelo constante incentivo e tão dedicado amor.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por meio do Departamento de Zootecnia (DZO), pela oportunidade oferecida e pela acolhida na realização do curso.

Ao professor Darci Clementino Lopes, pela orientação, pelos ensinamentos, pela dedicação e pela amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de iniciação científica.

À Empresa BUNGE FERTILIZANTES S/A e SERRANA NUTRIÇÃO ANIMAL, pelo financiamento das pesquisas apresentadas nesta instituição.

Aos amigos Aldo Ferreira, Daniel Lopes, Marcelo de Pádua, Paulo Roberto e Rainer Knoop, da BUNGE FERTILIZANTES S/A e SERRANA NUTRIÇÃO ANIMAL, pela confiança em nosso trabalho e pela amizade.

À Universidade Federal do Piauí (UFPI) e ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP), por acreditarem no intercâmbio entre Centros de Pesquisa como forma de aprimoramento e integração das pesquisas brasileiras.

Ao professor João Batista Lopes, sua esposa Wilza e filhos Clarissa, Manoela e Leandro, pela acolhida, paciência, dedicação e amizade.

À professora Dorinha Miriam Silber Schmidt Vitti, pela acolhida, pelas críticas, pelas sugestões, dedicação e amizade.

Aos Conselheiros Horácio Santiago Rostagno e Paulo Cezar Gomes, pelas críticas, pelas sugestões e pela amizade.

Ao Dr. José Aparecido Moreira, pesquisador do CENA/USP, pela amizade, pela colaboração e pelo apoio.

À professora Izabel Regina dos Santos Maldonado, pelos ensinamentos e pela amizade.

Ao Dr. Francisco Carlos de Oliveira, da EPAMIG, pelo apoio e pela amizade.

Ao Dr. Júlio Maria Pupa, pelas críticas, pelas sugestões e pela amizade.

Aos funcionários do Setor de Suinocultura da UFV, Francisco Ilário (“Chico”), Francisco Ferreira (“Marreco”), José Lopes (“Bie”), Raimundo, Sebastião (“Tião”), Vítor, Roberto e José Alberto (“Dedeco”), pela amizade, pela colaboração e pelo apoio.

Aos funcionários do Setor de Avicultura e Fábrica de Ração do DZO, pela amizade e eficiência.

Aos bolsistas de iniciação científica Sérgio Pena e Silvano Bunsen e aos estagiários Arele Calderano, Feliz Inácio, Lidison e Flávia Ferreira, pela valiosa ajuda, eficiência e amizade.

Aos Laboratoristas do LANA/CENA, Regina e Lécio, pela inestimável contribuição, amizade e eficiência.

Aos professores e funcionários do Departamento de Zootecnia, pelo excelente convívio e pela amizade.

Aos amigos Paulo Baiano, Telinho, Uislei, Michela, Gerson, André, Anderson, Alessandro, Rogério Pinto, Márvio, Eduardo, Luciene, Amalri, Jaime, Roberta, Rony e aos que esqueci de citar, pela valiosa ajuda na condução dos trabalhos e pela amizade.

Aos companheiros André Calambau, Antônio Policápio, Cláudio Futeco, Dudu, Gabriel, Hércia, Vanusa, José Mauro, Paulinho Cajubrina, Paulo Carneiro, Robson e Wander, pois companheiro é companheiro.

Aos amigos (*in memoriam*) Walter e Lucindo, que me acolheram, pela convivência e pela gratidão.

Aos amigos da república, que me acolheram, pela convivência e amizade.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

ALEXANDRE DE OLIVEIRA TEIXEIRA, filho de Domingos Teixeira Valente e Maria Teixeira de Oliveira, nasceu em Paula Cândido, Estado de Minas Gerais, em 11 de janeiro de 1972.

Em 1987, ingressou no Colégio Universitário da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, concluindo o segundo grau em 1990.

Em dezembro de 1995, graduou-se em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa.

Em março de 1996, iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, concentrando seus estudos na área de Nutrição de Monogástricos.

Em 8 de outubro de 1998, submeteu-se aos exames finais de defesa de tese, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

Em outubro de 1998, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, em nível de Doutorado, concentrando seus estudos na área de Nutrição de Monogástricos, defendendo tese no dia 2 de dezembro de 2002.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
Avaliação físico-química e determinação da biodisponibilidade do fósforo de diferentes fontes, através da técnica de diluição isotópica, com suínos em crescimento.....	4
Resumo	4
Abstract	5
Introdução	6
Material e métodos	7
Resultados e discussão	11
Conclusões	20
Referências bibliográficas	20
Cinética do radiofósforo em tecidos de suínos em crescimento alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo	24
Resumo	24
Abstract	25
Introdução	26

	Página
Material e métodos	27
Resultados e discussão	29
Conclusão	35
Referências bibliográficas	35
 Estimativas do fluxo de fósforo entre os compartimentos anatômicos e fisiológicos de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo.....	 37
Resumo	37
Abstract.....	38
Introdução	39
Material e métodos	40
Resultados e discussão	46
Conclusão	49
Referências bibliográficas	50
 Níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico em dietas para suínos nas fases de crescimento e terminação.....	 52
Resumo	52
Abstract.....	53
Introdução	54
Material e métodos	55
Resultados e discussão	60
Conclusão	67
Referências bibliográficas	67
 Avaliação de fontes e mistura de fontes de fósforo em dietas para suínos nas fases de crescimento e terminação	 71
Resumo	71
Abstract.....	72
Introdução	73
Material e métodos	74
Resultados e discussão	80
Conclusão	95
Referências bibliográficas	96
 3. CONCLUSÕES GERAIS	 101
APÊNDICE	103

RESUMO

TEIXEIRA, Alexandre de Oliveira, D.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2002. **Biodisponibilidade e fluxo do fósforo pela técnica de diluição isotópica e utilização de fontes de fósforo para suínos em crescimento e terminação.** Orientador: Darci Clementino Lopes. Conselheiros: Horácio Santiago Rostagno e Paulo Cezar Gomes.

Foram conduzidos cinco experimentos, com 168 leitões, para avaliar a biodisponibilidade e utilização de diferentes fontes de fósforo em dietas para suínos em crescimento e terminação, bem como testar hipóteses e ajustar modelos matemáticos que melhor representem os mecanismos biológicos, do fluxo do fósforo no organismo. No experimento I, foram utilizados 28 animais em delineamento de blocos ao acaso, em sete tratamentos – [Fosfatos: bicálcico (FBC), monobicálcico (MBC), superfosfato triplo (ST), superfosfato simples (SS), rocha catalão (ROCHA) e ácido fosfórico (AcF)] e ração controle sem o P suplementar (CONT) –, quatro repetições e um animal por gaiola de metabolismo. As fontes MBC e FBC apresentaram boa granulometria e, juntamente com AcF, baixo nível de contaminação por metais pesados. Os MBC, FBC, Tapira e AcF apresentam relação P:F superior aos 15:1. Os ST possuem variação na relação P:F e composição de metais pesados. A disponibilidade biológica do P foi de 43,82; 89,44; 82,65; 76,90; 98,73; 90,03; e 63,26 para os

tratamentos CONT, FBC, MBC, ST, SS, AcF e ROCHA, respectivamente. No experimento II, foram utilizados 21 animais em delineamento de blocos ao acaso, sete tratamentos (FBC, MBC, ST, SS, ROCHA, AcF e CONT), três repetições e um animal por gaiola de metabolismo. O fígado e o rim foram importantes no metabolismo do fósforo, e a utilização de dietas contendo menor nível e fonte orgânica de P e ração suplementada com fosfato de rocha influenciaram negativamente a taxa de mobilização, captação e retenção do fósforo nos tecidos. No experimento III, foram utilizados 21 animais em delineamento de blocos ao acaso, sete tratamentos (FBC, MBC, ST, SS, ROCHA, AcF e CONT), três repetições e um animal por gaiola de metabolismo; as dietas CONT e ROCHA não forneceram P para suprir as exigências nutricionais dos suínos, fazendo com que o fluxo do fósforo dos tecidos moles e ossos fosse mais intenso, para manter estável o P na corrente sangüínea. A utilização dos níveis de ácido fosfórico e superfosfato simples nas dietas sobrecarregou os rins, na eliminação do excedente de P pela urina. No experimento IV, foram utilizados 56 leitões em delineamento de blocos ao acaso, quatro tratamentos [33,33, 66,67 e 100% de substituição do bicálcico (FBC) pelo monobicálcico (MBC)], sete repetições e dois animais por baia. A substituição total e/ou parcial do fosfato bicálcico pelo monobicálcico não influenciou o desempenho e os parâmetros sangüíneos dos suínos, porém reduziu o teor de cinza, fósforo e cálcio dos ossos e aumentaram a camada compacta e a relação camada compacta/periósteo dos ossos de suínos nas fases de crescimento e terminação. No experimento V, foram utilizados 112 leitões em delineamento de blocos casualizados, oito tratamentos (CONT, FBC, MBC, ST, SS, ROCHA, MIST e AcF), sete repetições e dois animais por baia. A utilização de fontes alternativas de fósforo, com exceção de fontes orgânicas, maximiza o desempenho de suínos. Entretanto, as fontes menos elaboradas, como fosfato de rocha, superfosfato triplo, superfosfato simples e mistura de fontes, influenciaram negativamente os parâmetros sangüíneos, ósseos e a deposição de minerais e metais pesados no fígado e músculo dos suínos alimentados nas fases de crescimento e terminação.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Alexandre de Oliveira, D.S., Universidade Federal de Viçosa, December, 2002. **Bioavailability and Flow of Phosphorus using the Isotopic Dilution Technique and use of Phosphorus Sources for Swine during the Growing and Finishing Phases.** Adviser: Darci Clementino Lopes. Committee Members: Horácio Santiago Rostagno and Paulo Cezar Gomes.

Five experiments were conducted using 168 pigs to evaluate the bioavailability and use of different phosphorus sources in diets of swine during the growing and finishing phases as well as to test hypotheses and adjust mathematical models, that best represent the biological mechanisms of phosphorus flow in the organism. In experiment I, 28 animals were arranged in randomized blocks and seven treatments [phosphate source: dicalcium (FBC); monocalcium (MBC); triple superphosphate (ST); simple superphosphate (SS), Catalão rock (ROCHA) and phosphoric acid (AcF) and diet controls without supplemental P (CONT)], four repetitions and one animal per metabolism cage. The sources MBC and FBC presented good granulometry, and together with AcF, a low level of heavy metal contamination. MBC, FBC, Tapira and AcF presented a P:F relationship superior to 15:1. The STs vary their P:F relationship and heavy metal composition. Bioavailability of P was 43.82; 89.44; 82.65; 76.90; 98.73; 90.03 and 63.26 for the treatments CONT, FBC, MBC, ST, SS,

AcF and ROCK, respectively. In experiment II, 21 animals were distributed in randomized blocks, seven treatments (FBC, MBC, ST, SS, ROCK, AcF and CONT), three repetitions and one animal for metabolism cage. The liver and the kidney are important in phosphorus metabolism and the use of diets containing smaller level and organic source of P and rock phosphate-supplemented diet had a negative influence on the mobilization rate, reception and retention of phosphorus in the tissues. In experiment III, 21 animals were distributed in randomized blocks, seven treatments (FBC, MBC, ST, SS, ROCK, AcF and CONT), three repetitions and one animal for metabolism cage. CONT and ROCHA diets did not supply P to meet the nutritional requirement of the swine, making phosphorus flow from the soft tissues and bones more intensely to maintain P stable in the blood. The use of the soft vessels of phosphoric acid and simple superphosphate levels in the diets overloaded the kidneys, in the elimination of surplus P in the urine. In experiment IV, 56 pigs were distributed in randomized blocks, four treatments [33,33, 66,67 and 100% dicalcium (FBC) replacement by the monodicalcium (MBC)], seven repetitions and two animals for per box. The total and/or partial substitution of phosphate dicalcium for monodicalcium did not influence the performance and blood parameters of the pigs, but reduced the content of ash, phosphorus and calcium in the bones, increasing the compact layer and the layer compact/periosteal relation in the swine bones during the growing and finishing phases. In experiment V, 112 pigs were distributed in randomized blocks, eight treatments (CONT, FBC, MBC, ST, SS, ROCK, MIST and AcF), seven repetitions and two animals per box. The use of alternative sources of phosphorus, except for organic sources, maximize swine performance. However, less elaborated sources as rock phosphate, triple superphosphate, simple superphosphate and mixed sources negatively influenced the blood, and bone parameters and mineral and heavy metal deposition in the liver and muscles of swine fed during the growing and finishing phases.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O esforço em conjugar maior eficiência com menor custo de produção na exploração de suínos tem direcionado, tanto os profissionais das indústrias de ração como os pesquisadores, a buscar alternativas tecnológicas viáveis, que possam minimizar os efeitos adversos advindos da oscilação da oferta e dos preços dos insumos básicos usados na alimentação desses animais.

O fósforo é mineral essencial ao organismo animal, em razão das múltiplas e importantes funções que desempenha, como constituinte da matriz óssea, dos fosfolipídios da membrana celular, da estrutura dos ácidos nucleicos e de sistemas enzimáticos, motivo pelo qual é alvo de maior atenção na formulação de rações. Esse mineral representa de 20 a 50% dos custos com suplementos minerais e vitamínicos e até 1,5% dos gastos totais com alimentação de suínos (Lopes, 1998).

Para obtenção do fosfato alimentar, é necessária a transformação da fluorapatita (13 a 14% P, 3 a 4% F) em fosfato biologicamente utilizável, que deve conter no mínimo 100 partes de fósforo para cada parte de flúor como margem de segurança na alimentação animal (Mineral..., 1980). No Brasil, a Portaria nº 20 da Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária (Brasil, 1997) estabelecia que os fosfatos empregados na alimentação animal deveriam apresentar uma relação mínima de fósforo:flúor (P:F) de 60:1, e o limite máximo

de flúor era de 0,2% nas misturas minerais. Entretanto, a Portaria nº 6 da Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária (Brasil, 2000) estabelece que os fosfatos empregados na alimentação animal devem apresentar uma relação mínima de P:F de 15:1, sendo o limite máximo de flúor de 1% e o de cálcio 20%, com um mínimo de 9% de fósforo nas misturas minerais. As modificações na Portaria nº 20 abriram a possibilidade de incluir fosfato bruto de rocha na complementação mineral das rações para suínos.

Logo, a legislação brasileira, sobre utilização de fontes de fósforo na alimentação animal é insuficiente e muito tolerante, pois apenas restringe o teor de fósforo e o nível de flúor. No tocante aos metais pesados – um dos grandes perigos trazidos por alguns tipos de fosfatos usados na alimentação animal – a legislação é omissa. Dessa forma, o uso indiscriminado de certos fosfatos na nutrição animal fere o Código de Defesa do Consumidor, tendo como consequência, a médio e longo prazo, os riscos de o homem contrair cirrose hepática, alguns tipos de câncer e distúrbios no sistema nervoso, adquiridos pela ingestão de carne e leite contaminados por metais pesados e flúor (Associação ... – ANDIF, 1997).

Para avaliar corretamente a utilização de fosfatos naturais como fonte de fósforo para suínos, é necessário conhecer a composição química da fonte, a padronização da composição, a biodisponibilidade dos nutrientes, os efeitos sobre o desempenho dos animais e os perigos da ingestão de produtos oriundos desses animais.

Pelo exposto anteriormente, este trabalho destinou-se a avaliar a biodisponibilidade e a utilização de diferentes fontes de fósforo em dietas para suínos em crescimento e terminação, bem como testar hipóteses e ajustar modelos matemáticos que melhor representem os mecanismos biológicos do fluxo do fósforo no organismo.

Os artigos a seguir foram editorados com base nas exigências da Revista Brasileira de Zootecnia, publicada pela Sociedade Brasileira de Zootecnia, com adaptação às normas para elaboração de teses da Universidade Federal de Viçosa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE FONTES DE FÓSFORO NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL – ANDIF. **O fósforo na alimentação animal**. Séries técnicas, n.1. 1997.

BRASIL. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Portaria n.33 de 22 de abril de 1997. **Diário Oficial da União**, Brasília, 6 de junho de 1997.

BRASIL. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Portaria n.6 de c. **Diário Oficial da União**, Brasília, 4 de fevereiro de 2000.

LOPES, J.B. **Avaliação da absorção real e das perdas endógenas de fósforo para suínos pela técnica de diluição isotópica**. Piracicaba, 1998, 87p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

MINERAL TOLERANCE OF DOMESTIC ANIMALS. Washington, D.C.: **National Academy of Sciences**, 1980, 577p.

Avaliação Físico-Química e Determinação da Biodisponibilidade do Fósforo de Diferentes Fontes, Através da Técnica de Diluição Isotópica, com Suínos em Crescimento

RESUMO – Foram utilizados 28 leitões machos, com peso médio de 28,95 kg, para determinar as perdas endógenas fecais, absorção verdadeira e a biodisponibilidade do fósforo de diferentes fontes de fósforo. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro repetições e um animal por unidade experimental. As rações eram à base de milho e farelo de soja e o fósforo (P) foi suplementado através dos fosfatos bicálcico (FBC), monobicálcico (MBC), superfosfato triplo (ST), superfosfato simples (SS), rocha catalão (ROCHA) e ácido fosfórico (AcF) e da ração controle sem o P suplementar (CONT). As amostras das fontes de fósforo disponíveis no mercado foram avaliadas quanto à granulometria e composição química. No sétimo dia do experimento, os animais receberam injeção de 7,4 MBq de ^{32}P , como fosfato de sódio. Amostras de fezes, urina e sangue foram coletadas por sete dias. O consumo, a excreção por fezes e urina, a retenção e a absorção do fósforo foram inferiores na ração com menor nível de fósforo. O P inorgânico suplementar não influenciou o consumo, o P endógeno fecal e o P retido. Entretanto, a excreção de P nas fezes foi menor para os animais que consumiram SS e maior para aqueles que consumiram ROCHA. A excreção de P na urina foi maior nos animais que consumiram AcF e menor naqueles que consumiram ROCHA. O MBC e o FBC apresentaram boa granulometria; este último, juntamente com o AcF, apresentou baixo nível de contaminação por metais pesados. MBC, FBC, Tapira e AcF apresentaram relação P:F superior aos 15:1. Os STs possuem variação na relação P:F e composição de metais pesados, restringindo o seu uso na alimentação de suínos. Concluiu-se que a disponibilidade biológica do P foi de 43,82; 89,44; 82,65; 76,90; 98,73; 90,03; e 63,26 para os tratamentos CONT, FBC, MBC, ST, SS, AcF e ROCHA, respectivamente.

Palavras-chave: absorção, metabolismo, nutrição, P^{32} , radiofósforo, suínos.

Physical-Chemistry Evaluation and Bioavailability Determination of Phosphorus from Different Source, Using the Isotopic Dilution Technique, in Growth Swine

ABSTRACT – Twenty-eight male pigs with a mean weight of 28,95 kg were used to determine endogenous fecal losses, true absorption and phosphorus bioavailability in different phosphorus sources. The experiment was arranged in randomized blocks, with seven treatments and four repetitions and one pig/box. The diets were corn and soybean meal-based and the phosphorus (P) was supplemented through various phosphate sources: dicalcium (FBC); monocalcium (MBC); triple superphosphate (ST); simple superphosphate (SS), Catalão rock (ROCHA) and phosphoric acid (AcF) and diet controls without supplemental P (CONT). The samples of phosphorus sources available in the market were evaluated as to particle size and chemical composition. In the seventh day of the experiment, the animals received a 7,4 MBq ^{32}P injection as sodium phosphate. Samples of feces, urine and blood were collected during seven days. Phosphorus consumption, excretion through feces and urine, retention and absorption was inferior in the diet containing smaller phosphorus level. Supplemental inorganic P did not influence consumption, endogenous fecal P and retained P. However, the excretion of P in the feces was smaller for the animals fed SS and greater for those fed ROCHA. P excretion in the urine was greater for the animals fed AcF and smaller for those fed ROCHA. It can be concluded that MBC and FBC presented the ideal size of particles, together with AcF, presenting a low level of heavy metal contamination. MBC, FBC, Tapira and AcF presented a P:F relationship superior to the 15:1. ST, varied in the P:F relationship and heavy metal composition, restricting its use in swine feeding. The biological bioavailability of P was α 43.82; 89.44; 82.65; 76.90; 98.73; 90.03 and 63.26 for the treatments CONT, FBC, MBC, ST, SS, AcF and ROCHA, respectively.

Key words: absorption, metabolism, nutrition, P^{32} , radiophosphorus, swine.

Introdução

O conhecimento da biodisponibilidade dos nutrientes dos ingredientes da ração é importante para balancear técnica e economicamente rações para suínos nas diferentes etapas do ciclo de produção.

A disponibilidade biológica do fósforo é medida pela condição do elemento mineral suportar algum processo fisiológico (Peeler, 1972). Esta pode ser influenciada por vários fatores, dentre os quais se destacam: nível de fósforo na ração; fonte deste mineral; relação cálcio e fósforo; pH intestinal; antagonismo entre minerais; raças e linhagens; finalidade das criações; e metodologia aplicada nos ensaios.

Dentre as técnicas utilizadas para se conhecer a disponibilidade biológica do fósforo podem-se citar a técnica da relação dos coeficientes de regressão (*Slope ratio*), o método da curva-padrão, o método da diluição isotópica, o método de Sullivan e a simulação do fluxo biológico.

Os métodos das abscissas e o *Slope ratio* são comparativos e levam em conta apenas a absorção aparente do elemento, sem determinar as suas perdas endógenas, e, por isso, subestima o seu valor real (Bellaver et al., 1983). Por outro lado, a técnica de diluição isotópica, através do uso de radiotraçadores, é a única que torna possível a determinação das perdas endógenas do elemento; esta técnica é considerada “real”, enquanto as demais são “aparentes”. Usando essa técnica, Fernandez (1995) verificou que a absorção de P foi regulada no intestino de maneira similar à do Ca, e o balanço de fósforo foi, também, regulado pela ação renal.

Em um estudo conduzido por Lopes (1998) com leitões no final da fase de crescimento, consumindo P entre 62,6 e 121,1 mg P/kgPV/dia, as perdas endógenas fecais não foram influenciadas pelos níveis de P consumido, indicando que os níveis ingeridos não foram suficientes para atender às exigências de P dos leitões. A disponibilidade biológica do fósforo do fosfato bicálcico, nesse ensaio, foi de 74,7%, e a exigência para manutenção dos leitões,

baseando-se no nível zero de consumo de P na equação do P retido, foi de 28,81 mg P/kg PV/dia.

Figueirêdo et al. (2001), estudando a disponibilidade biológica do fósforo dos fosfatos bicálcico, Tapira, Patos de Minas, monoamônico e superfosfato triplo, para suínos em crescimento, através da técnica de diluição isotópica, concluíram que a excreção de P fecal e urinária, o P endógeno fecal e a absorção e a retenção de P não foram afetados pelas diferentes fontes de P; constataram também que a biodisponibilidade do P das rações com fosfato bicálcico foi similar à daquelas com os fosfatos de rocha, cujo valor médio foi de 63%. Para suínos em terminação, Figueirêdo et al. (1998) encontraram, para as mesmas fontes de fósforo, valor médio de 69% de biodisponibilidade, estando de acordo com os dados obtidos por Partridge (1981) e Bellaver et al. (1984) e discordando de Bellaver et al. (1983).

Assim, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a granulometria, a composição química e a biodisponibilidade do fósforo, por meio da técnica de diluição isotópica, em diferentes fontes de fósforo para suínos com 30 kg de peso.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais, no período de 19 de outubro a 5 de novembro de 2001.

Foram adquiridas, em estabelecimentos regulares de comércio, em embalagens fechadas, quatro marcas diferentes de fosfato de rocha, três marcas de superfosfato triplo e superfosfato simples, duas marcas de fosfato bicálcico e ácido fosfórico, uma marca de fosfato monobicálcico e uma marca comercial de mistura de fontes.

Foram colhidas amostras das fontes utilizadas na formulação das rações experimentais e de outras marcas comerciais. As análises físicas de granulometria e as análises de matéria seca, cinza, fósforo, cálcio e magnésio foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de

Zootecnia da UFV, segundo as metodologias descritas por Butolo (2002) e Silva (1990), respectivamente. As análises de flúor foram realizadas no Laboratório da Rodes Química Cajati Ltda., em Cajati – São Paulo. As análises de metais pesados foram feitas no Laboratório de Solos Florestais do Departamento de Solos da UFV.

Utilizaram-se 28 leitões machos, castrados, com peso médio de 28,95 kg, distribuídos em delineamento de blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro blocos. Foi utilizado como critério para formação dos blocos o peso e a idade dos animais.

Os animais foram alojados em gaiolas de metabolismo, estruturadas para separar fezes e urina, com dispositivos para o fornecimento de alimento e de água, semelhantes às descritas por Pekas (1968). Após o período de sete dias de adaptação às gaiolas e às rações, procedeu-se à coleta total de fezes e urina e de amostras diárias de sangue, durante sete dias consecutivos. As amostras de fezes e urina e o plasma sangüíneo foram congelados a -10 °C, para análises posteriores.

As rações eram à base de milho e farelo de soja, e o P foi suplementado através dos fosfatos bicálcico (FBC), monobicálcico (MBC), superfosfato triplo (ST), superfosfato simples (SS), rocha catalão (ROCHA) e ácido fosfórico (AcF) e da ração controle sem o P suplementar (CONT).

As rações experimentais, exceto a ração controle, para o fósforo, foram formuladas para atender às exigências nutricionais dos leitões nessa fase, conforme recomendações de Rostagno et al. (2000). A composição centesimal e os valores nutricionais das rações experimentais são apresentados na Tabela 1.

Na fase de adaptação, as rações experimentais foram distribuídas em duas refeições, uma às 10 horas e outra às 18 horas, com a quantidade de ração fornecida à vontade, sendo o consumo devidamente anotado a cada repetição.

Durante a fase de coleta, as rações experimentais também foram distribuídas em duas refeições, porém com o consumo diário baseado no peso metabólico ($W^{0,75}$), levando em consideração o menor consumo, dentre os animais de cada bloco, observado na fase pré-experimental, com água fornecida à vontade.

Tabela 1 – Composição das rações experimentais
Table 1- Composition of experimental diets

Ingredientes (<i>Ingredients</i>)	Rações experimentais (<i>Experimental diets</i>)						
	CONT	FBC	MBC	ST	SS	AcF	ROCHA
Farelo de soja (<i>Soybean meal</i>)	26,30	26,30	26,30	26,30	26,30	26,30	26,30
Milho (<i>Corn</i>)	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00
L-lisina (<i>L-Lysine HCl</i>)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Óleo de soja (<i>Soybean oil</i>)	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
Sal (<i>Salt</i>)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Mistura mineral ¹ (<i>Mineral mix</i>)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Mistura vitamínica ² (<i>Vitamin mix</i>)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Areia lavada (<i>Washed sand</i>)	1,780	1,225	1,147	1,065	0,00	0,700	1,620
Calcário (<i>Limestone</i>)	1,720	0,995	1,173	1,275	0,360	1,777	0,00
Fosfato bicálcico (<i>Dicalcium phosphate</i>)	-	1,280	-	-	-	-	-
Fosfato monobicálcico (<i>Monocalcium phosphate</i>)	-	-	1,180	-	-	-	-
Superfosfato triplo (<i>Triple superphosphate</i>)	-	-	-	1,160	-	-	-
Superfosfato simples (<i>Simple superphosphate</i>)	-	-	-	-	3,14	-	-
Ácido fosfórico (<i>Phosphoric acid</i>)	-	-	-	-	-	1,023	-
Fosfato rocha Catalão (<i>Phosphate Catalão rock</i>)	-	-	-	-	-	-	1,880
Total	100	100	100	100	100	100	100
Composição calculada ³ (<i>Calculated composition</i>) ³							
Energia digestível kcal/kg (<i>Digestible energy</i>)	3.400	3.400	3.400	3.400	3.400	3.400	3.400
Proteína (%) (<i>Crude protein</i>)	17,90	17,90	17,90	17,90	17,90	17,90	17,90
Fósforo total (%) (<i>Total phosphorus</i>)	0,321	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560
Cálcio (%) (<i>Calcium</i>)	0,780	0,780	0,780	0,780	0,780	0,780	0,780
Sódio (%) (<i>Sodium</i>)	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157
Lisina total (%) (<i>Total lysine</i>)	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980
Metionina (%) (<i>Methionine</i>)	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287
Met. + cistina (%) (<i>Methionine+cystine</i>)	0,586	0,586	0,586	0,586	0,586	0,586	0,586
Treonina (%) (<i>Threonine</i>)	0,693	0,693	0,693	0,693	0,693	0,693	0,693
Triptofano (%) (<i>Tryptophan</i>)	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212

¹ Conteúdo/kg (*Content/kg*): 100 g Fe; 10 g Cu; 1 g Co; 40 g Mn; 100 g Zn; 1,5 g I; 1.000 g excipiente (*vehicle*) selênio (*Selenium*) - 0,3 g 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 Composição calculada segundo Rostagno et al. (2000). (*Calculated composition according to Rostagno et al., 2000*).

No início da fase experimental, 7,4 MBq de $^{32}\text{P}/0,05\text{ml}$, na forma de fosfato de sódio ($\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$), livre de carregador, foram injetados em cada animal, por via endovenosa.

A detecção da radioatividade nas amostras de fezes, urina e plasma foi realizada em espectrômetro de cintilação líquida por efeito Cerenkov (IAEA, 1979).

O conteúdo de fósforo inorgânico, no plasma e na urina foi determinado por colorimetria, segundo Fiske & Subbarrow (1925), e nas rações e nas fezes, pelo método vanadato-molibdato (Sarruge & Haag, 1974).

Os cálculos do percentual da atividade do ^{32}P injetada no plasma e nas fezes e das atividades específicas (AE) no plasma e nas fezes foram feitos de acordo com Lofgreen (1960); o valor do fósforo endógeno fecal foi determinado com base em Comar et al. (1953) e Vitti (1989):

- Atividade injetada ($\text{AI } ^{32}\text{P}$) = [(contagem por minuto de 1 ml de plasma ou 1 g de fezes/contagem por minuto de uma solução-padrão) x 100];
- $\text{AE} = ^{32}\text{P}/\text{P total}$;
- % P endógeno fezes = (atividade específica do ^{32}P das fezes/atividade específica do ^{32}P do plasma) x 100; e
- P endógeno total das fezes = % do P endógeno nas fezes x P total excretado nas fezes.

As taxas de absorção real do fósforo foram determinadas pela relação entre a absorção real do fósforo e o P consumido; a biodisponibilidade do fósforo das fontes foi encontrada por meio de fracionamento do P consumido e o absorvido real entre a ração controle e as rações contendo as fontes fosfatadas (Figueirêdo, 2001).

A análise estatística dos parâmetros estudados nos experimentos foi realizada de acordo com o programa Statistical Analysis System (SAS) versão 6.12 (1996). Utilizou-se o teste Student-Newman-Keuls para comparação das médias.

Resultados e Discussão

Os dados de granulometria, composição de metais pesados e composição mineral das fontes de fósforo são apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

Com relação à granulometria, observou-se que os fosfatos de rocha e o fosfato Proteindus tiveram alta porcentagem de partículas menores que 0,3 mm. Entretanto, no superfosfatos simples a granulometria foi influenciada pelo fato de este ser higroscópico, formando grumos, aumentando assim a granulometria da fonte. Os fosfatos bicálcicos tiveram maior porcentagem dos grânulos abaixo de 0,3 mm. O fosfato monobicálcico, por ser microgranulado, possui granulometria média superior a 0,3 mm.

Segundo Lima et al. (1995), a granulometria, assim como a densidade, permite prever a mixibilidade e a capacidade de segregação de partículas do produto quando em mistura com ingredientes de uso rotineiro na alimentação animal. Produtos excessivamente pulverulentos e finos (alta porcentagem de partículas menores que 0,3 mm) apresentam menor probabilidade de manter-se em misturas à base de grãos, cereais e oleaginosas. Além disso, fosfatos pulverulentos resultam em problemas de ordem prática no manuseio na fábrica de ração. Assim, somente os fosfatos monobicálcico e bicálcico apresentaram granulometria que se aproxima das recomendações de Lima et al. (1995).

Com relação aos metais pesados, observou-se que o fosfato de rocha Marrocos possui relativamente menor quantidade de Fe e Mn e maior quantidade de Pb, Cr e Cd do que as rochas nacionais, resultados estes semelhantes aos obtidos por Ballio (1986).

Comparando os resultados obtidos no presente trabalho com os de Lima et al. (1995), que analisaram cinco marcas de fosfato bicálcico produzidas no Brasil e duas produzidas nos Estados Unidos, pode-se constatar que os valores de Mn, Zn, Fe, Cd, Cr e Ni foram inferiores – ao passo que os níveis de Cu e Pb foram superiores – às duas marcas de fosfato bicálcico avaliadas neste experimento.

Tabela 2 – Distribuição do tamanho de partículas das fontes de fósforo¹
Table 2 - Particles size and distribution of the phosphorus sources

Fontes de fósforo (Phosphorus Sources)	Malha ² (Mesh)							Prato (Plate)
Nº ABNT	8	16	25	30	50	100		
mm	2,280	1,190	0,710	0,590	0,297	0,149		
* Rocha Catalão (Rock Catalão)	0,01	0,03	0,18	0,14	1,51	21,73	76,40	
Rocha Araxá (Rock Araxá)	0,02	0,00	0,07	0,14	0,60	14,41	84,75	
Rocha Tapira (Rock Tapira))	0,06	0,05	0,13	0,41	0,57	7,96	90,81	
Rocha Marrocos (Rock Marrocos)	0,59	5,31	10,46	2,72	31,68	43,45	5,79	
* Superfosfato simples 1 (Simple superphosphate 1)	20,49	7,27	8,70	2,05	15,67	33,43	12,39	
Superfosfato simples 2 (Simple superphosphate 2)	17,21	5,51	7,65	2,75	43,70	21,78	1,39	
Superfosfato simples 3 (Simple superphosphate 3)	36,70	5,23	6,98	1,55	17,37	23,50	8,67	
* Fosfato bicálcico 1 (Dicalcium phosphate 1)	0,20	0,40	2,17	1,62	22,08	33,21	40,31	
Fosfato bicálcico 2 (Dicalcium phosphate2)	0,03	0,26	7,52	2,34	21,23	30,86	37,76	
Fosfato Proteindus (Phosphate Proteindus)	0,12	0,11	0,38	0,45	1,59	12,46	84,89	
* Superfosfato triplo 1 (Triple superphosphate)	0,10	0,94	9,54	4,29	34,18	26,72	24,23	
Superfosfato triplo 2 (Triple superphosphate)	0,08	0,53	5,54	3,10	43,01	36,58	11,17	
Superfosfato triplo 3 (Triple superphosphate)	0,11	1,33	12,79	3,47	27,08	30,01	25,21	
* Fosfato monobicálcico (Monodicalcium phosphate)	0,16	24,05	43,12	7,47	21,71	2,23	1,25	
* Ácido fosfórico (Phosphoric acid)					Líquido (Liquid)			
Ácido fosfórico P.A. (Phosphoric acid P.A)					Líquido (Liquid)			

¹ Análises realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFV.
Analyses realized in the Animal Nutrition Laboratory of the Animal Science Department of UFV.

² Porcentagem de retenção nas respectivas peneiras.
Retention percentage in the respective mesh.

* Fontes utilizadas nos experimentos de biodisponibilidade do fósforo.
Sources used in the phosphorus bioavailability experiments.

Tabela 3 – Composição em metais pesados das fontes de fósforo
 Table 3 – Heavy metals composition of the phosphorus sources

Fontes de fósforo (Phosphorus sources)	Metais ¹ (Metals)							
	Mn	Zn	Fe	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd
	----- mg/kg -----							
* Rocha Catalão (Rock Catalão)	405,0	36,7	8486,0	14,9	37,1	35,17	9,12	2,87
Rocha Araxá (Rock Araxa)	52,5	208,8	6463,5	11,1	39,1	40,58	13,49	3,73
Rocha Tapira (Rock Tapira))	31,3	229,1	5041,0	5,5	39,4	23,30	7,84	3,95
Rocha Marrocos (Rock Marrocos)	3,1	161,9	772,5	17,5	41,6	32,56	76,32	12,35
* Superfosfato simples 1 (Simple superphosphate 1)	46,3	123,0	9026,5	16,7	20,7	33,68	23,06	4,03
Superfosfato simples 2 (Simple superphosphate 2)	30,3	149,7	7232,5	11,6	17,4	26,08	14,50	2,52
Superfosfato simples 3 (Simple superphosphate 3)	31,8	154,5	4770,5	13,4	18,7	26,29	14,80	2,37
* Fosfato bicálcico 1 (Dicalcium phosphate 1)	64,0	10,9	4091,5	11,5	20,8	14,74	8,91	2,67
Fosfato bicálcico 2 (Dicalcium phosphate2)	76,8	38,3	3953,5	103,9	22,1	26,01	8,35	3,08
Fosfato Proteindus (Phosphate Proteindus)	19,0	3,8	912,5	139,6	48,5	22,17	5,88	3,30
* Superfosfato triplo 1 (Triple superphosphate)	2,4	488,4	1038,0	24,4	22,2	32,18	353,5	14,15
Superfosfato triplo 2 (Triple superphosphate)	36,8	16,6	5096,5	11,0	17,6	14,19	8,58	2,18
Superfosfato triplo 3 (Triple superphosphate)	39,4	13,2	3759,0	6,7	17,1	9,58	4,59	1,95
* Fosfato monobicálcico (Monodicalcium phosphate)	36,3	4,6	1431,5	7,8	18,5	9,57	5,92	2,04
* Ácido fosfórico (Phosphoric acid)	29,7	7,3	893,0	4,9	13,6	5,11	8,07	2,06
Ácido fosfórico P.A. (Phosphoric acid P.A)	0,7	0,6	31,3	1,8	12,6	0,53	3,67	2,00

¹ Análises realizadas no Laboratório de Solos Florestais do Departamento de Solos da UFV.

Analyses realized in the Forest Soils Laboratory of the Soils Department of UFV.

* Fontes utilizadas nos experimentos de biodisponibilidade do fósforo.

...Sources used in the phosphorus bioavailability experiments..

Tabela 4 – Composição e relação entre minerais das fontes de fósforo
 Table 4 – Composition and relation among minerals of the phosphorus sources

Fontes de fósforo (Phosphorus Sources)	Composição química (Chemical composition)						
	Cinza ¹ (Ash)	P ¹	Ca ¹	Mg ¹	F ²	Ca:P	P:F
	----- (%) -----						
* Rocha Catalão (Rock Catalão)	99,29	12,73	36,00	0,81	2,31	2,83	5,5
Rocha Araxá (Rock Araxá)	99,07	14,35	29,82	0,54	1,01	2,08	14,2
Rocha Tapira (Rock Tapira)	98,78	15,34	31,11	0,50	0,82	2,03	18,7
Rocha Marrocos (Rock Marrocos)	93,71	12,41	32,31	0,51	3,38	2,60	3,7
* Superfosfato simples 1 (Simple superphosphate 1)	78,63	7,62	17,20	0,57	1,01	2,26	7,5
Superfosfato simples 2 (Simple superphosphate 2)	76,91	9,32	23,83	0,39	1,49	2,56	6,3
Superfosfato simples 3 (Simple superphosphate 3)	75,12	7,70	24,29	0,43	1,44	3,15	5,3
* Fosfato bicálcico 1 (Dicalcium phosphate 1)	86,02	18,66	23,25	1,34	0,17	1,25	107,9
Fosfato bicálcico 2 (Dicalcium phosphate2)	86,25	18,60	25,70	0,48	0,13	1,38	139,8
Fosfato Proteindus (Phosphate Proteindus)	99,27	15,59	31,07	0,81	1,18	1,99	13,2
* Superfosfato triplo 1 (Triple superphosphate)	76,98	20,63	16,46	0,64	1,80	0,80	11,5
Superfosfato triplo 2 (Triple superphosphate)	71,65	20,09	20,19	0,71	0,63	1,00	32,1
Superfosfato triplo 3 (Triple superphosphate)	74,99	20,38	13,98	0,78	0,91	0,69	22,5
* Fosfato monobicálcico (Monodicalcium phosphate)	81,25	20,29	19,50	0,81	0,19	0,96	109,1
* Ácido fosfórico (Phosphoric acid)	43,14	23,38	0,00	0,56	0,16	0,00	145,2
Ácido fosfórico P.A. (Phosphoric acid P.A)	29,89	19,68	0,00	0,37	0,004	0,00	4920

¹ Análises realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFV.
 Analyses realized in the Animal Nutrition Laboratory of the Animal Science Department of UFV.

² As análises realizadas no Laboratório da Rodes Química Cajati LTDA em Cajati - São Paulo.
 Analyses realized in the laboratory of the Rodes Chemical Cajati LTDA - Cajati - São Paulo.

* Fontes utilizadas nos experimentos de biodisponibilidade do fósforo.
 Source used in the phosphorus bioavailability experiments.

Segundo Borges (1991), existem várias inter-relações de minerais com o P, podendo isso, às vezes, ser prejudicial, pois torna o P ainda mais indisponível para os animais. Elementos como ferro, alumínio, manganês, magnésio e metais pesados podem diminuir a absorção de P, devido à formação de fosfato insolúvel.

Trabalhos conduzidos por Charter et al. (1993), analisando 24 amostras de superfosfato triplo (ST) vendidas nos Estados Unidos, encontraram média de 8,1 mg/kg para Cd. Entretanto, uma marca comercial de ST analisada no presente trabalho (Tabela 3) possui 14,15 mg/kg, provavelmente este ST tenha sido produzido com rocha fosfática importada (Ballio, 1986; Lopes et al., 1997), pois as rochas brasileiras possuem baixo valor de Cd.

Com relação ao ácido fosfórico utilizado na indústria de fertilizantes, observou-se que a sua composição de flúor e de metais pesados é consideravelmente superior à do ácido fosfórico P.A.

Os fosfatos de rocha apresentaram teor de flúor médio igual a 1,88% (Tabela 4), quando o aceitável seria 0,14%, ou seja, 1.341 pontos percentuais acima do aceitável. O SS excedeu em 938 o nível aceitável.

O maior teor de flúor foi observado para a rocha de Marrocos seguido pela rocha Catalão. De acordo com Ballio (1986), rochas importadas de origem sedimentar são mais ricas em flúor que as nacionais, de origem ígnea. Este mesmo autor cita que altos níveis de flúor em fertilizantes, como no superfosfato triplo-3, provavelmente se devam à origem da rocha utilizada. Foram observados também altos níveis de flúor e baixa relação P:F nas fontes de superfosfato simples e no fosfato Proteindus. De acordo com a nova legislação, tornam-se impróprias para o consumo animal fontes de fósforo com relação P:F menor do que 15:1 (Brasil, 2000).

Observou-se que o fosfato bicálcico - 1 (FB1) possui alto nível de magnésio, podendo provocar diminuição na biodisponibilidade do P para suínos, devido à inter-relação entre os minerais na absorção e na corrente sangüínea. Houve grande variabilidade na composição de metais pesados entre as marcas comerciais de superfosfatos simples e triplo; de modo geral, os resultados mostram que o fosfato monobicálcico apresentou menor contaminação por metais pesados.

Os resultados referentes ao ensaio de metabolismo do fósforo, em função das rações experimentais, são apresentados na Tabela 5.

Houve diferença ($P<0,05$) entre o P consumido, P excretado nas fezes, P excretado na urina, P absorvido, P retido e biodisponibilidade de P nas rações entre as fontes.

O consumo de P foi menor ($P<0,05$) nos animais que consumiram a ração CONT do que nos demais tratamentos. As pesquisas têm demonstrado que a ingestão de P está associada ao seu nível dietético na ração (Fernandez, 1995; Lopes, 1998; Figueirêdo et al., 2001), e o consumo de fósforo foi em média de 6,78 e 3,40 g/dia para os tratamentos que receberam fonte suplementar de P e para o tratamento CONT, respectivamente. No que se refere à ração controle, Bellaver et al. (1983) e Bellaver et al. (1984) observaram consumo, em rações semelhantes, de 3,10 e 3,97 g de P/dia para leitões de 21,16 e 29,53 kg de peso, respectivamente.

O teor de P total excretado nas fezes foi influenciado ($P<0,05$) pelas fontes de fósforo. Os animais que consumiram a ração sem o P suplementar (CONT) e os que consumiram a ração contendo superfosfato simples (SS) excretaram menos P. No entanto, os animais que consumiram rações contendo rocha Catalão (ROCHA) excretaram maior quantidade de P nas fezes.

O fósforo excretado pela urina foi influenciado ($P<0,05$) pelas fontes suplementares de fósforo. Animais que consumiram CONT, FBC e MBC excretaram menos P, aumentando a excreção quando foram incluídos na ração ST, SS e AcF. Resultados semelhantes foram obtidos por Vipperman Jr. et al. (1974), Fernandez (1995), Lopes et al. (1999b) e Figueirêdo et al. (2001), em pesquisa com suínos, ao observarem que o teor de fósforo nas fezes e na urina cresceu com o aumento do nível de fósforo na ração.

A maior excreção de P na urina pelos animais que consumiram ração contendo ácido fosfórico sugere que a absorção de fósforo dietético excedeu as necessidades metabólicas dos animais, diminuindo proporcionalmente a retenção de P. Nesse sentido, Georgievskii (1982) e Breves & Schröder (1991) relataram que a excreção de fósforo pela urina funciona como importante mecanismo de controle homeostático do fósforo em monogástricos.

Tabela 5 – Parâmetros relacionados ao metabolismo do fósforo de diferentes fontes, obtidos com suínos na fase de crescimento
 Table 5 – Parameters related with metabolism of the phosphorus sources, obtained with growing swine

Parâmetros (Parameters)	Unidade (Unit)	Tratamentos ² (Treatments)							CV (%)
		CONT	FBC	MBC	ST	SS	AcF	ROCHA	
Peso Inicial (Initial weight)	kg	28,43	29,53	30,15	30,12	28,06	29,35	29,61	
P consumido (P intake)	mg/kg/PVdia	119,44b	227,86a	226,67a	227,07a	231,45a	228,46a	227,60a	2,76
P excretado fezes (Fecal excreted P)	mg/kg/PVdia	74,07b	85,78ab	92,94ab	101,53ab	74,40b	87,19ab	113,68a	16,75
P endógeno fecal (Endogenous fecal P)	mg/kg/PVdia	7,10	8,74	8,52	10,35	5,95	9,92	7,49	34,22
P excretado urina (Urinary excreted P)	mg/kg/PVdia	0,283c	1,82c	0,70c	5,95b	7,36b	12,95a	0,89c	56,78
P absorvido (Absortion P)	mg/kg/PVdia	52,47c	150,83ab	142,25ab	135,89ab	163,01a	151,19ab	121,41b	10,98
P retido (Retention P)	mg/kg/PVdia	44,00b	140,26a	133,03a	119,59a	149,70a	128,32a	113,03a	14,48
Biodisponibilidade ração (Bioavailability diet)	%	43,82c	66,01ab	62,72ab	59,94ab	70,51a	66,30ab	53,33bc	11,63
Biodisponibilidade fontes (Bioavailability sources)	%	43,82c	89,44a	82,65ab	76,90ab	98,73a	90,03a	63,26b	15,19

¹ (P<0,05) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

¹ (P<0.05) Means followed by different letters in line are different by Student-Newman-Keuls test.

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; AcF: ácido fosfórico; ROCHA: fosfato de rocha Catalão.

² CONT: control diet; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monodicalcium phosphate; ST: triple superphosphate; SS: simple superphosphate; AcF: fphosphoric acid; ROCHA: phosphate Catalão rock.

Segundo Borges (1991), a regulação da excreção/reabsorção de P renal é influenciada pelos níveis de P plasmáticos e pelo balanço ácido-básico da dieta.

O balanço dietético ácido-básico, também denominado equilíbrio cátion-aniónico (ECA), refere-se ao balanço entre as cargas positivas (cátions) e negativas (ânions) dos íons presentes nos alimentos que, ao serem absorvidos no trato digestivo, influenciam o equilíbrio ácido-básico nos fluidos corporais, alterando o metabolismo e, conseqüentemente, o desempenho dos animais. O ECA pode ser calculado em miliequivalentes (meq) por kg de MS da ração (Patience, 1990).

Os valores de P endógeno fecal foram semelhantes ($P>0,05$) entre os tratamentos, o que também foi verificado por Broce (1986) e Figueirêdo et al. (2001). Cupák et al. (1972) e Jongbloed et al. (1992) relataram que o P endógeno fecal para suínos varia de 5 a 10 mg P/kg p.v/dia. Também, os valores foram próximos aos 4,65 mg P/kg p.v/dia de perdas endógenas, encontrados por Bellaver et al. (1983). Por outro lado, Fernandez (1995) e Lopes et al. (1999b) observaram aumento nas perdas endógenas em função do aumento do nível de fósforo da ração.

O P absorvido foi menor nos animais que consumiram a ração CONT, seguidos por aqueles que consumiram ração contendo ROCHA. Os valores de absorção para FBC, MBC, ST e AcF foram intermediários ($P>0,05$) e semelhantes entre si, sendo o maior valor observado quando se utilizou o superfosfato simples. O P retido foi menor ($P<0,05$) nos animais que consumiram a ração controle (CONT) e semelhante nos demais tratamentos.

Observou-se menor eficiência na retenção (83,85%) do fósforo absorvido de dietas à base de milho e farelo de soja (CONT), em relação à eficiência média de 90,67% nas dietas contendo fonte suplementar de P. Segundo Guéguen et al. (1968), Vitti (1989) e Figueirêdo et al. (2001), essa diferença pode estar associada, em nível de sangue, à discriminação metabólica do elemento, em razão de sua origem. Também, essa diferença pode estar associada ao aumento da relação Ca:P promovida pela inclusão de calcário na dieta CONT. Resultados semelhantes foram obtidos por Bellaver et al. (1984), Lopes et al. (1999a,b) e

Figueirêdo et al. (2001). Por outro lado, Cupák et al. (1972) e Bellaver et al. (1983) não constataram diferença no balanço de fósforo entre as dietas com e sem P suplementar.

A ração controle (CONT), em que todo fósforo era de origem vegetal, apresentou menor biodisponibilidade de fósforo (43,82%) em relação aos demais tratamentos. Isso se deve à predominância do fósforo fítico. Figueirêdo et al. (2001) encontraram biodisponibilidade do P em rações à base de milho e farelo de soja superior (49%) para suínos com peso médio de 45,95 kg. O valor encontrado neste trabalho está de acordo com os da literatura, em que a biodisponibilidade do fósforo de rações à base de cereais varia entre 18 e 60%, com média de 33%, para suínos de 23 a 41 kg (Guéguen et al., 1968; Nolland et al., 1968; Peeler, 1972).

A taxa de absorção do fósforo das rações contendo as fontes fosfatadas foi, em média, de 63,13%. Em dietas e metodologias semelhantes, Viperman Jr. et al. (1974), Bellaver et al. (1983), Partridge (1981), Bellaver et al. (1984), Lopes et al. (1999a,b) e Figueirêdo et al. (2001) obtiveram taxas de absorção real de P de 45,86; 51,0; 59,61; 59,49; 56,9; e 57,14%, respectivamente, inferiores, portanto, às deste trabalho.

A biodisponibilidade do P suplementar variou de 63,26 a 98,73, diferindo ($P < 0,05$) entre as fontes estudadas. Estes resultados foram superiores aos de Bellaver et al. (1984), Partridge (1981) e Faria (1995).

A biodisponibilidade do P do fosfato bicálcico, quando se eliminou a interferência do P de origem vegetal, foi de 89,44%, sendo este valor semelhante ao de 90,34%, encontrado por Lopes et al. (1999b); superior aos valores de 75,3 e 71,9%, verificados, respectivamente, por Cupak et al. (1983) e Figueirêdo et al. (2001); e inferior aos 101,93% obtidos por Bellaver et al. (1983). Com relação ao ST, observou-se que a biodisponibilidade do P foi de 76,9%, valor este superior aos 66,3% encontrados por Figueirêdo et al. (2001). Para o fosfato de rocha, a média de 63,26% de biodisponibilidade foi inferior à de 73,05%, verificada por Figueirêdo et al. (2001).

Conclusões

1. Os fosfatos monobicálcico e bicálcico apresentaram granulometria próxima da ideal; estes, juntamente com o ácido fosfórico, apresentaram baixo nível de contaminação por metais pesados.

2. Os fosfatos monobicálcico, bicálcico, Tapira e o ácido fosfórico apresentaram relação P:F superior à de 15:1, proposta pelo Ministério da Agricultura.

3. Os superfosfatos triplos possuem variação na relação P:F e na composição de metais pesados, restringindo o seu uso na alimentação de suínos.

4. A disponibilidade biológica do fósforo foi de 43,82; 89,44; 82,65; 76,90; 98,73; 90,03; e 63,26% para os tratamentos controle, fosfato bicálcico, fosfato monobicálcico, superfosfato triplo, superfosfato simples, ácido fosfórico e rocha Catalão, respectivamente.

Referências Bibliográficas

BALLIO, L.A.C. Distribuição de microelementos e metais pesados nas rochas nacionais. s.1., **Instituto Brasileiro do Fosfato**, 1986. 10p.

BELLAVER, C.; GOMES, P.C.; FIALHO, E.T.; DOS SANTOS, D.L. absorção e disponibilidade do fósforo de fosfatos naturais em rações para suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 19, n.12, p. 1513-1518. 1984.

BELLAVER, C.; GOMES, P.C.; SANTOS, D.L. Absorção e disponibilidade de fósforo para suínos, baseada na diluição de radiofósforo (^{32}P). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.18, n.9, p. 1053-1057. 1983.

BORGES, F.M.O. **Utilização do fósforo disponível de dez fontes de fósforo para frangos de corte**. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG. 1991. 56p (Tese de Mestrado), 1991.

BRASIL. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Portaria n.6 de c. **Diário Oficial da União**, Brasília, 4 de fevereiro de 2000.

BREVES, G.; SCHRÖDER, B. Comparative aspects of gastrointestinal phosphorus metabolism. **Nutrition Research Reviews**, Cambridge, v.4, p.125-140, 1991.

- BROCE, C.S. **Comparação entre diferentes fontes de fósforo em rações para suínos nas fases de crescimento e terminação**. Santa Maria: UFSM, 1986. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, 1986.
- BUTOLO, J.E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas – SP: ed. CBNA, 2002. 430p.
- CHARTER, R.A., TABATABAI, M.A. SCHAFER, J.W. Metal contents of fertilizers marketed in Iowa. **Soil Science and Plant. Analysis**, v.24, n.9, p.961-972, 1993.
- COMAR, C.L., MONROE, R.A., VISEK, W.J., HANSARD, S.L. Comparison of two isotope methods for determination of endogenous fecal calcium. **Journal of Nutrition**, v.50, p.459-67, 1953.
- CUPÁK, M., PROCHAZKA, Z., JAMBOR, V. Utilization of phosphorus compounds in pigs after endogenous phosphorus determination means of ^{32}P . **Acta Veterinaria Brno**, v.41, p.257-262, 1972.
- FARIA, S.R. **Determinação da biodisponibilidade de fósforo e a avaliação de desempenho de suínos em cinco fontes fosfatadas**. Belo Horizonte, MG: UFMG. 86p. Dissertação (Mestrado em Nutrição de Monogástrico) - Universidade Federal de Minas Gerais, 1995.
- FERNANDEZ, J.A. Calcium and phosphorus metabolism in growing pigs. II. Simultaneous radio-calcium and radio-phosphorus kinetics. **Livestock Production Science**, v.41, n.1, p.243-254, 1995.
- 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.
- FIGUEIRÊDO, A.V.; VITTI, D.M.S.S.; LOPES, J.B. Disponibilidade biológica do fósforo de cinco fosfatos, determinada com suínos em terminação, através do uso de radiotraçador. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35, Botucatu, SP, 1998. **Anais...** Botucatu - SP, 1998, p.204-206.
- FISKE, C.H., SUBBARROW, Y. The calorimetric determination of phosphorus. **Journal Biological Chemistry**. V.66, n.2, p.375-400, 1925.

- GEORGIEVSKII, V.I. The physiological role of macroelements. In: GEORGIEVSKII, V.I., ANNENKOV, B.N., SAMOKHIN, V.I. (Eds.) **Mineral nutrition of animals**. 1.ed. London: Butterworths. p.91-170. 1982.
- GUÉGUEN, L., BESANÇON, P., RERAT, A. Utilization digestive, cinétique de l'absorption et efficacité de la rétention du phosphore phytique chez le porc. **Ann. Biol. Anim. Bioch. Bioph.** v.8, p.273-280, 1968.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA. **Laboratory training manual on the use of nuclear techniques in animal research**. Vienna: IAEA, 1979, 299p. (Technical Report Series, 193).
- JONGBLOED, .AW., MROZ, Z., KEMME, P.A. The effect of supplementary *Aspergillus niger* phytase in diets for pigs on concentration and apparent digestibility of dry sections of the alimentary tract. **Journal of Animal Science**, v.70, p. 1159-1168, 1992.
- 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.
- LOFGREEN, G. P. The availability of the phosphorus in dicalcium phosphate, bone meal, soft phosphate and calcium phytates for mature wethers. **Journal Nutrition, Bethesda**, v. 70, n. 1, p. 58-62, 1960.
- LOPES, H.O.S., PEREIRA, G., PEREIRA, E.A. Avaliação dos níveis de metais pesados e do flúor em amostras de fosfato bicalcico e superfosfato triplo para nutrição animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34, Juiz de Fora, MG, 1997. **Anais...** Juiz de Fora-MG, 1997, p.462-464.
- LOPES, J.B. **Avaliação da absorção real e das perdas endógenas de fósforo para suínos pela técnica de diluição isotópica**. Piracicaba, 1998, 87p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- LOPES, J.B., VITTI, D.M.S.S., FIGUEIRÊDO, A.V. et al. Absorção real, perdas endógenas e exigências de fósforo para suínos em final de crescimento pela técnica da diluição isotópica. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.51, n.4, p.353-358, 1999a.
- 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, 1999b.

- NOLAND, P.R., FUNDERBURG, M., JOHNSON, Z. Phosphorus availability in practical diet for swine. **Journal of Animal Science**, v. 27, n.4, p. 115, 1968.
- PARTRIDGE, I.G. A comparison of defluorinated rock phosphate and dicalcium phosphate, in diets containing either skim milk powder or soybean meal as the main protein supplement for early weaned pigs. **Animal Production**. V. 3, n. 1, p. 67-73, 1981.
- PATIENCE, J.F. A review of the role of acid-base balance in amino acid nutrition. **Journal of Animal Science**, v. 68, p. 398-408, 1990.
- 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.
- PEKAS, J.C. Versatile swine laboratory apparatus for physiologic and metabolic studies. **Journal of Animal Science**, v. 27, n. 5, p. 1303-1306, 1968.
- ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T., DONZELE, J.L., GOMES, P.C., FERREIRA, A.S., OLIVEIRA, R.F., LOPES, D.C. **Tabelas brasileira para aves e suínos; composição de alimentos e exigências nutricionais**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37, Viçosa - MG, 2000. p.141.
- SARRUGE, J.R., HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ/USP. 56p. 1974.
- SAS INSTITUTE INC. 1996. **SAS System for Windows, release 6.12** Cary, NC, USA. 01 CD-ROM, 1996.
- SILVA, D.J. **Análise de Alimentos (Métodos químicos e biológicos)**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 165p, 1990.
- VIPPERMAN JR., P.E., PEO JR., E.R., CUNNINGHAM, P.J. Effect of dietary calcium and phosphorus level upon calcium, phosphorus and nitrogen balance in swine. **Journal of Animal Science**, v. 38, n.4, p. 758-765, 1974.
- VITTI, D.M.S.S. **Avaliação da disponibilidade biológica do fósforo dos fosfatos bicálcico, Patos de Minas, Tapira e finos de Tapira para ovinos pela técnica de diluição isotópica**. Piracicaba, 1989, 87p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 1989.

Cinética do Radiofósforo em Tecidos de Suínos em Crescimento Alimentados com Dietas contendo Diferentes Fontes de Fósforo

RESUMO – Foram utilizados 21 leitões machos, castrados, com peso médio de 31,94 kg, para avaliar a cinética do fósforo em tecidos de suínos. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com sete tratamentos, três repetições e um animal por unidade experimental. As rações eram à base de milho e farelo de soja e o P suplementado através dos fosfatos bicálcico (FBC), monobicálcico (MBC), superfosfato triplo (ST), superfosfato simples (SS), rocha catalão (ROCHA) e ácido fosfórico (AcF) e da ração controle sem o P suplementar (CONT). Ao final do sétimo dia de aplicação do ^{32}P , foram abatidos três animais por tratamento. Animais que consumiram CONT apresentaram menor concentração de P nos tecidos; em se tratando daqueles que consumiram SS e ST a concentração foi maior. A concentração de P no osso foi superior à do fígado e rim, e a menor foi observada no coração e músculo. A taxa de retenção de ^{32}P decresceu nos tecidos na seguinte ordem: fígado, rim, músculo, coração e osso. A taxa de retenção foi maior nos animais que consumiram dieta CONT, e a menor, naqueles que consumiram AcF e ST. A substituição do P estável pelo radioativo foi maior nos animais que consumiram CONT, e menor naqueles que consumiram MBC e ST. O fígado e rim foram os de maior taxa de substituição, seguidos pelo coração e músculo; o osso apresentou menor taxa. A troca do ^{32}P entre o plasma e os órgãos decresceu nos tecidos na seguinte ordem: fígado, rim, músculo, coração e osso. A troca foi maior nos animais que consumiram as dietas ROCHA e CONT. Concluiu-se que o fígado e o rim são importantes no metabolismo do fósforo e que a utilização de dietas contendo menor nível e fonte orgânica de P e ração suplementada com fosfato de rocha influenciou negativamente a taxa de mobilização, captação e retenção do fósforo nos tecidos.

Palavras-chave: absorção, diluição isotópica, metabolismo, nutrição, ^{32}P , retenção.

Radiophosphorus Kinetics in Tissues of Growing Swine Fed a Diet Containing Different Sources of Phosphorus

ABSTRACT – Twenty-one castrated male pigs, of a medium weight of 31,94 kg were used to evaluate phosphorus kinetics in swine tissues. The experiment was arranged in randomized blocks, seven treatments, four repetitions and one pig/box. The diets were corn and soybean meal-based and P supplementation was fed from the following sources: dicalcium (FBC); monocalcium (MBC); triple superphosphate (ST); simple superphosphate (SS), Catalão rock (ROCHA) phosphoric acid (AcF), and diet controls without supplemental P (CONT). At the end of the seventh day applying the 7,4MBq of ^{32}P , three animals were slaughtered per treatment. Animals fed CONT presented a smaller concentration of P in the tissues and those fed SS and ST presented a larger concentration. P concentration in the bone was superior to that in the liver and kidney, with the smallest was observed in the heart and muscle. The rate of ^{32}P retention in the tissues decreased as follows: liver, kidney, muscle, heart and bone. Retention rate was highest in the animals fed diet CONT and smallest in the animals fed AcF and ST. Substitution of stable P by radioactive P was greater in the animals fed CONT and smaller for MBC and ST. The liver and kidney presented the highest substitution rate, followed by the heart and muscle, with the bone presenting a smaller rate. The exchange of ^{32}P between plasma and the organs decreased in the tissues in the following order: liver, kidney, muscle, heart and bone. The exchange was greater in the animals fed diet ROCHA and CONT. It was concluded that the liver and kidney are important in phosphorus metabolism and the use of diets containing a smaller level and organic source of P and diet supplemented with rock phosphate had a negative influence on the mobilization rate, reception and retention of phosphorus in the animals' tissues.

Key words: absorption, isotopic dilution, metabolism, nutrition, ^{32}P , retention.

Introdução

Na homeostase do fósforo (P) o organismo utiliza mecanismos fisiológicos, visando manter o equilíbrio do mineral na corrente sangüínea, por meio de hormônios e enzimas que regulam a captação do elemento no plasma e nos fluidos intersticiais e a mobilização das reservas lábeis. A utilização do radiofósforo ^{32}P como marcador plasmático trouxe contribuição para entender os mecanismos de absorção, local de depósito e a mobilização deste mineral nos tecidos. Isso pode ser feito pela determinação da concentração, taxa de retenção e atividade específica padronizada e relativa nos tecidos, como medida desse estudo (Carvalho, 1998).

A taxa de retenção do ^{32}P mostra como o fósforo intercombina com o plasma e os fluidos intersticiais. A maior ou menor taxa de retenção do marcador pelo tecido vai traduzir o quanto esse tecido é ativo na mobilização do elemento. A atividade específica relativa é um índice de atividade metabólica nos tecidos, sendo usada para remover o efeito aparente de outros processos importantes, como a formação dos ossos sobre a captação de P dos tecidos moles (Smith et al., 1952). A padronização pode ser feita considerando-se a atividade injetada em relação ao peso vivo dos animais, chamada de atividade específica padronizada. Assim, a incorporação de fósforo varia entre os diversos tecidos, sendo influenciada pela idade do animal, pelo intervalo entre a injeção do traçador e a coleta do material e pela permeabilidade das células ao íon fósforo (Abou-Houssein et al., 1968).

Smith et al. (1951), trabalhando com suínos, e Smith et al. (1952), com ovinos, constataram que a atividade específica padronizada e relativa do ^{32}P decresceu na seguinte ordem: fígado, rim, coração e músculo, mostrando, assim, quais os locais de rápido intercâmbio do fósforo com os fluidos extracelulares.

Em estudo conduzido por Figueirêdo et al. (1998), foi verificado que a utilização de diferentes fontes de fósforo para suínos na fase de crescimento (23 kg) não afetou a distribuição do fósforo nos tecidos e que a retenção do ^{32}P nos tecidos obedeceu à seguinte ordem decrescente: coração, fígado, rim, músculo e osso.

Lopes et al. (1999) não observaram influência dos níveis crescentes de P na dieta para suínos em crescimento (20 kg), sobre a concentração de P nos tecidos; a taxa de retenção de ^{32}P decresceu nos tecidos na seguinte ordem: rim, coração, músculo, fígado e osso, independentemente da quantidade de P consumido. As trocas de P entre o plasma e os tecidos, osso, fígado e rim cresceram com o aumento da ingestão de P da dieta.

O experimento foi desenvolvido para determinar a cinética do fósforo em tecidos de suínos em crescimento, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo, utilizando o radiofósforo ^{32}P como marcador, por meio das variáveis concentração de P, taxa de retenção do ^{32}P e atividade específica e padronizada.

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 19 de outubro a 5 de novembro de 2001.

Foram utilizados 21 leitões machos, castrados, com peso médio de 31,94 kg, distribuídos em delineamento de blocos casualizados, com sete tratamentos e três repetições. Foram utilizados como critério para formação dos blocos o peso e a idade dos animais.

Os animais foram alojados em gaiolas de metabolismo, estruturadas para separar fezes e urina, com dispositivos para o fornecimento de alimento e de água, semelhantes às descritas por Pekas (1968). Após o período de sete dias de adaptação às gaiolas e às rações, procedeu-se à coleta de amostras de sangue durante sete dias consecutivos.

As rações eram à base de milho e farelo de soja, e o P foi suplementado através dos fosfatos bicálcico (FBC), monobicálcico (MBC), superfosfato triplo (ST), superfosfato simples (SS), rocha catalão (ROCHA) e ácido fosfórico (AcF) e da ração controle sem o P suplementar (CONT).

As dietas experimentais, exceto para o fósforo, da ração controle, foram formuladas para atender às exigências nutricionais dos leitões nessa fase, conforme recomendações de Rostagno et al. (2000). A composição centesimal e os valores nutricionais das rações experimentais são apresentados na Tabela 1 (Primeiro artigo).

Na fase de adaptação, as rações experimentais foram distribuídas em duas refeições, às 10 e às 18 horas, com a quantidade de ração fornecida à vontade, sendo o consumo devidamente anotado.

Durante a fase de coleta, as rações experimentais também foram distribuídas em duas refeições, porém com o consumo diário baseado no peso metabólico ($W^{0,75}$), levando em consideração o menor consumo, entre os animais de cada bloco, observado na fase pré-experimental, com água fornecida à vontade.

No início da fase experimental, 7,4 MBq de ^{32}P , como fosfato de sódio ($\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$), livre de carregador, foram injetados em cada animal, por via endovenosa. Ao final do sétimo dia de aplicação do ^{32}P (último dia do ensaio de metabolismo do P), do grupo de 28 animais, foram escolhidos 21 leitões de forma casualizada, sendo abatidos três animais por tratamento, e coletadas amostras de osso (10^a a 14^a costela), fígado, coração, rim e músculo (*Longissimus dorsi*), para avaliação da cinética do fósforo. Para estudo de cinética do P nos tecidos, as amostras de sangue foram as mesmas coletadas para o ensaio de metabolismo.

A detecção da radioatividade nas amostras de plasma e dos tecidos foi realizada em espectrômetro de cintilação líquida por efeito Cerenkov (IAEA, 1979). O conteúdo de fósforo inorgânico no plasma foi determinado por colorimetria, segundo Fiske & Subbarrow (1925), e dos tecidos, pelo método vanadato-molibdato (Sarruge & Haag, 1974). As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

Os cálculos do percentual das atividades específicas (^{32}P / P total) foram feitos de acordo com Lofgreen (1960).

Para todos os tecidos coletados calculou-se, além da concentração de P (mg/g matéria seca), a retenção do P radiativo, a atividade específica padronizada (AEP) e a atividade específica relativa (AER), como descrito a seguir:

$$\text{Retenção de } ^{32}\text{P} = \frac{\frac{\text{cpm da amostra do tecido / g MS}}{\text{cpm dose injetada}}}{\text{mg P / g MS kg}}$$

em que:

cpm = contagem por minuto.

$$\text{AEP} = \frac{\frac{\text{cpm da amostra do tecido / g MS}}{\text{mg P / g MS}}}{\frac{\text{cpm dose injetada}}{\text{kg peso vivo}}}$$

$$\text{AER} = \frac{\text{atividade específica do tecido (AET)}}{\text{atividade específica do plasma (AEP)}}$$

A análise estatística dos parâmetros estudados no experimento foi realizada de acordo com o programa Statistical Analysis System - SAS (1996). Utilizou-se o delineamento em esquema de parcela subdividida, sendo as fontes de fósforo as parcelas e os tecidos as subparcelas. Foi feita análise de variância e aplicou-se o teste “t” para comparação das médias entre as fontes e os tecidos.

Resultados e Discussão

Os valores médios da concentração de fósforo inorgânico no osso, fígado, coração, rim e músculo, em função da dieta experimental, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Efeito das fontes de fósforo (P) sobre a concentração de P inorgânico nos tecidos de suínos

Table 1 – Effect of the phosphorus (P) sources on the concentration of inorganic P in swine tissue

Fontes de P (P sources)	Concentração de P nos tecidos (mg/g de MS) ¹ (Concentration of P in the tissue – mg/g of DM)					Média (Mean)
	Coração (Heart)	Músculo (Muscle)	Rim (Kidney)	Fígado (Liver)	Osso (Bone)	
CONT	6,131	5,970	9,303	9,619	69,901	20,185C
FBC	6,557	5,487	7,712	9,068	75,156	20,796BC
MBC	6,891	6,345	8,663	9,615	77,665	21,836AB
ST	7,425	6,715	9,997	10,619	80,393	23,030A
SS	6,815	7,052	8,824	8,724	81,131	22,509A
AcF	6,423	6,648	9,136	9,290	79,167	22,135AB
ROCHA	6,121	6,079	9,184	10,145	74,258	21,157BC
Média (Mean)	6,623c	6,328c	8,974b	9,582b	76,81a	CV=6,77%

¹ (P<0,05) Médias seguidas de letras distintas na linha ou coluna diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

¹ (P<0,05) Means followed by different letters in a line or column are different by Student-Newman-Keuls.test.

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; AcF: ácido fosfórico; ROCHA: fosfato de rocha Catalão.

² CONT: control diet; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monocalcium phosphate; ST: triple superphosphate; SS: simple superphosphate; AcF: phosphoric acid e ROCHA: phosphate Catalão rock.

Não houve interação (P>0,05) entre as diferentes fontes de fósforo e os tecidos analisados, para todos os parâmetros estudados.

As fontes de fósforo influenciaram (P<0,05) a concentração de fósforo nos tecidos estudados. A menor concentração de P (P<0,05) ocorreu nos tecidos dos animais que consumiram a dieta CONT, que contém apenas P na forma orgânica, e a maior (P<0,05) foi nos animais que consumiram o SS e ST como fonte suplementar de fósforo, sendo os demais tratamentos intermediários e semelhantes (P>0,05) entre si.

A concentração de P inorgânico no osso foi superior (P<0,05) à concentração no fígado e rim (P>0,05), e a menor concentração (P<0,05) foi observada no coração e músculo.

Esses resultados foram diferentes dos relatados por Lopes et al. (1999), que não encontraram diferença entre as concentrações de P nos tecidos moles. No entanto, a concentração de P no osso foi maior que nos outros tecidos, o que está em consonância com os dados descritos por Underwood (1981), Peo Jr. (1991),

McDowell (1992), Lopes et al. (1999) e Figueirêdo et al. (1998), os quais destacaram que o osso concentra maior proporção do fósforo no organismo animal, podendo atingir níveis entre 75 e 85% do total.

Apesar de não ter havido diferença, pode-se observar que os animais que consumiram a dieta CONT apresentaram concentração de fósforo nos ossos 7,87% abaixo da média, chegando a ser 12,35% menor do que a dieta com SS.

A taxa de retenção de ^{32}P nos tecidos, em função das diferentes fontes de fósforo, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Efeito das fontes de fósforo (P) sobre ^{32}P retido nos tecidos de suínos
Table2 – Effect of the phosphorus (P) sources on the ^{32}P retention in swine tissue

Fontes de P (P sources)	^{32}P retido nos tecidos (%) ¹ (^{32}P retention in the tissue - %)					Média (Mean)
	Coração (Heart)	Músculo (Muscle)	Rim (Kidney)	Fígado (Liver)	Osso (Bone)	
CONT	0,0069	0,0077	0,0082	0,0083	0,0047	0,0072A
FBC	0,0061	0,0065	0,0077	0,0072	0,0041	0,0063AB
MBC	0,0051	0,0055	0,0060	0,0061	0,0037	0,0053AB
ST	0,0048	0,0049	0,0053	0,0056	0,0039	0,0049B
SS	0,0060	0,0056	0,0063	0,0071	0,0033	0,0057AB
AcF	0,0051	0,0055	0,0058	0,0055	0,0036	0,0051B
ROCHA	0,0063	0,0052	0,0067	0,0065	0,0047	0,0059AB
Média (Mean)	0,0057b	0,0059b	0,0066a	0,0066a	0,0040c	CV=16,70%

¹ (P<0,05) Médias seguidas de letras distintas na linha ou coluna diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

¹ (P<0.05) Means followed by different letters in a line or column are different by Student-Newman-Keuls.test.

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; AcF: ácido fosfórico; ROCHA: fosfato de rocha Catalão.

² CONT: control diet; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monodicalcium phosphate; ST: triple superphosphate; SS: simple superphosphate; AcF: phosphoric acid; e ROCHA: phosphate Catalão rock.

A taxa de retenção de ^{32}P na média dos tecidos foi influenciada (P<0,05) pelas diferentes fontes de fósforo. A maior retenção (P<0,05) ocorreu nos tecidos dos animais que consumiram a dieta CONT, que contém apenas P na forma orgânica, e a menor (P<0,05), nos daqueles que consumiram o AcF e o ST como fonte suplementar de fósforo, sendo os demais tratamentos intermediários e semelhantes (P>0,05) entre si.

A incorporação de ^{32}P no rim e fígado foi maior ($P<0,05$) do que a retenção no coração e músculo; a retenção no osso foi menor ($P<0,05$). Esses resultados são semelhantes aos descritos por Lopes et al. (1999), que encontraram maior taxa de retenção no rim ($P<0,05$), seguido pelo fígado, coração e músculo, enquanto o osso teve a menor ($P<0,05$) taxa. Entretanto, Figueirêdo et al. (1998) constataram que o coração incorporou ^{32}P em níveis similares aos do fígado, rim e músculo, porém superiores ao do osso.

Valores semelhantes foram encontrados por Abou-Houssein et al. (1968), Lobão e Crocomo (1974), em estudos com ovinos, e Bueno (1997), com caprinos. No entanto, esses valores divergiram dos de Vitti et al. (1992), que, ao trabalharem com ovinos, verificaram maior taxa de incorporação no osso, seguido pelo fígado, rim e músculo.

Segundo Lopes et al. (1999), a baixa retenção de ^{32}P no osso pode ser decorrente da curta duração do período experimental, sendo 14 dias insuficientes para ocorrer maior incorporação de fósforo nas células ósseas.

Os valores da atividade específica padronizada (AEP) nos tecidos, em função das diferentes fontes de fósforo, são apresentados na Tabela 3.

As diferentes fontes de P fornecido aos leitões influenciaram ($P<0,05$) os valores médios da AEP nos tecidos. Com relação às fontes, os maiores valores de AEP foram encontrados nos animais que consumiram as dietas CONT, ROCHA e FBC, que não diferiram entre si ($P>0,05$), seguido por aqueles que consumiram dieta contendo MBC ($P<0,05$). Os menores valores foram obtidos com SS, AcF e ST, que, por sua vez, foram semelhantes entre si ($P>0,05$), caracterizando menor substituição do P estável pelo radioativo nessas fontes.

Verificou-se que a AEP apresentou o mesmo comportamento do ^{32}P retido nos tecidos. O maior valor foi encontrado no fígado e rim, seguidos por músculo e coração, e o menor, nos ossos.

Smith et al. (1951) e Figueirêdo et al. (1998) verificaram que a AEP decresceu nos tecidos de suínos, na seguinte ordem: fígado, rim, coração e músculo. Lopes et al. (1999) observaram a seguinte ordem: rim, coração, fígado e músculo. No entanto, na maioria dos trabalhos, pôde-se verificar menor taxa de

Tabela 3 – Efeito das fontes de fósforo (P) sobre a atividade específica padronizada nos tecidos de suínos

Table 3 – Effect of the phosphorus (P) sources on the standardize specific activity in swine tissue

Fontes de P (P sources)	Atividade Específica Padronizada ¹ (Standardize specific activity)					Média (Mean)
	Coração (Heart)	Músculo (Muscle)	Rim (Kidney)	Fígado (Liver)	Osso (Bone)	
CONT	0,2066	0,2321	0,2403	0,2408	0,1398	0,219A
FBC	0,1864	0,2002	0,2314	0,2178	0,1265	0,1925AB
MBC	0,1673	0,1811	0,1928	0,2012	0,1233	0,1731B
ST	0,1563	0,1565	0,1705	0,1840	0,1199	0,1574C
SS	0,1781	0,1726	0,1886	0,2146	0,0969	0,1702BC
AcF	0,1649	0,1808	0,1849	0,1758	0,1163	0,1645BC
ROCHA	0,2014	0,1660	0,2148	0,2080	0,1522	0,1885AB
Média (Mean)	0,1801b	0,1842b	0,2033a	0,2060a	0,1250c	CV=16,75%

¹ (P<0,05) Médias seguidas de letras distintas na linha ou coluna diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

¹ (P<0,05) Means followed by different letters in a line or column are different by Student-Newman-Keuls.test.

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; AcF: ácido fosfórico; ROCHA: fosfato de rocha Catalão.

² CONT: control diet; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monodicalcium phosphate; ST: triple superphosphate; SS: simple superphosphate; AcF: phosphoric acid; e ROCHA: phosphate Catalão rock.

mobilização no osso. De acordo com Lopes et al. (1999), a menor taxa de AEP no osso, provavelmente, está relacionada ao maior conteúdo de fósforo existente neste tecido.

Os valores da atividade específica relativa (AER) para coração, músculo, rim, fígado e osso são apresentados na Tabela 4.

As fontes de P consumidas pelos leitões influenciaram (P<0,05) a AER dos tecidos. Animais que consumiram dieta contendo ROCHA e a fonte orgânica de P (CONT) obtiveram maior taxa de troca entre o plasma e os tecidos em estudo, não havendo diferença (P>0,05) entre os demais tratamentos.

Com relação aos tecidos, o maior valor de AER (P<0,05) foi encontrado no fígado e rim, seguido pelo músculo, coração e osso (P<0,05), revelando a importância do fígado e rim no intercâmbio do fósforo existente no interior das células.

Tabela 4 – Efeito das fontes de fósforo (P) sobre a atividade específica relativa nos tecidos de suínos

Table 4 – Effect of the phosphorus (P) sources on the relative specific activity in swine tissue

Fontes de P (P sources)	Atividade Específica Relativa ¹ (Relative specific activity)					Média (Mean)
	Coração (Heart)	Músculo (Muscle)	Rim (Kidney)	Fígado (Liver)	Osso (Bone)	
CONT	0,3711	0,4169	0,4254	0,4212	0,2466	0,3762AB
FBC	0,3050	0,3263	0,3551	0,3421	0,2084	0,3074B
MBC	0,2853	0,3107	0,3167	0,3406	0,2141	0,2935B
ST	0,2794	0,2782	0,3022	0,3296	0,2083	0,2796B
SS	0,3168	0,3112	0,3364	0,3825	0,1739	0,3042B
AcF	0,3050	0,3389	0,3329	0,3180	0,2092	0,3008B
ROCHA	0,4899	0,4054	0,5220	0,5060	0,3645	0,4576A
Média (Mean)	0,3361c	0,3411b	0,3701ab	0,3771a	0,2322d	CV=16,82%

¹ (P<0,05) Médias seguidas de letras distintas na linha ou coluna diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

(P<0.05) Means followed by different letters in a line or column are different by Student-Newman-Keuls.test.

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; AcF: ácido fosfórico; ROCHA: fosfato de rocha Catalão.

² CONT: control diet; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monodicalcium phosphate; ST: triple superphosphate; SS: simple superphosphate; AcF: phosphoric acid; e ROCHA: phosphate Catalão rock.

Esse comportamento diverge do observado por Lopes et al. (1999), que observaram maior AER no músculo, seguido por osso, fígado, coração e rim. Valores semelhantes ao da presente pesquisa foram encontrados por Smith et al. (1951).

Segundo Annenkov (1982), o fósforo é metabolizado rapidamente no fígado e rim, destacando que o metabolismo no osso é mais lento. Essa observação sugere que nos tecidos com menor teor de fósforo, como os tecidos moles, o intercâmbio do fósforo das células (mobilização e captação) com fluidos extracelulares é maior, fazendo com que maior proporção de fósforo estável seja substituída pelo radioisótopo (Lopes et al., 1999).

Conclusão

O fígado e o rim são importantes no metabolismo do fósforo, e a utilização de dietas contendo menor nível e fonte orgânica de P e ração suplementada com fosfato de rocha, influenciaram negativamente a taxa de mobilização, captação e retenção do fósforo nos tecidos.

Referências Bibliográficas

- ABOU-HOUSSEIN, E.R.; RAAFAS, M. A ; EL GINDI,; I.M.;SAMY, M.S.S. Metabolism of ^{32}P in sheep. Pakist. **Journal Science Resource**, v.20, n.1/2, p.28-33, 1968.
- ANNENKOV, B.N. Kinetics of mineral metabolism in blood. In: GEORGIEVSKII, V.I., ANNENKOV, B.N., SAMOKHIN, V.I. (Ed.) **Mineral nutrition of animals**. 1.ed. London: Butterworths. p.243-253. 1982.
- BUENO, S.M. **Níveis de fósforo para caprinos: metabolismo, cinética e digestibilidade aparente**. Piracicaba: USP, 1997. 57p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo, 1997.
- CARVALHO, F.F.R. **Efeito de níveis de fósforo sobre digestibilidade, metabolismo, perdas endógenas e cinética de fósforo em cabritos saanem**. Jaboticabal, 1998. 83p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1998.
- FIGUEIRÊDO, A.V.; VITTI, D.M.S.S.; LOPES, J.B. Cinética do radiofósforo em tecidos de suínos em crescimento, alimentados com dietas contendo diferentes fontes fosfatadas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35, Botucatu, SP, 1998. **Anais...** Botucatu-SP, 1998, p.207-209.
- FISKE, C.H., SUBBARROW, Y. The calorimetric determination of phosphorus. **Journal Biological Chemistry**. V.66, n.2, p.375-400, 1925.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA. **Laboratory training manual on the use of nuclear techniques in animal research**. Vienna: IAEA, 1979, 299p. (Technical Report Series, 193).
- LOBÃO, A.O., CROCOMO. O.J. Retenção de fósforo radioativo (P^{32}) em tecidos de ovinos. **Bol. Ind. Anim.**, v.31, n.2, p.261-291. 1974.

- LOFGREEN, G. P. The availability of the phosphorus in dicalcium phosphate, bone meal, soft phosphate and calcium phytates for mature wethers. **Journal Nutrition**, Bethesda, v.70, n.1, p.58-62, 1960.
- LOPES, J.B., VITTI, D.M.S.S., FIGUEIRÊDO, A.V. et al. Cinética do fósforo em tecidos de suínos em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.4, p.779-784, 1999.
- McDOWELL, L.R. **Mineral in animal and human nutrition**. San Diego: Academic Press, 1992. 524p.
- PEKAS, J.C. Versatile swine laboratory apparatus for physiologic and metabolic studies. **Journal of Animal Science**, v.27, n.5, p.1303-1306, 1968.
- PEO JR., Calcium, phosphorus and vitamin D in swine nutrition. In: MILLER, E.R., ULREY, D.E., LEWIS, A.J. (Ed.) **Swine nutrition**. Boston: Butterworth-Hainemann, p.165-182, 1991.
- ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T., DONZELE, J.L., GOMES, P.C., FERREIRA, A.S., OLIVEIRA, R.F., LOPES, D.C. **Tabelas brasileira para aves e suínos; composição de alimentos e exigências nutricionais**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37, Viçosa - MG, 2000. p.141.
- SARRUGE, J.R., HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ/USP. 56p. 1974.
- SAS INSTITUTE INC. 1996. **SAS System for Windows, release 6.12** Cary, NC, USA. 01 CD-ROM.
- SMITH, A.H., KLEIBER, M., BLACK, A.L. et al. Distribution of intravenously injected radioactive phosphorus (P^{32}) among sheep tissue. **Journal of Animal Science**, v.11, n.4, p.638-645, 1952.
- SMITH, A.H.; KLEIBER, M.; BLACK, A.L. et al. Distribution of intravenously injected radioactive phosphorus (^{32}P) among swine tissue. **Journal of Animal Science**, v.10, n.4, p.893-901, 1951.
- UNDERWOOD, E.J. **The mineral nutrition of livestock**. 2.ed. London: Commonwealth Agricultural Bureaux. 179p. 1981.
- VITTI, D.M.S.S.; ABDALLA, A.L.; MEIRELLES, C.F. Cinética do fósforo em ovinos suplementados com diferentes fontes fosfatadas através da técnica de diluição isotópica. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.44, n.3, p.227-233, 1992.

Estimativas do Fluxo de Fósforo entre os Compartimentos Anatômicos e Fisiológicos de Suínos Alimentados com Dietas contendo Diferentes Fontes de Fósforo

RESUMO – Foram utilizados 21 leitões machos, com peso médio de 31,94 kg, para simular o fluxo de fósforo (P) entre os compartimentos anatômicos ou fisiológicos de suínos. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com sete tratamentos, três repetições e um animal/gaiola. As dietas eram à base de milho, farelo de soja e o P suplementado através dos fosfatos bicálcico (FBC), monobicálcico (MBC), superfosfato triplo (ST), superfosfato simples (SS), rocha catalão (ROCHA) e ácido fosfórico (AcF) e da ração controle sem o P suplementar (CONT). No sétimo dia, os animais receberam injeção de 7,4 MBq de P^{32} e por sete dias foram coletadas amostras de fezes, urina e sangue. O P excretado nas fezes foi maior na dieta ROCHA e menor em CONT e AcF. O P urinário foi maior nas dietas AcF, SS e ST, e o menor, no CONT. As dietas não influenciaram a atividade específica (AE) nas fezes e nos ossos. A AE no sangue foi menor na dieta ROCHA. A AE nos tecidos moles foi maior na dieta CONT, e a menor, nas dietas ST e AcF. O fluxo do P do trato digestivo para a corrente sangüínea foi menor na dieta CONT. A dieta contendo ROCHA apresentou maior fluxo de P do sangue para o osso. Animais que consumiram as dietas ROCHA e CONT reabsorveram mais P do osso. A mobilização dos tecidos moles para a corrente sangüínea foi maior nas dietas ROCHA e CONT. Concluiu-se que a utilização das dietas CONT e ROCHA não forneceu P para suprir as exigências nutricionais dos suínos, fazendo com que o fluxo do fósforo dos tecidos moles e ossos fosse mais intenso, a fim de manter estável o P na corrente sangüínea. A utilização dos níveis de ácido fosfórico e superfosfato simples nas dietas sobrecarregou os rins, na eliminação do excedente de P pela urina.

Palavras-chave: cinética, fosfato, metabolismo, mineral absorção, nutrição, ^{32}P .

Estimates of Phosphorus Flow between the Anatomical and Physiological Compartments of Swine Fed Diet Containing Different Sources of Phosphorus

ABSTRACT – Twenty-one castrated male pigs with a medium weight of 31,94 kg were used to simulate the phosphorus (P) flow between the anatomical or physiological compartments of swine. The experiment was arranged in randomized blocks, with seven treatments and four repetitions and one pig/box. The diets were corn and soybean meal-based and P was supplied from different phosphate sources: dicalcium (FBC); monocalcium (MBC); triple superphosphate (ST); simple superphosphate (SS), Catalão rock (ROCHA) and phosphoric acid (AcF) and diet controls without supplemental P (CONT). At the end of the seventh day of applying 7,4MBq of ^{32}P , during seven days samples of feces, urine and blood were collected. The amount of P excreted in the feces was greater in the diet and smallest in CONT and AcF. Urinary P was greatest in the diets AcF, SS and ST and smallest in CONT. The diets did not influence the specific activity (SA) in the feces and in the bones. SA in the blood was smaller in the diet ROCHA. SA in the soft tissues was greatest in the diet CONT and smallest in the diets ST and AcF. The flow of P in the digestive tract for the blood was smaller in the diet CONT. The diet containing ROCHA had a greater flow of P from the blood to the bone. Animals fed diets ROCHA and CONT reabsorbed more P from the bone. Soft tissue mobilization in the blood was greater in the diets ROCHA and CONT. It was concluded the diet CONT and ROCHA did not supply enough P to meet the nutritional requirement of the swine, making the flow of the phosphorus from the soft tissues and bones more intense, in order to maintain a stable P in the blood. The use of tissues phosphoric acid and simple superphosphate levels in the diets overloaded the kidneys, in the elimination of surplus P through the urine.

Key Words: kinetics, phosphate, metabolism, mineral absorption, nutrition, ^{32}P .

Introdução

A elaboração de correto manejo nutricional para atender às exigências do organismo requer profundo conhecimento da fisiologia digestiva do suíno, sendo necessário conhecer não somente como funciona o aparelho digestivo, como também a eficiência com que se aproveitam os nutrientes dos alimentos.

O fósforo de diferentes fontes pode ser absorvido em proporções variadas pelo organismo, devido a uma série de fatores, como espécie e idade do animal, estrutura molecular, processamento das fontes, relação cálcio:fósforo, pH intestinal, níveis dietéticos, presença da vitamina D, gordura, entre outros. É oportuno salientar que nenhum elemento é totalmente absorvido e utilizado pelo animal, já que uma parte é perdida nos processos normais de digestão e de metabolismo.

O fósforo (P) disponível e P digestível não são medidas equivalentes na utilização de fontes P na formulação de dietas para suínos. Enquanto a disponibilidade de P é importante para satisfazer às exigências dos suínos, a sua digestibilidade é importante para avaliar a excreção deste mineral, uma vez que, em dietas normais de suínos, em se tratando do fósforo, a excreção fecal, sem dúvida, excede a excreção urinária. Entretanto, Breves & Schröder (1991) afirmam que a excreção de fósforo pela urina funciona como importante mecanismo de controle homeostático pelos animais monogástricos.

Segundo Furtado (1991), no metabolismo animal, o fósforo mantém estreita relação com o cálcio, durante a absorção, deposição e excreção. Baixa concentração de cálcio sérico estimula a glândula paratireóide do animal a produzir o paratormônio (PTH), aumentando, assim, a excreção de fósforo pelos rins, que pode atingir uma taxa 20 vezes superior à da excreção normal. A maior diurese de fosfato tem como objetivo manter uma relação Ca:P constante. O metabolismo da vitamina D que se encontra estocado no fígado dos animais, o 25, hidrocolecalfiferol (25-OHD₃), é mobilizado aos rins e transformado em 1,25 diidrocolecalfiferol (1,25-(OH)₂D₃) sob influência do PTH. Assim, aumenta-se a absorção de cálcio no intestino, através da síntese de uma proteína

transportadora. O paratormônio aumenta a reabsorção óssea e retarda a mineralização do osteóide. Uma alta concentração de cálcio sérico estimula a produção de calcitonina (CT) pela tireóide. Este hormônio tem como principal função inibir a reabsorção óssea, com o objetivo de diminuir o nível de cálcio plasmático. A CT é similar ao PTH quanto à reabsorção de fosfato nos rins, mas, ao contrário do PTH, aumenta também a diurese de cálcio nos túbulos cornados distais.

Várias técnicas têm sido usadas para determinação da dinâmica e do metabolismo do fósforo no organismo. A utilização do isótopo radioativo ^{32}P na corrente sangüínea tem como princípio avaliar quantitativamente a absorção real, o metabolismo e o fluxo do fósforo entre o sangue e os vários órgãos e tecidos, bem como a parte excretada nas fezes e na urina (Fernandez, 1995b; Bastianelli et al., 1996; Figueirêdo et al., 1998a; Lopes et al., 2001).

A simulação de modelos, principalmente com o uso de traçadores radioativos ou estáveis, permite estudar fenômenos complexos com precisão, dada a possibilidade do acompanhamento das reações e dos mecanismos biológicos ou naturais envolvidos e a quantificação das variáveis, segundo o interesse do pesquisador. Como consequência, os resultados da pesquisa, sendo precisos, ao serem extrapolados de forma matemática e estatística para o universo da população, tornam a informação confiável, podendo-se reduzir o tempo e os gastos com repetição de experimentos com objetivos similares (Lopes, 1999).

Objetivou-se desenvolver modelos para simular o fluxo de P entre os compartimentos anatômicos ou fisiológicos do organismo de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais, no período de 19 de outubro a 5 de novembro de 2001.

Foram utilizados 21 leitões machos, castrados, com peso médio de 31,94 kg, distribuídos em delineamento de blocos casualizados, com sete tratamentos e três repetições. Foram utilizados como critério para formação dos blocos o peso e a idade dos animais.

Os animais foram alojados em gaiolas de metabolismo, com estrutura para separar fezes e urina e com dispositivos para o fornecimento de alimento e de água. Durante o período de sete dias de adaptação e sete de coleta total e diária de fezes, urina e amostras de sangue, um décimo do conteúdo das fezes e da urina foi armazenado em congelador, para as devidas análises.

As rações experimentais, exceto a ração controle para fósforo, foram formuladas para atender às exigências nutricionais dos leitões nessa fase, conforme recomendações de Rostagno et al. (2000). A composição centesimal e os valores nutricionais das rações experimentais são apresentados na Tabela 1 (Primeiro artigo). O fósforo foi suplementado através dos fosfatos bicálcico (FBC), monobicálcico (MBC), superfosfato triplo (ST), superfosfato simples (SS), rocha catalão (ROCHA) e ácido fosfórico (AcF) e da ração controle sem o P suplementar (CONT).

Na fase de adaptação, as rações experimentais foram distribuídas em duas refeições, uma às 10 e outra às 18 horas, com a quantidade de ração fornecida à vontade, sendo o consumo devidamente anotado. Durante a fase de coleta, as rações experimentais, também, foram distribuídas em duas refeições, porém com o consumo diário baseado no peso metabólico ($W^{0,75}$), levando em consideração o menor consumo entre os animais de cada bloco, observado na fase pré-experimental, com água fornecida à vontade.

No início da fase experimental, 7,4 MBq de ^{32}P , como fosfato de sódio ($\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$), livre de carregador, fornecido pelo Instituto de Pesquisas Energéticas de São Paulo (IPEN), foram injetados em cada animal, por via endovenosa. Ao final do sétimo dia de aplicação do ^{32}P , foram escolhidos 21 leitões de forma casualizada, sendo abatidos três animais por tratamento, e coletadas amostra de osso (10^a a 14^a costela), fígado, coração, rim e músculo (*Longissimus dorsi*).

A detecção da radioatividade nas amostras de plasma, fezes, urina e dos tecidos foi realizada em espectrômetro de cintilação líquida por efeito Cerenkov (IAEA, 1979). O conteúdo de fósforo inorgânico no plasma foi determinado por colorimetria, segundo Fiske & Subbarow (1925), e o dos tecidos, pelo método vanadato-molibdato (Sarruge & Haag, 1974). As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

Os cálculos do percentual das atividades específicas foram feitos de acordo com Salviano & Vitti (1998).

O modelo proposto do fluxo do fósforo no organismo de leitões encontra-se no esquema simplificado (Figura 1), baseado no fluxo desse mineral (Vitti et al., 2000).

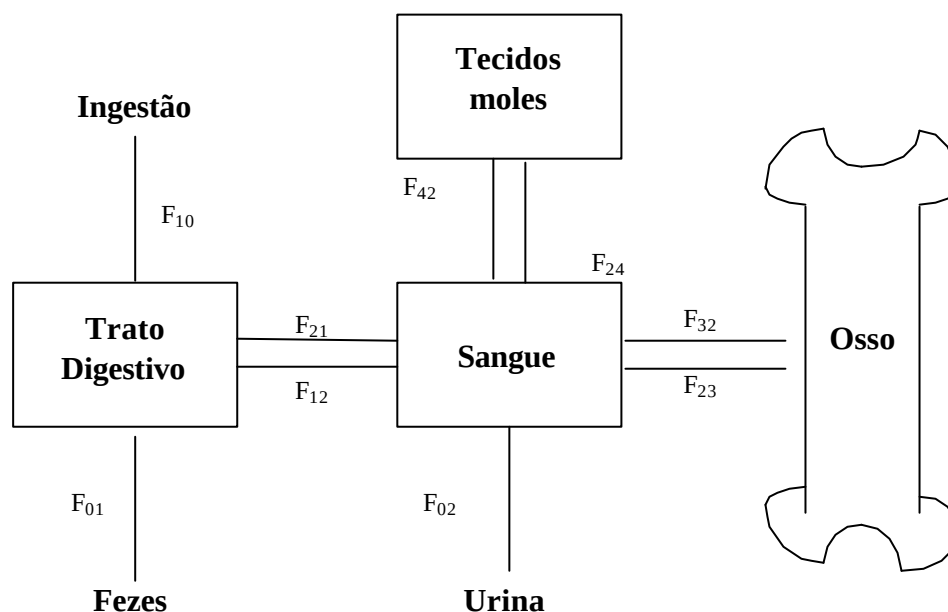


Figura 1 – Esquema do modelo desenvolvido por France, para distribuição de fósforo em suínos.

Figure 1 –Schematic model developed by France, for phosphorus distribution in swine.

Na estruturação do modelo foram considerados quatro compartimentos: trato digestivo; sangue; osso; e tecidos moles. O fluxo de fósforo entre os compartimentos, dentro e fora do sistema, está caracterizado pelas setas. O trato

digestivo, o osso e os tecidos moles estão em intercâmbio bidirecional com o *pool* do sangue, de acordo com os fluxos F_{21} e F_{12} , F_{23} e F_{32} e F_{24} e F_{42} , respectivamente.

A entrada de fósforo no sistema ocorre via ingestão (F_{10}), e a saída, por meio das fezes (F_{01}) e da urina (F_{02}). O fósforo marcado ^{32}P foi administrado como uma única dose, D cpm, para o tempo “zero”, sendo o valor e a atividade específica nos *pools* sangue, osso e tecidos moles medidos após oito dias da introdução. Nesse esquema é assumido que não houve reentrada de fósforo marcado a partir de fontes externas.

O princípio da conservação das massas pode ser aplicado para cada *pool* na Figura 1, a fim de gerar as equações diferenciais, as quais descrevem o comportamento dinâmico do sistema. Dessa forma, as equações diferenciais de 1 a 4 representam esse princípio para fósforo não marcado, e as equações diferenciais de 5 a 8, para o fósforo marcado, conforme notação definida a seguir.

Os principais símbolos usados no desenvolvimento do modelo são: F_{ij} = fluxo total de P para o *pool* i a partir do j ; F_{i0} denota fluxo externo dentro do *pool* i ; F_{0j} , o fluxo de saída do sistema a partir do *pool* j ; o sublinhado indica o fluxo que pode ser medido experimentalmente: g/d; D = dose de ^{32}P administrada no sangue no tempo zero: cpm; Q_i = quantidade total de P no *pool* i : g; q_i = quantidade de ^{32}P no *pool* i : cpm; s_i = atividade específica do *pool* i ($= q_i/Q_i$): cpm/g; e T = tempo: d.

$$dQ_1/dt = F_{10} + F_{12} - F_{01} - F_{21} \quad (1)$$

$$dQ_2/dt = F_{21} + F_{23} + F_{02} - F_{12} - F_{32} - F_{42} \quad (2)$$

$$dQ_3/dt = F_{32} - F_{23} \quad (3)$$

$$dQ_4/dt = F_{42} - F_{24} \quad (4)$$

$$dq_1/dt = s_2 F_{12} - s_1 (F_{01} + F_{21}) \quad (5)$$

$$dq_2/dt = s_1 F_{21} + s_3 F_{23} + s_4 F_{24} - s_2 (F_{02} + F_{12} + F_{32} + F_{42}) \quad (6)$$

$$dq_3/dt = s_2 F_{32} - s_3 F_{23} \quad (7)$$

$$dq_4/dt = s_2F_{42} - s_4F_{24} \quad (8)$$

Considerando o coeficiente de diferencial de s_3 com respeito ao tempo, tem-se:

$$ds_3/dt = d(q_3/Q_3)/dt = [dq_3/dt - (q_3/Q_3) dQ_3/dt]/Q_3 \quad (9)$$

Reorganizando o sistema de equações, obtém-se:

$$dq_3/dt = Q_3 ds_3/dt + s_3 dQ_3/dt \quad (10)$$

ao utilizar as equações (3) e (7) para substituir por dQ_3/dt e dq_3/dt , respectivamente, e aproximando ds_3/dt por $[s_3(t) - s_3(t=0)]/[t - 0]$, a equação (10) torna-se:

$$s_3/t = (s_2 - s_3)F_{32}/Q_3 \quad (11)$$

como $s_3(t=0)$ é zero, e considerando-se similar; logo, ao aplicar em ds_4/dt , tem-se:

$$s_4/t = (s_2 - s_4)F_{42}/Q_4 \quad (12)$$

Depois de oito dias de introdução do material radioativo, é assumido que o *pool* 1 (lúmen do intestino) está em estado estável (i.e., ambos dQ_1/dt e dq_1/dt é zero) e o *pool* 2 (sangue) está em estado não-isotópico estável (i.e. dQ_2/dt é zero). Assim, as equações (1), (2), (5), (11) e (12) agora se transformam:

$$F_{10} + F_{12} - F_{01} - F_{21} = 0 \quad (13)$$

$$F_{21} + F_{23} + F_{02} - F_{12} - F_{32} - F_{42} = 0 \quad (14)$$

$$s_2F_{12} - s_1(F_{01} + F_{21}) = 0 \quad (15)$$

$$(s_2 - s_3)F_{32}/Q_3 = s_3/8 \quad (16)$$

$$(s_2 - s_4)F_{42}/Q_4 = s_4/8 \quad (17)$$

A manipulação algébrica das equações (13) - (17) resulta em:

$$F_{12} = s_1 F_{10} / (s_2 - s_1) \quad (18)$$

$$F_{21} = F_{10} + F_{12} - F_{01} \quad (19)$$

$$F_{32} = s_3 Q_3 / [8(s_2 - s_3)] \quad (20)$$

$$F_{42} = s_4 Q_4 / [8(s_2 - s_4)] \quad (21)$$

$$|F_{23} + F_{24}| = F_{01} + F_{12} + F_{32} + F_{42} - F_{21} \quad (22)$$

em que $|F_{23} + F_{24}|$ indica um 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.

$$|F_{23} + F_{24}| = F_{23} + F_{24} \quad (23)$$

$$s^* = (s_3 Q_3 + s_4 Q_4) / (Q_3 + Q_4) \quad (24)$$

O fluxo de saída do marcador a partir do *pool* combinado é a soma do fluxo de saída do marcador a partir do *pool* 3 e do *pool* 4:

$$s^* \times |F_{23} + F_{24}| = s_3 F_{23} + s_4 F_{24} \quad (25)$$

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

$$F_{24} = (s^* - s_3) \times |F_{23} + F_{24}| / (s_4 - s^*) \quad (26)$$

$$F_{23} = |F_{23} + F_{24}| - F_{24} \quad (27)$$

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

A análise estatística dos parâmetros estudados nos experimento foi usada de acordo com o programa Statistical Analysis System – SAS (1996). Utilizou-se o teste Student-Newman-Keuls para comparar as médias entre os tratamentos.

Resultados e Discussão

Os valores da ingestão, da excreção, das atividades específicas, do conteúdo de fósforo (P) nos ossos, no sangue e nos tecidos moles e o fluxo de entrada e saída de P nos compartimentos, no trato digestivo, no sangue, nos ossos e nos tecidos moles, em função das dietas experimentais, são apresentados na Tabela 1.

O fósforo consumido foi influenciado ($P<0,05$) pelos níveis de P da dieta. Conforme planejamento inicial da pesquisa, os animais que consumiram a dieta CONT, que possuía menor nível de fósforo total, consumiram menos P; o consumo deste mineral foi similar para os tratamentos que continham fontes inorgânicas de P suplementar.

Verificou-se que o P excretado nas fezes foi maior ($P<0,05$) nos animais que consumiram a dieta suplementada com fosfato de rocha, sendo similar ($P>0,05$) ao P excretado nas dietas ST, MBC e FBC. A maior excreção foi observada nos animais que consumiram dietas CONT e AcF, as quais foram semelhantes ($P>0,05$) às dietas FBC e SS.

A excreção de P pela urina foi maior ($P<0,05$) nos tratamentos que continham AcF, SS e ST, seguidos pelos tratamentos FBC, MBC e ROCHA. A menor excreção de P via urina ocorreu no CONT, que foi semelhante ($P>0,05$) aos tratamentos MBC e ROCHA.

As dietas experimentais não influenciaram ($P>0,05$) a atividade específica (AE) nas fezes (S1) e nos ossos (S3) dos suínos. A AE no sangue (S2) foi menor ($P<0,05$) no tratamento contendo fosfato de rocha como fonte suplementar, não havendo diferença ($P>0,05$) entre os demais tratamentos. Entretanto, a AE nos tecidos moles foi maior ($P<0,05$) nos animais que consumiram a dieta suplementada com CONT, sendo similar ($P>0,05$) à AE das dietas que continham FBC, SS, ROCHA e MBC. A menor AE foi observada nos animais que consumiram as dietas ST e AcF, as quais foram semelhantes ($P>0,05$) às dietas FBC, SS, ROCHA e MBC.

Tabela 1 – Consumo, excreção, atividade específica e movimentação do fósforo no corpo dos suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo

Table 1 – Phosphorus intake, excretion, specific activity and movement in the body of the swine fed diet containing different phosphorus sources

Parâmetros (Parameters)		Tratamentos ² (Treatments)							CV (%)
		CONT	FBC	MBC	ST	SS	AcF	ROCHA	
Fluxo de P (g/dia) (Flow of P - g/day)									
Consumo de P (Intake of P)	(F ₁₀)	3,60b	7,16a	7,34a	7,29a	6,94a	7,26a	7,25a	4,90
P fecal (Feces P)	(F ₀₁)	2,12c	2,75abc	3,19ab	3,33ab	2,42bc	2,41c	3,52a	14,07
P urina (Urine P)	(F ₀₂)	0,009c	0,073b	0,025bc	0,182a	0,212a	0,340a	0,027bc	19,65
Atividade específica (cpm/g) (Specific activity)									
Fezes (Feces)	S ₁	0,0023	0,0022	0,0014	0,0016	0,0015	0,0017	0,0009	4,80
Sangue (Blood)	S ₂	0,0207a	0,0225a	0,0182a	0,0187a	0,0198a	0,0178a	0,0129b	3,09
Ossos (Bone)	S ₃	0,0048	0,0041	0,0037	0,0039	0,0033	0,0036	0,0047	15,85
Tecidos moles (Soft tissues)	S ₄	0,0078a	0,0069ab	0,0057ab	0,0052b	0,0063ab	0,0054b	0,0062ab	12,74
Outras entradas (g) (Other inputs, g)									
P no sangue (Blood P)	Q ₂	0,0806	0,0888	0,0873	0,0940	0,0871	0,0845	0,0931	12,46
P nos ossos (Bone P)	Q ₃	81,64b	92,63ab	100,57ab	106,15ab	94,77ab	103,42ab	90,80ab	8,74
P nos tecidos moles (Soft tissues P)	Q ₄	28,82	22,56	26,62	28,31	23,51	27,46	25,06	10,39
Modelo de fluxo de P (g/dia) (Flow model of the P)									
P do sangue para trato gastrointestinal (P blood into the digestive tract)	(F ₁₂)	0,5100	0,6917	0,6847	0,8193	0,6217	0,8273	0,5663	29,02
P do trato gastrointestinal para sangue (P digestive tract into the blood)	(F ₂₁)	1,98b	5,11a	4,84a	4,78a	5,15a	5,68a	4,30a	11,39
P do sangue para osso (P blood into the bone)	(F ₃₂)	3,57b	3,88b	3,68b	3,46b	2,99b	3,54b	6,49a	22,99
P do osso para sangue (P bone into the blood)	(F ₂₃)	3,120a	0,913b	0,808b	0,960b	0,240b	0,561b	4,160a	55,94
P do sangue para tecidos moles (P blood into the soft tissue)	(F ₄₂)	2,18	1,68	1,57	1,60	1,66	1,76	2,98	29,70
P dos tecidos moles para sangue (P soft tissue into the blood)	(F ₂₄)	1,160a	0,303b	0,310b	0,328b	0,104b	0,234b	1,610a	55,81

¹ (P<0,05) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

¹ (P<0.05) Means followed by different letters in a line are different by Student-Newman-Keuls test)

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; AcF: ácido fosfórico; ROCHA: fosfato de rocha Catalão.

² CONT: control diet; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monodicalcium; ST: triple superphosphate; SS: simple superphosphate; AcF: phosphoric acid e ROCHA: phosphate Catalão rock.

O fluxo de entrada de P no trato digestivo a partir da corrente sangüínea (F_{12}) não foi influenciado ($P>0,05$) pela fonte de P da dieta. No entanto, o mesmo não foi observado com relação ao fluxo do trato digestivo para a corrente sangüínea (F_{21}): os animais que consumiram dieta contendo CONT tiveram menor ($P<0,05$) fluxo, não havendo diferença ($P>0,05$) entre os animais que receberam os demais tratamentos.

O P incorporado (F_{32}) e o reabsorvido dos ossos (F_{23}) foram influenciados ($P<0,05$) pela fonte de fósforo. Animais que consumiram dieta contendo fosfato de rocha obtiveram maior fluxo de P do sangue para o osso. Contudo, os animais que consumiram ROCHA e a dieta CONT reabsorveram mais P do osso que os animais que receberam os demais tratamentos.

A mobilização a partir da corrente sangüínea para os tecidos moles (F_{42}) não foi influenciada ($P>0,05$) pela fonte de fósforo. Entretanto, a mobilização a partir dos tecidos moles para a corrente sangüínea (F_{24}) foi maior ($P<0,05$) nos animais que consumiram dieta contendo ROCHA e CONT.

A maior mobilização de fósforo do osso para a corrente sangüínea (F_{23}) pode estar relacionada com a baixa biodisponibilidade do P nos tratamentos que contêm baixo nível de P e naqueles suplementados com fosfato de rocha, que possuem baixa disponibilidade, não sendo capaz de atender às exigências nutricionais do organismo. Esse fluxo entre os compartimentos parece se tratar de mecanismo para manter estável o nível de P no plasma. O aumento da saída dos tecidos moles (F_{24}) nestes tratamentos também contribui para manutenção dos níveis de P na corrente sangüínea, bem como para o desempenho das funções normais no organismo animal.

Para o P inorgânico no osso, verificou-se que houve mudança em função da fonte de fósforo consumido, como está caracterizado nos resultados da atividade específica nesse compartimento. Esses resultados divergem daqueles de Fernandez (1995b) e Lopes (1999), os quais constataram que a incorporação de P no osso foi constante, independentemente do nível de ingestão, porém estão em consonância no que diz respeito à reabsorção óssea, uma vez que Fernandez

(1995b) constatou que a reabsorção decresceu com o aumento da ingestão de P; entretanto, Lopes (1999) não verificou esse efeito.

O aumento da excreção de P na urina, no tratamento contendo ácido fosfórico, que possui alta disponibilidade, ressalta que nos monogástricos os rins constituem importante rota para a homeostase de P, ao lado da excreção fecal (Cupák et al., 1972; Vippermam JR. et al., 1974; Georgievskii, 1982; Breves & Schroder, 1991; Fernandez, 1995a,b; Lopes, 1999). As perdas urinárias de P em suínos podem estar relacionadas diretamente com o maior valor da eficiência de absorção, quando a concentração de P no plasma excede o limiar renal.

No desenvolvimento do modelo, constatou-se que alguns animais apresentaram valor negativo para o P reabsorvido dos ossos e tecidos moles. Isso sugere que não houve saída de P desse compartimento para a corrente sangüínea, ficando, assim, o P incorporado aos ossos e tecidos moles. Essa ocorrência pode estar relacionada, em parte, com a maior eficiência de absorção do P nestes animais, permitindo que o P fique mobilizado no osso e nos tecidos moles, para utilização posterior, quando ocorrer carência ou problemas metabólicos no organismo.

Conclusão

A utilização de fonte orgânica de fósforo e fosfato de rocha não forneceu P o suficiente para suprir as exigências nutricionais dos suínos, sendo o fluxo do fósforo dos tecidos moles e dos ossos mais intenso, para manter estável o P na corrente sangüínea. A utilização dos níveis de ácido fosfórico e superfosfato simples nas dietas sobrecarregou os rins, na eliminação do excedente de P pela urina.

Referências Bibliográficas

- BASTIANELLI, D., SAUVANT, D., RÉRAT, A. 1996. Mathematical modeling of digestion and nutrient absorption in pig. **Journal of Animal Science**, v.74, n.10, p.1873-1887, 1996.
- BREVES, G.; SCHRÖDER, B. Comparative aspects of gastrointestinal phosphorus metabolism. **Nutrition Research Reviews, Cambridge**, v.4, p.125-140, 1991.
- CUPÁK, M., PROCHAZKA, Z., JAMBOR, V. Utilization of phosphorus compounds in pigs after endogenous phosphorus determination means of ^{32}P . **Acta Veterinaria Brno**, v.41, p.257-262, 1972.
- FERNANDEZ, J.A. Calcium and phosphorus metabolism in growing pigs. I. Absorption and balance studies. **Livestock Production Science**, v.41, n.1, p.233-241, 1995a.
- FERNANDEZ, J.A. Calcium and phosphorus metabolism in growing pigs. II. Simultaneous radio-calcium and radio-phosphorus kinetics. **Livestock Production Science**, v.41, n.1, p.243-254, 1995b.
- FIGUEIRÊDO, A.V.; VITTI, D.M.S.S.; LOPES, J.B. Cinética do radiofósforo em tecidos de suínos em crescimento, alimentados com dietas contendo diferentes fontes fosfatadas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35, Botucatu, SP, 1998. **Anais...** Botucatu-SP, 1998a, p.207-209.
- FIGUEIRÊDO, A.V.; VITTI, D.M.S.S.; LOPES, J.B. Disponibilidade biológica do fósforo de cinco fosfatos, determinada com suínos em terminação, através do uso de radiotraçador. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35, Botucatu, SP, 1998. **Anais...** Botucatu-SP, 1998b, p.204-206.
- FISKE, C.H., SUBBARROW, Y. The calorimetric determination of phosphorus. **Journal Biological Chemistry**, v.66, n.2, p.375-400, 1925.
- FURTADO, M.A.O. **Determinação da biodisponibilidade de fósforo em suplementos de fósforo para aves e suínos**. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1991. 60p. Tese (Mestrado em Zootecnia), 1991.
- GEORGIEVSKII, V.I. The physiological role of macroelements. In: GEORGIEVSKII, V.I., ANNENKOV, B.N., SAMOKHIN, V.I. (Ed.) **Mineral nutrition of animals**. 1.ed. London: Butterworths. p.91-170. 1982.

- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA. **Laboratory training manual on the use of nuclear techniques in animal research.** Vienna: IAEA, 1979, 299p. (Technical Report Series, 193), 1979.
- LOPES, J.B. **Cinética e metabolismo do fósforo em ruminantes e não ruminantes: modelos matemáticos.** Piracicaba, 1999. 84p. Relatório (Pós-Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.
- LOPES, J.B.; VITTI, D.M.S.S.; ABDALLA, A.L. Modelo do fluxo biológico do fósforo de fontes de fosfato em suínos, usando o ^{32}P como marcador. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.1, p.165-173, 2001.
- ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T., DONZELE, J.L., GOMES, P.C., FERREIRA, A.S., OLIVEIRA, R.F., LOPES, D.C. **Tabelas brasileira para aves e suínos; composição de alimentos e exigências nutricionais.** In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37, Viçosa - MG, 2000. p.141.
- SALVIANO, L.M.C. **Efeito de diferentes proporções de cálcio e fósforo sobre as perdas endógenas e absorção real de fósforo em ovinos.** Piracicaba, 1996, 83p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- SALVIANO, L.M.C., and VITTI, D.M.S.S. Effect of dietary Ca:P ratio on endogenous fecal losses and on P absorption in seep. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.349-355, 1998.
- SARRUGE, J.R., HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas.** Piracicaba: ESALQ/USP. 56p. 1974.
- SAS INSTITUTE INC. 1996. **SAS System for Windows, release 6.12** Cary, NC, USA. 01 CD-ROM.
- VIPPERMAN JR., P.E., PEO JR., E.R., CUNNINGHAM, P.J. Effect of dietary calcium and phosphorus level upon calcium, phosphorus and nitrogen balance in swine. **Journal of Animal Science**, v.38, n.4, p.758-765, 1974.
- VITTI, D.M.S.S.; KEBREAB, E. LOPES, J.B. et al. A kinetic model of phosphorus metabolism in growing goats. **Journal of Animal Science**, v.78, p.2706-2712, 2000.

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

RESUMO – Foram utilizados 56 leitões, com peso médio inicial de 28,47 kg, 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). Utilizou-se o 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, contendo dois animais por unidade experimental. As dietas experimentais foram formuladas com base nos valores de fósforo total, sendo elas isofosfóricas (0,56 e 0,42% nas fases de crescimento e terminação, respectivamente). As dietas foram à base de milho e farelo de soja e o P foi suplementado através da substituição de 33,33, 66,67 e 100% do fosfato bicálcico (FBC) pelo monobicálcico (MBC). 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, fósforo e cálcio dos ossos e aumento linear na espessura da camada compacta e na relação camada compacta/periósteo dos ossos com a substituição do FBC pelo MBC. Concluiu-se que a substituição total e/ou parcial do fosfato bicálcico pelo monobicálcico não influencia o desempenho e os parâmetros sanguíneos dos suínos, porém reduz os teores de cinza, fósforo e cálcio dos ossos e aumenta a camada compacta e a relação camada compacta/periósteo dos ossos de 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 Growing and Finishing Phase Swine Diets

ABSTRACT – Fifty-six pigs were with a medium initial weight of 28,47 kg were used to evaluate the effects of substituting phosphate dicalcium by phosphate monodicalcium on the performance, blood and bone parameters of swine fed during the growth (30 to 60 kg) and finishing (60 to 90 kg) phases. The experiment was in randomized arranged in randomized blocks, in a factorial scheme 4 x 2 (levels of phosphate dicalcium substitution x sex) with four repetitions for males and three for females, with two animals per experimental unit. The experimental diets 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 diets were corn and soybean meal-based and the phosphorus supplemented by substituting 33.33, 66.67 and 100% of the phosphate dicalcium (FBC) by the monodicalcium (MBC). 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 the total and/or partial substitution of phosphate dicalcium by monodicalcium does not influence the performance and blood parameters of the swine; however, it reduces the ash, phosphorus and calcium contents of the bones, increasing the compact layer and the layer compact/periosteal relationship of the swine bones during the growth and finishing phases.

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, dos elementos minerais, o mais caro (Nunes et al., 2001).

O fosfato bicálcico (FBC) é um suplemento de fósforo para animais amplamente empregado no mundo. Pode ser obtido a partir do fosfato de rocha ou de ossos moídos. Quando o objetivo final é obter o produto para o consumo animal ou humano, utilizam-se ossos moídos lavados com solução de HCl para separar o fosfato tricálcico da porção orgânica óssea. O fosfato tricálcico passa então a fosfato monocálcico e cloreto de cálcio. Na produção do FBC emprega-se ácido fosfórico purificado, o que resulta em produto com baixos níveis de flúor e de outros contaminantes.

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 feita avaliando a substituição do FBC pelos fosfatos de rocha (Cardoso, 1991; Veloso, 1991), os quais, todavia, sofrem restrições de uso na alimentação animal, devido aos seus baixos teores de fósforo (P), baixos valores de biodisponibilidade de fósforo e elevados teores de flúor. Por outro lado, os fosfatos monoamônico e monocálcico têm demonstrado ser boas fontes de fósforo para suínos (Barbosa et al., 1990c).

No mercado internacional encontram-se vários produtos de composição e valor biológico variáveis, que também poderiam ser utilizados, como fosfato diamônio, fosfato de sódio monobásico, tripolifosfato de sódio e até o próprio ácido fosfórico. Entretanto, são formas menos usadas, por sua instabilidade química, custo mais elevado ou, ainda, pelos cuidados especiais que a sua utilização requer (Associação ... – ANDIF, 1997).

A utilização de fosfato monobicálcico no Brasil é recente e o número de pesquisas utilizando esta fonte é incipiente. Este é um produto que se caracteriza

por, além de sua relação máxima flúor/fósforo de 1/100 e cálcio/fósforo de 1,1/1, possuir no mínimo 20% de fósforo (Associação ... – ANDIF, 1997). Logo, pode se tornar uma fonte viável, pelo aumento do fósforo disponível e pela redução da quantidade de flúor, tendo crescente possibilidade de se constituir numa fonte de fósforo capaz de substituir o fosfato bicálcico no mercado de insumos agropecuários.

Muitos critérios têm sido usados para avaliar a utilização de fósforo nos ingredientes da ração de suínos, como: 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 (Comar et al., 1953; Ammerman et al., 1963; Peeler, 1972; Procházka et al., 1972; Fisher, 1978; Gomes, 1988; Lopes, 1998; Lopes et al., 1999; Figueirêdo et al., 2001).

Os ossos podem ser estudados, 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).

Assim, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar os efeitos da substituição do fosfato bicálcico pelo fosfato monobicálcico sobre o desempenho e os parâmetros sangüíneos 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, contendo dois animais por unidade experimental. Os animais foram alojados em baias de crescimento e

terminação, sendo os equipamentos, o manejo e o programa profilático semelhantes aos utilizados nas explorações comerciais de suínos. A distribuição dos animais se deu de acordo com 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 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. Estas foram preparadas à base de milho moído e farelo de soja.

Os tratamentos foram os seguintes: 100% FBC = dieta basal com 100% do fósforo suplementado através do fósforo bicálcico; 33% MBC = dieta basal com 66,67% do fósforo suplementado através do FBC e 33,33% do fósforo monobicálcico (MBC); 66% MBC = dieta basal com 33,33% do fósforo suplementado através do FBC e 66,67% do MBC; e 100% MBC = dieta basal com 100% do fósforo suplementado através do MBC.

As dietas experimentais foram formuladas com base nos valores de fósforo total, sendo isofosfóricas com 0,56 e 0,42% nas fases de crescimento e terminação, respectivamente (Tabelas 1 e 2).

Ao final das fases de crescimento (59,90 kg de peso) e terminação (95,34 kg de peso) foram feitas 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, fósforo e cálcio. Os teores de fosfatase alcalina, fósforo e cálcio foram analisados no Laboratório de Bioquímica da Universidade Federal de Viçosa, utilizando *kits* comerciais.

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

Tabela 1 – Composição das rações experimentais na fase de crescimento
 Table 1 - Composition of experimental diets in the growing phase

Ingredientes (Ingredients)	Rações experimentais (Experimental diets)			
	100% BIC	33% MBC	66%MBC	100% MBC
Farelo de soja (Soybean meal)	26,24	26,24	26,24	26,24
Milho (Corn)	68,00	68,00	68,00	68,00
L-lisina (L-Lysine HCl)	0,10	0,10	0,10	0,10
Óleo de soja (Soybean oil)	1,65	1,65	1,65	1,65
Sal (Salt)	0,30	0,30	0,30	0,30
Mistura mineral ¹ (Mineral mix)	0,10	0,10	0,10	0,10
Mistura vitamínica ² (Vitamin mix)	0,10	0,10	0,10	0,10
BHT	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário (Limestone)	0,995	1,055	1,115	1,173
Fosfato bicálcico (Dicalcium phosphate)	1,280	0,855	0,420	-
Fosfato monobicálcico (Monodicalcium phosphate)	-	0,390	0,790	1,180
Areia lavada (Washed sand)	1,225	1,200	1,175	1,147
Total	100	100	100	100
Composição calculada ³ (Calculated composition)				
Energia digestível kcal/kg (Digestible energy)	3400	3400	3400	3400
Proteína (%) (Crude protein)	17,90	17,90	17,90	17,90
Fósforo total (%) (Total phosphorus)	0,560	0,560	0,560	0,560
Cálcio (%) (Calcium)	0,780	0,780	0,780	0,780
Sódio (%) (Sodium)	0,157	0,157	0,157	0,157
Lisina total (%) (Total lysine)	0,980	0,980	0,980	0,980
Metionina (%) (Methionine)	0,287	0,287	0,287	0,287
Met. + cistina (%) (Methionine+cystine)	0,586	0,586	0,586	0,586
Treonina (%) (Threonine)	0,693	0,693	0,693	0,693
Triptofano (%) (Tryptophan)	0,212	0,212	0,212	0,212

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 Composição calculada baseado em Rostagno et al. (2000).
 Calculated composition based on Rostagno et al. (2000).

Tabela 2 – Composição das rações experimentais na fase de terminação
Table 2 - Composition of experimental diets in the finishing phase

Ingredientes (Ingredients)	Rações experimentais (Experimental diets)			
	100% BIC	33% MBC	66%MBC	100% MBC
Farelo de soja (Soybean meal)	22,08	22,08	22,08	22,08
Milho (Corn)	74,40	74,40	74,40	74,40
L-lisina (L-Lysine HCl)	0,05	0,05	0,05	0,05
Óleo de soja (Soybean oil)	0,70	0,70	0,70	0,70
Sal (Salt)	0,31	0,31	0,31	0,31
Mistura mineral ¹ (Mineral mix)	0,10	0,10	0,10	0,10
Mistura vitamínica ² (Vitamin mix)	0,10	0,10	0,10	0,10
BHT	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário (Limestone)	1,113	1,140	1,168	1,193
Fosfato bicálcico (Dicalcium phosphate)	0,58	0,387	0,190	-
Fosfato monobicálcico (Monodicalcium phosphate)	-	0,180	0,360	0,535
Areia lavada (Washed sand)	0,557	0,543	0,532	0,522
Total	100	100	100	100
Composição calculada ³ (Calculated composition)				
Energia digestível kcal/kg (Digestible energy)	3401	3401	3401	3401
Proteína (%) (Crude protein)	16,502	16,502	16,502	16,502
Fósforo total (%) (Total phosphorus)	0,420	0,420	0,420	0,420
Cálcio (%) (Calcium)	0,651	0,651	0,651	0,651
Sódio (%) (Sodium)	0,160	0,160	0,160	0,160
Lisina total (%) (Total lysine)	0,840	0,840	0,840	0,840
Metionina (%) (Methionine)	0,270	0,270	0,270	0,270
Met. + cistina (%) (Methionine+cystine)	0,556	0,556	0,556	0,556
Treonina (%) (Threonine)	0,639	0,639	0,639	0,639
Triptofano (%) (Tryptophan)	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 Composição calculada baseado em Rostagno et al. (2000).
Calculated composition based on Rostagno et al. (2000).

sexta costela a cerca de 10 cm abaixo da articulação costovertebral, para análise histológica. Em seguida, efetuou-se a pesagem de fígado, rins e da 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 serem descarnadas, foram lavadas em água fria e, com auxílio de escova, foram retirados os resíduos de carne e a cartilagem proximal. Mediram-se o comprimento e o diâmetro dos ossos, com paquímetro, os quais, em seguida, foram pesados.

O terceiro metacarpiano do membro anterior de um animal por baía 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 serem quebrados, os ossos foram desengordurados em extrator Soxhlet e levados à estufa ventilada a 55°C por um período de 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 magnésio dos ossos, por espectrofotometria de absorção atômica; e o 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 7µm de espessura, sendo os cortes corados em hematoxilina e eosina. As análises morfométricas 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 foram feitas 140 medidas por tratamento em 20 pontos distintos da superfície óssea para, a fim de determinar a espessura do perióstio e da camada compacta.

A análise estatística dos parâmetros estudados no experimento foi realizada de acordo com o programa Statistical Analysis System (SAS), versão 6.12 (1996), sendo os dados submetidos à análise de regressão.

Resultados e Discussão

Os dados de ganho de peso médio diário (GPD), consumo de ração médio diário (CMD) e conversão alimentar 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 3.

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

A substituição do FBC pelo MBC não influenciou ($P>0,05$) o GPD, CMD 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 GPD apresentou tendência de ser maior do que o daqueles dos tratamentos com FBC.

Tem sido demonstrado que os fosfatos de Tapira e monocalcico 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., 1991a; Barbosa et al., 1990a,b,c). 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 do que os fosfatos de rochas, usados em outros experimentos.

Tabela 3 – Ganho de peso diário (GPD), consumo médio diário (CMD) 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; X = média)

Table 3 – Daily weight gain (DWG), daily feed intake (DFI) and feed/gain ratio(F/G) of swine fed with diet containing increasing substitution levels of phosphate dicalcium by monodicalcium in the growing and finishing phase, according to sex (M = male; F = female; X = mean)

Parâmetros (Parameters)	Sexo (Sex)	Níveis de substituição (Substitution levels)				CV (%)
		100% FBC	33% MBC	66%MBC	100% MBC	
GPD - 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	
GPD - 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	
GPD - 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	
CMD - 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	
CMD - 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	
CMD - 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	

Os dados de pesos absoluto e relativo do fígado e do rim e o rendimento de carcaça de suínos alimentados com ração contendo níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico, nas fases de crescimento e terminação, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – 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 4 – Absolute (g) and relative (% of carcass) weights of liver and kidney, and carcass yield (%) of swine fed with diet containing increasing levels of substitution phosphate dicalcium by monodicalcium in the growing and finishing phase

Parâmetros (Parameters)	Níveis de substituição (Substitution Levels)				CV (%)
	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
Peso relativo fígado (%) (Relative weight of liver)	1,87	1,85	1,81	1,89	17,37
Peso relativo rim (%) (Relative weight of 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

Não houve interação ($P>0,05$) entre os níveis de substituição e sexo. Também não foram observadas diferenças ($P>0,05$) entre macho e fêmea 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), fósforo (P) e fosfatase alcalina (FA) do soro sangüíneo de suínos aos 60 e 90 kg de peso, em função das dietas experimentais, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – 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 5 – Effect of increasing substitution levels of phosphate dicalcium by monocalcium 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 (%)
	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

Não houve interação ($P>0,05$) entre os níveis de substituição e sexo. Também não foram observadas diferenças ($P>0,05$) entre macho e fêmea 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 sangüíneos; entretanto, a fosfatase alcalina dos animais que consumiram dieta FBC apresentaram tendência de diminuir a atividade à medida que o FBC foi substituído pelo MBC.

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

No entanto, 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 Engstrom et al. (1985) encontraram efeito linear significativo na concentração de fósforo inorgânico no soro sangüíneo de suínos em terminação com os níveis crescentes de fósforo dietético. 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, como consequência da depleção das reservas lábeis do elemento nos tecidos de reserva de fósforo no animal.

Os resultados de comprimento, peso, diâmetro, resistência, teor de gordura, cinza, cálcio, fósforo, magnésio e flúor do osso do terceiro metacárpio, espessura do perióstio e da camada compacta e a 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 6.

Não houve interação ($P>0,05$) entre os níveis de substituição e sexo. Também não foram constatadas diferenças ($P>0,05$) entre os sexos em todos os parâmetros estudados.

As dietas experimentais não influenciaram ($P>0,01$) o comprimento, peso, diâmetro, resistência, teor de gordura, cinza, fósforo, 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 ($P<0,05$; $y = 11,7399 -$

Tabela 6 – Comprimento, peso, diâmetro, resistência, teor de gordura, cinza, cálcio, fósforo, magnésio e flúor, espessura do periósteo e da camada compacta e a relação camada compacta/periósteo do osso de suínos alimentados com ração contendo níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico, nas fases de crescimento e terminação

Table 6 – 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 (%)
	100% BIC	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 ¹)	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 Periósteo (µm) (Thickness periosteal)	113,8	122,09	109,14	109,3	22,08
Espessura da compacta (µm) ¹ Compact layer ¹	821,9	749,08	1326,97	1352,5	12,33
Relação Compacta/Periósteo ¹ Relation compact / periosteal ¹	7,22	6,14	12,16	12,36	28,46

¹ Efeito linear (P<0,01).

¹ Linear effect (P<0,01).

² Resistência do osso em N, em que 1N = 0,1020 kgf/mm.

² Breaking strength of the bone in N, in that 1N = 0,1020 kgf/mm.

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 periósteo/camada compacta ($P<0,01$; $y = 4,0634 + 2,4150x$; $R^2 = 66\%$).

A deficiência de cálcio e fósforo pode resultar em prejuízo na mineralização dos ossos, redução do crescimento ósseo e crescimento deficiente. Suínos adultos, consumindo dietas deficientes, irão mobilizar 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 flúor nos ossos mostrou tendência de reduzir 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, nos quais ele substitui o composto hidroxiapatita por flurapatita (Barbosa et al., 1991b). 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 pelo aumento da porosidade óssea, pois não foi constatado aumento na resistência óssea e houve diminuição dos teores de cálcio e fósforo, o que sugere aumento na reabsorção óssea.

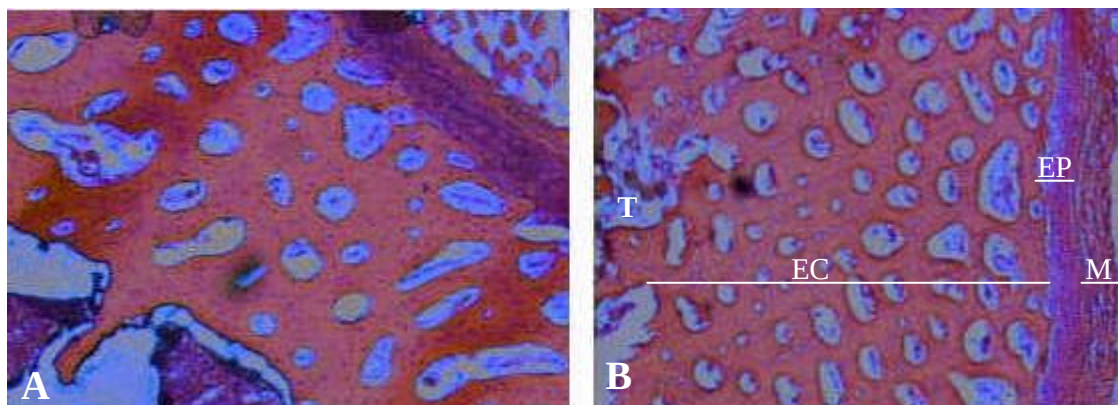


Figura 1 – Secções de ossos da costela dos suínos aos 90 kg de peso. As letras **A** e **B**, nas fotomicrografias, correspondem respectivamente aos ossos de suínos alimentados com as dietas contendo 100% FBC e 100% MBC. Em **B**, detalhe da: **(M)** tecido muscular; **(EP)** periósteo; **(T)** osso 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.

Conclusão

A substituição total e/ou parcial do fosfato bicálcico pelo monobicálcico não influencia o desempenho e os parâmetros sangüíneos dos suínos; entretanto, reduz os teores de cinza, fósforo e cálcio dos ossos e aumenta a camada compacta e a relação camada compacta/periósteo dos ossos de suínos nas fases de crescimento e terminação.

Referências Bibliográficas

- 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**. 1997. (Séries Técnicas, 1).
- BARBOSA, H.P., FIALHO, E.T., BELLAYER, C. et al. Efeitos dos fosfatos de Tapira e monocálcico no desempenho produtivo e reprodutivo de suínos. III - creche. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 27, Campinas, 1990. **Anais...** Campinas, 1990a, p.176.
- BARBOSA, H.P., FIALHO, E.T., BELLAYER, C. et al. Efeitos dos fosfatos de Tapira e monocálcico no desempenho produtivo e reprodutivo de suínos. II - Aleitamento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 27, Campinas, 1990. **Anais...** Campinas, 1990b, p.175.
- BARBOSA, H.P., FIALHO, E.T., BELLAYER, C. et al. Efeitos dos fosfatos de Tapira e monocálcico no desempenho produtivo e reprodutivo de suínos. IV – crescimento e terminação. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 27, Campinas, 1990. **Anais...** Campinas, 1990c, p.177.
- BARBOSA, H.P., FIALHO, E.T., GOMES, P.C. et al. Disponibilidade biológica do fósforo de diferentes fontes para suínos em crescimento e terminação. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 28, João Pessoa, 1991. **Anais...** João Pessoa, 1991a, p.381.

- 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. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 28, João Pessoa, 1991. **Anais...** João Pessoa, 1991b, p.383.
- 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, p.396, 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: CBNA, 1991. p.35-52.
- COMAR, C.L., MONROE, R.A., VISEK, W.J., HANSARD, S.L. Comparison of two isotope methods for determination of endogenous fecal calcium. **Journal of Nutrition**, v.50, p.459-67, 1953.
- 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 Animal Science**, v.55, 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 D, 1 α and 24-R hidroxiylase activities and plasma 1,25-hydroxyvitamin D₃ concentration. **Journal of Animal Science**, v.60, 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 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: UFV, 1988. 163p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1988.

- 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.
- LOPES, J.B. **Avaliação da absorção real e das perdas endógenas de fósforo para suínos pela técnica de diluição isotópica**. Piracicaba: USP, 1998. 87p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- 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.
- 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**. 1999.
- NUNES, R.V., BUTERI, C.B., NUNES, C.G.V., ALBINO, L.F.T., ROSTAGNO, H.S. Fatores antinutricionais dos ingredientes destinados à alimentação animal. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL - CBNA. **Anais...** Campinas, SP, p.235-272, 2001.
- 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. **Pediatr Nephrol**, v.18, p.133-138, 2003
- PROCHÁZKA, Z., CUPÁK, M., JAMBOR, V. The utilization and distribution of phosphorus after peroral administration of P^{32} labeled phosphorus compound in pig. **Acta Veterinaria Brno**, v.41, p.263-270, 1972.
- ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T., DONZELE, J.L., GOMES, P.C., FERREIRA, A.S., OLIVEIRA, R.F., LOPES, D.C. **Tabelas brasileira para aves e suínos; composição de alimentos e exigências nutricionais**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37, Viçosa - MG, 2000. p.141.

SAS INSTITUTE INC. 1996. **SAS System for Windows, release 6.12** Cary, NC, USA. 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. (ed). **Fluorides effects on vegetation, animals and humans**. Utah, USA. p.319-338, 1983.

SILVA, D.J. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 165p, 1990.

VELOSO, J.A.F. **Perspectiva de uso dos fosfatos de rocha nacionais na alimentação animal**. Caderno técnico da Escola de Veterinária da UFMG 6. Belo Horizonte: Centro de Extensão da Escola de Veterinária da UFMG, p.55-84, 1991.

Avaliação de Fontes e Mistura de Fontes de Fósforo em Dietas para Suínos nas Fases de Crescimento e Terminação

RESUMO – Foram utilizados 112 leitões, com peso inicial de 30 kg, distribuídos em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 8 x 2 (oito fontes de fósforo x dois sexos), com quatro repetições para machos e três para fêmeas, contendo dois animais por baia. As dietas foram formuladas com base no fósforo total, sendo elas, exceto a dieta basal, isofosfóricas nas fases de crescimento e terminação. As dietas foram à base de milho e farelo de soja e o fósforo foi suplementado através dos fosfatos bicálcico (FBC), monobicálcico (MBC), superfosfato triplo (ST), superfosfato simples (SS), rocha Catalão (ROCHA), mistura de fontes (MIST) e ácido fosfórico (AcF) e da dieta controle (CONT). A utilização da dieta CONT reduziu o ganho de peso e o consumo de ração, piorou a conversão alimentar, aumentou o peso relativo dos rins, a atividade da fosfatase alcalina e o cálcio e diminuiu o teor de fósforo sanguíneo. As fontes FBC, MBC, ST e AcF reduziram a fosfatase alcalina e mantiveram constante o fósforo e o cálcio sérico. A dieta CONT provocou acúmulo de chumbo e zinco no fígado. A dieta ST provocou acúmulo de cobre no músculo. A espessura da camada compacta foi menor na CONT, diferindo das dietas com FBC, MBC e AcF, seguidas pelas dietas SS, ST e ROCHA, sendo o maior valor para MBC. A porosidade da camada compacta foi maior na dieta CONT, não diferindo das dietas SS, e menor para os demais tratamentos. Concluiu-se que a utilização de fontes alternativas de fósforo, com exceção de fontes orgânicas, maximiza o desempenho de suínos; entretanto, fontes menos elaboradas, como fosfato de rocha, superfosfato triplo, superfosfato simples e mistura de fontes, influenciam negativamente os parâmetros sanguíneos, ósseos e a deposição de minerais e metais pesados no fígado e músculo dos suínos.

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

Evaluation of Sources and Mixture of Sources of Phosphorus in Diets for Growing and Finishing Phase Swine

ABSTRACT – A total of 112 pigs with initial weight of 30 kg were distributed in randomized blocks, in a factorial scheme 8 x 2 (eight phosphorus sources x two sexes), with four repetitions for males and three for females with two animals per box. The experimental diets were formulated based on the values of total phosphorus, being isophosphoric in the growing and finishing phase. The diets were corn and soybean meal-based the phosphorus was supplemented through the phosphates: dicalcium (FBC); monocalcium (MBC); triple superphosphate (ST); simple superphosphate (SS), Catalão rock (ROCHA), mixture of sources (MIST), and phosphoric acid (AcF) and diet controls without supplemental P (CONT). The use of the diet CONT reduced the weight gain and diet consumption; worsened feed conversion and increased the relative weight of the kidneys, alkaline phosphatase and actuary calcium, and decreased the phosphorus in the blood. The sources FBC, MBC, ST and AcF reduced the alkaline phosphatase and maintained constant the phosphorus and calcium in the blood. The diet CONT caused lead and zinc accumulation in the liver. The diet ST caused copper accumulation in the muscle. The thickness of the compact layer was smaller in the diet CONT, differing from the diets FBC, MBC and AcF, followed by the diets SS, ST and ROCK, with the greatest value for MBC. The porosity of the compact layer was greater in the diet CONT, not differing from the diets SS and smaller for the other treatments. It was concluded that the use of alternative sources of phosphorus, except for organic sources, maximizes swine performance; however, less elaborated sources such as rock phosphate, triple superphosphate, simple superphosphate, and mixture of sources influence negatively the blood and bone parameters and the deposition of minerals and heavy metals in the liver and muscle of swine.

Key words: fluorine, bone histology, heavy metals, nutrition, breaking strength, blood serum.

Introdução

Nos últimos anos, pesquisas foram feitas no sentido de avaliar a utilização de fosfatos naturais (FN) na alimentação animal, buscando reduzir o custo de produção sem prejudicar o desempenho produtivo e reprodutivo (Cardoso, 1991; Barbosa, 1991; Veloso, 1991). Segundo estes autores, os fosfatos elaborados, como o bicálcico, requerem importação de insumos, como o ácido fosfórico; sabendo-se que existem grandes jazidas de FN no Brasil, principalmente em Minas Gerais, Goiás e São Paulo, tornam-se necessários estudos que avaliem a possibilidade de utilização de fontes de fósforo alternativas ao fosfato bicálcico.

Os fosfatos menos elaborados sofrem restrição de uso na alimentação animal, devido aos seus baixos teores de fósforo (P), aos baixos valores de biodisponibilidade desse mineral e ao elevado teor de flúor e metais pesados. No entanto, o teor de flúor e de metais pesados nas rochas fosfáticas brasileiras é muito inferior aos teores encontrados nas rochas fosfáticas estrangeiras, principalmente por serem de origem ígnea, contrastando com a origem sedimentar das rochas de outros países, o que se reflete também nos produtos dela derivados (Lobo & Silva, 1984; Ballio, 1986; Cardoso, 1991).

Apesar da inexistência de regulamentação que estabeleça parâmetros para as quantidades toleráveis dos contaminantes nas fontes de fósforo utilizadas na nutrição animal, podendo causar intoxicação animal e, por conseguinte, do ser humano (ANDIF, 1997), a legislação brasileira possui padrão para garantir a segurança e a saúde da população, por meio do controle de resíduos nos alimentos, proposto pelo Plano Nacional de Controle de Resíduos Biológicos em Produtos de Origem Animal – PNCRB (Brasil, 1999).

Experimentalmente, muitos critérios têm sido usado para avaliar a utilização de fósforo dos ingredientes na ração de suínos, como: desempenho, resistência, cinza e deposição de minerais no osso, cálcio, fósforo e fosfatase alcalina no soro, anormalidades no esqueleto, distribuição do fósforo nos tecidos, taxa de incorporação, biodisponibilidade do fósforo, histomorfometria óssea e

acúmulo de metais pesados nos tecidos (Comar et al., 1953; Ammerman et al., 1963; Peeler, 1972; Procházka et al., 1972; Fisher, 1978; Gomes, 1988; Junqueira, 1993; Lopes et al., 1997; Mores et al., 1999; Figueirêdo et al., 2001; Lopes et al., 2001).

Segundo Gomes (1995), os fosfatos de Tapira, monocálcico, Fosforindus, monoamônico e as diversas combinações destes fosfatos constituem fontes de fósforo que podem ser usados em rações de suínos nas fases de crescimento e terminação. No entanto, Medeiros (1999) concluiu que, apesar das diferenças entre os tratamentos quanto ao desempenho e à mineralização óssea existente, as fontes de fósforo como o fosfato bicálcico, superfosfato triplo, monoamônico e Patos de Minas podem ser indicadas para utilização em rações de suínos na fase de terminação, ressaltando a indicação da consorciação do fosfato de Patos de Minas com outro fosfato de qualidade superior.

Com relação à deposição de flúor, cerca de 99% é estocado no tecido ósseo, e este possui efeito cumulativo quando ingerido por longos períodos; logo, o exame deste tecido é indispensável quando se deseja avaliar fontes de fósforo com excesso de flúor (Mores et al., 1999). De acordo com Faria (1995), as fontes de fósforo com alto teor de flúor devem ser limitadas a níveis que não prejudiquem o desempenho dos suínos.

Assim, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes fontes de fósforo sobre o desempenho, os parâmetros sangüíneos e ósseos e a deposição de minerais no fígado e músculo 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 112 leitões, com peso médio inicial de 28,68 kg, distribuídos em 56 baias, em delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial 8 x 2 (oito fontes de fósforo x dois sexos), com quatro

repetições para machos e três para fêmeas, contendo dois animais por unidade experimental. As fontes de fósforo encontram-se na Tabela 1.

Os animais foram alojados em baias de crescimento e terminação; os equipamentos, o manejo e o programa profilático foram semelhantes aos utilizados rotineiramente nas explorações comerciais de suínos. A distribuição dos animais nos tratamentos foram de acordo com sexo, peso e parentesco.

Tabela 1 – Fontes de fósforo usadas no experimento

Table 1 – Phosphorus sources used in the experiment

CONT: Dieta controle (sem fósforo inorgânico)
FBC: Dieta controle + fosfato bicálcico
MBC: Dieta controle + monobicálcico
ST: Dieta controle + superfosfato triplo
SS: Dieta controle + superfosfato simples
ROCHA: Dieta controle + fosfato de rocha
MIST: Dieta controle + mistura de fontes (65% ST + 30% ROCHA + 5% AcF)
AcF: Dieta controle + ácido fosfórico

As rações das fases de crescimento (30 a 60 kg) e terminação (60-90 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 feitas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, segundo metodologia descrita por Silva (1990).

As rações controle 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. Estas últimas foram preparadas à base de milho moído e farelo de soja.

As dietas experimentais foram formuladas com base nos valores de fósforo total, sendo isofosfóricas com 0,56 e 0,42% nas fases de crescimento e terminação, respectivamente (Tabelas 2 e 3).

Ao final das fases de crescimento (58,98 kg de peso) e terminação (92,38 kg de peso) foram feitas 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, fósforo e cálcio.

Tabela 2 – Composição das rações experimentais na fase de crescimento
 Table 2 - Composition of experimental diets in the growing phase

Ingredientes (Ingredients)	Rações experimentais (Experimental diets)							
	CONT	FBC	MBC	ST	SS	ROCHA	MIST	AcF
Farelo de soja(Soybean meal)	26,24	26,24	26,24	26,24	26,24	26,24	26,24	26,24
Milho (Corn)	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00
L-lisina (L-Lysine HCl)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Óleo de soja(Soybean oil)	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
Sal (Salt)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Mistura mineral ¹ (Mineral mix)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Mistura vitamínica ² (Vitamin mix)	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 (Limestone)	1,780	0,995	1,173	1,275	0,360	-	1,041	1,777
Fosfato bicálcico (Dicalcium phosphate)	-	1,280	-	-	-	-	-	-
Fosfato monobicálcico (Monodicalcium phosphate)			1,180					
Superfosfato triplo (Triple superphosphate)	-	-	-	1,160	-	-	0,845	-
Superfosfato simples (Simple superphosphate)	-	-	-	-	3,140	-	-	-
Fosfato rocha Catalão (Phosphate rock Catalão)	-	-	-	-	-	1,880	0,390	-
Ácido fosfórico (Phosphoric acid)	-	-	-	-	-	-	0,065	1,023
Areia lavada (Washed sand)	1,720	1,225	1,147	1,065	-	1,620	1,259	0,700
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
Composição calculada(Calculated composition)								
Energia digestível kcal/kg (Digestible energy)	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400
Proteína (%) (Crude protein)	17,90	17,90	17,90	17,90	17,90	17,90	17,90	17,90
Fósforo total (%) (Total phosphorus)	0,32	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560
Cálcio (%) (Calcium)	0,780	0,780	0,780	0,780	0,780	0,780	0,780	0,780
Sódio (%) (Sodium)	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157
Lisina total (%) (Total lysine)	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980
Metionina (%) (Methionine)	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287
Met. + cistina (%) (Methionine+cystine)	0,586	0,586	0,586	0,586	0,586	0,586	0,586	0,586
Treonina (%) (Threonine)	0,693	0,693	0,693	0,693	0,693	0,693	0,693	0,693
Triptofano (%) (Tryptophan)	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212

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 Composição calculada baseado em Rostagno et al. (2000).
 Calculated composition based on Rostagno et al. (2000).

Tabela 3 – Composição das rações experimentais na fase de terminação
Table 3 - Composition of experimental diets in the finishing phase

Ingredientes (Ingredients)	Rações experimentais (Experimental diets)							
	CONT	FBC	MBC	ST	SS	ROCHA	MIST	AcF
Farelo de soja(Soybean meal)	22,08	22,08	22,08	22,08	22,08	22,08	22,08	22,08
Milho (Corn)	74,40	74,40	74,40	74,40	74,40	74,40	74,40	74,40
L-lisina (L-Lysine HCl)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Óleo de soja(Soybean oil)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Sal (Salt)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
Mistura mineral ¹ (Mineral mix)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Mistura vitamínica ² (Vitamin mix)	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 (Limestone)	1,467	1,113	1,193	1,241	0,820	0,664	1,135	1,468
Fosfato bicálcico (Dicalcium phosphate)	-	0,58	-	-	-	-	-	-
Fosfato monobicálcico (Monocalcium phosphate)			0,535					
Superfosfato triplo (Triple superphosphate)	-	-		0,525	-	-	0,383	-
Superfosfato simples (Simple superphosphate)	-	-		-	1,43	-	-	-
Fosfato rocha Catalão (Phosphate rock Catalão)	-	-		-	-	0,85	0,177	-
Ácido fosfórico (Phosphoric acid)	-	-		-	-	-	0,030	0,465
Areia lavada (Washed sand)	0,783	0,557	0,522	0,484	-	0,736	0,525	0,317
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
Composição calculada(Calculated composition)								
Energia digestível kcal/kg (Digestible energy)	3401	3401	3401	3401	3401	3401	3401	3401
Proteína (%) (Crude protein)	16,50	16,50	16,502	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50
Fósforo total (%) (Total phosphorus)	0,310	0,420	0,420	0,420	0,420	0,420	0,420	0,420
Cálcio (%) (Calcium)	0,651	0,651	0,651	0,651	0,651	0,651	0,651	0,651
Sódio (%) (Sodium)	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160
Lisina total (%) (Total lysine)	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840
Metionina (%) (Methionine)	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270
Met. + cistina (%) (Methionine+cystine)	0,556	0,556	0,556	0,556	0,556	0,556	0,556	0,556
Treonina (%) (Threonine)	0,639	0,639	0,639	0,639	0,639	0,639	0,639	0,639
Triptofano (%) (Tryptophan)	0,188	0,188	0,188	0,188	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 Composição calculada baseado em Rostagno et al. (2000).
Calculated composition based on Rostagno et al. (2000).

Os teores de fosfatase alcalina, fósforo e cálcio foram analisados no Laboratório de Bioquímica da Universidade Federal de Viçosa, utilizando *kits* comerciais.

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, para coletar a pata anterior direita, pesagem do fígado, rins e da carcaça e coleta de fragmento, com aproximadamente 1 cm de comprimento, da sexta costela a cerca de 10 cm abaixo da articulação costovertebral, para análise histológica. Foram coletadas e congeladas amostras de aproximadamente 150 gramas do fígado (lóbulo direito) e do músculo longo dorsal (altura da primeira vértebra lombar), para análise de minerais.

Os fragmentos da costela dos suínos foram lavados 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 μ m de espessura, sendo os cortes corados em hematoxilina e eosina. As análises morfométricas realizadas por intermédio de microscópio, com aumento de 40 vezes, acoplado ao analisador de imagem “Image-Pro Plus 1.3.2” (1994).

As patas dos suínos foram colocadas em uma panela de alumínio, envoltas em papel-alumínio, e fervidas para amolecer a pele e a carne que envolve os ossos; após serem descarnadas, foram lavadas em água fria e com auxílio de escova, foram retirados os resíduos de carne e a cartilagem proximal. Do terceiro metacarpiano do membro anterior, de um animal por baia, foram medidos o comprimento e diâmetro, com auxílio de paquímetro, sendo logo pesados e submetidos 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 serem quebrados, os ossos foram desengordurados em extrator Soxhlet e levados à estufa ventilada a 55°C por um período de 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 magnésio dos ossos, por espectrofotometria de absorção atômica; e o 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.

Após serem cortados em pequenos pedaços, os fígados e os músculos foram levados à estufa ventilada a 55°C por um período de 72 horas e, em seguida, triturados em moinho de bola. Pesou-se um grama de amostra seca, que foi colocado em tubo de digestão, adicionando 25 ml de solução nitro-perclórica; os tubos foram levados para o bloco digestor, subindo a temperatura lentamente até 160 °C, até que a amostra ficasse incolor, completando o volume para 25 ml com água destilada. A determinação dos teores de minerais foi feita por espectrofotometria de absorção atômica, e a do fósforo, por colorimetria, no Laboratório de Solos Florestais do Departamento de Solos da UFV.

Para estudo histológico do osso da costela, foram feitas 140 observações por tratamento em 20 pontos distintos da superfície do osso cortical, a fim de determinar a espessura do periósteo, que compreende desde o tecido muscular até a superfície da camada compacta, e a largura da camada compacta, que vai da superfície periosteal até o osso trabecular (Figura 1).

A porosidade foi determinada medindo-se aleatoriamente cinco áreas na camada compacta; nestas, foram determinadas áreas ocupadas pelos canais de Havers e pelas zonas desmineralizadas. Em seguida, estabeleceu-se que:

A análise estatística dos parâmetros estudados no experimento foi realizada de acordo com o programa Statistical Analysis System (SAS), versão 6.12 (1996); a comparação das médias foi feita pelo teste Student-Newman-Keuls.

$$\text{Porosidade} = \frac{\text{Áreas desmineralizadas ocupadas pelos canais de Havers (mm)} \times 100}{\text{Área total (mm)}}$$

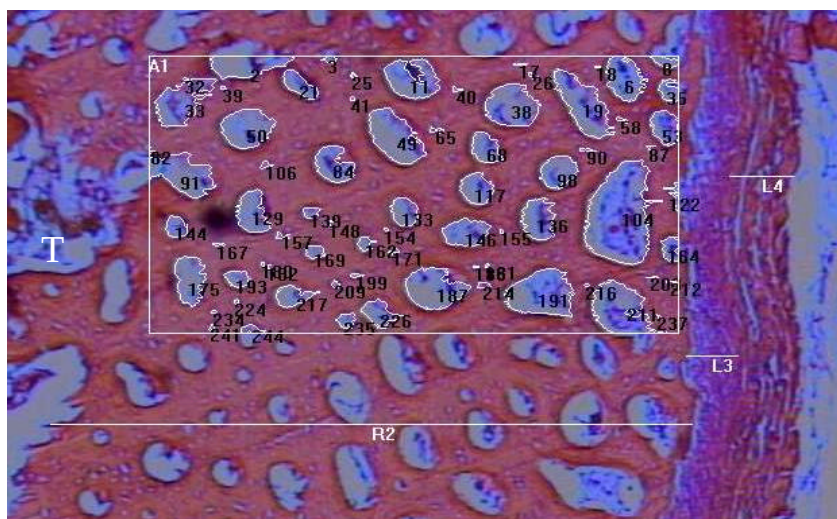


Figura 1 – Corte transversal da costela de suínos com peso médio de 90 kg. Detalhe: (**L₄**) tecido muscular; (**L₃**) periósteo; (**T**) osso esponjoso e (**R₂**) camada compacta na qual se encontra destacada uma área (**A₁**) e as zonas desmineralizadas e os canais de Havers (**números**). Aumento: 40 X, Coloração: HE.

Figure 1 – Slices of the rib bones of the swine with 90 kg of weight. Detail: (L₄) muscular tissue; L₃: periosteal; (T) bony spongy and (R₂) layer compacts in which marked an area (A₁) and section without mineral to the channels of Havers (numbers). Increase: 40 X. Coloration: HE.

Resultados e Discussão

Os dados de ganho de peso médio diário (GPD), consumo de ração médio diário (CMD) e conversão alimentar (CA) de suínos alimentados com ração contendo diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação e de acordo com o sexo, são apresentados na Tabela 4.

Não houve interação ($P > 0,05$) entre tratamentos e sexo. Os machos tiveram maior ($P < 0,05$) GPD e CMD e melhor ($P < 0,05$) conversão alimentar, em todos os períodos.

Houve efeito dos tratamentos ($P < 0,05$) sobre os parâmetros em todos os períodos. Animais que consumiram a dieta CONT tiveram menor ($P < 0,05$) GPD e CMD e pior ($P < 0,05$) CA do que aqueles que consumiram as outras dietas.

Tabela 4 – Ganho de peso diário (GPD), consumo médio diário (CMD) e conversão alimentar (CA) de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo nas fases de crescimento e terminação, de acordo com o sexo (M = macho; F = fêmea; X = média)

Table 4 – Daily weight gain (WGD), daily feed intake (DFI) and feed/gain ratio (F/G) of swine fed with different phosphates sources in the growing and finishing phase, according to sex (M = male; F = female; X = mean)

Parâmetros (Parameters)	Sexo (Sex)	Tratamentos (Treatments) ²								CV (%)
		CONT	FBC	MBC	ST	SS	ROCHA	MIST	AcF	
GPD - 30 a 60 kg	Macho(M)	0,670	0,895	0,928	0,991	0,845	0,838	0,891	0,991	9,41
DWG - 30 to 60 kg	Fêmea (F)	0,548	0,703	0,793	0,753	0,765	0,766	0,824	0,715	
	Médias(X)	0,609b	0,799a	0,860a	0,872a	0,805a	0,802a	0,858a	0,853a	
GPD - 60 a 90 kg	Macho(M)	0,779	1,044	1,046	1,013	0,941	0,922	1,029	1,091	12,94
DWG - 60 to 90 kg	Fêmea (F)	0,660	0,925	0,987	0,886	0,861	0,751	0,788	0,823	
	Médias(X)	0,719b	0,985a	1,016a	0,949a	0,901a	0,836ab	0,908a	0,957a	
GPD - 30 a 90 kg	Macho(M)	0,724	0,968	0,986	1,001	0,892	0,879	0,962	1,041	9,77
DWG - 30 to 90 kg	Fêmea (F)	0,599	0,812	0,894	0,817	0,819	0,753	0,809	0,766	
	Médias(X)	0,662b	0,890a	0,940a	0,909a	0,855a	0,816a	0,885a	0,904a	
CMD - 30 a 60 kg	Macho(M)	1,747	2,117	2,145	2,166	2,024	2,004	2,117	2,291	10,07
DFI - 30 to 60 kg	Fêmea (F)	1,578	1,721	1,767	1,743	1,865	1,818	1,854	1,803	
	Médias(X)	1,663b	1,919a	1,956a	1,954a	1,945a	1,911a	1,985a	2,047a	
CMD - 60 a 90 kg	Macho(M)	2,415	3,118	3,161	3,212	2,863	2,810	3,173	3,225	11,83
DFI - 60 to 90 kg	Fêmea (F)	1,767	2,321	2,254	2,012	2,288	2,136	2,185	2,165	
	Médias(X)	2,091b	2,720a	2,707a	2,612a	2,576a	2,473a	2,679a	2,695a	
CMD - 30 a 90 kg	Macho(M)	2,081	2,617	2,653	2,689	2,443	2,387	2,645	2,758	9,32
DFI - 30 to 90 kg	Fêmea (F)	1,673	2,021	2,011	1,877	2,077	1,930	2,019	1,984	
	Médias(X)	1,877b	2,319a	2,332a	2,283a	2,260a	2,159a	2,332a	2,371a	
CA - 30 a 60 kg	Macho(M)	2,61	2,37	2,31	2,19	2,40	2,39	2,38	2,31	8,40
F/G - 30 to 60 kg	Fêmea (F)	2,88	2,45	2,23	2,31	2,44	2,37	2,25	2,52	
	Médias(X)	2,73a	2,40b	2,27b	2,24b	2,42b	2,38b	2,31b	2,40b	
CA - 60 a 90 kg	Macho(M)	3,10	2,99	3,02	3,17	3,04	3,05	3,08	2,96	12,50
F/G - 60 to 90 kg	Fêmea (F)	2,68	2,51	2,28	2,27	2,66	2,84	2,77	2,63	
	Médias(X)	2,91	2,76	2,66	2,75	2,86	2,96	2,95	2,82	
CA - 30 a 90 kg	Macho(M)	2,87	2,70	2,69	2,69	2,74	2,72	2,75	2,65	7,72
F/G - 30 to 90 kg	Fêmea (F)	2,79	2,49	2,25	2,30	2,54	2,56	2,50	2,59	
	Médias(X)	2,84a	2,61ab	2,48b	2,51ab	2,64ab	2,67a	2,64ab	2,62ab	

¹ (P<0,05) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

¹ (P<0.05) Means followed by different letters in a line are different by Student-Newman-Keuls test.

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; ROCHA: fosfato de rocha Catalão; MIST: mistura de fontes; AcF: ácido fosfórico.

² CONT: control diet; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monodocalcium phosphate; ST: triple superphosphate; SS: simple superphosphate; ROCHA: phosphate Catalão rock; MIST: source mixture; AcF: phosphoric acid.

As relações extremas de Ca:P, como ocorreu nos animais que receberam a dieta CONT, prejudicaram o desempenho dos leitões em crescimento e terminação, estando de acordo com os dados de Doige et al. (1975), os quais observaram também que as variações foram mínimas quando o baixo nível de cálcio e de fósforo era acompanhado da relação Ca:P, próxima de 1,25:1.

Segundo Doige et al. (1975), teores baixo de cálcio e alto de fósforo resultam na redução da massa do osso, no aumento do número de osteoclastos e na reposição de fibras do osso. Em animais alimentados com alto teor de cálcio e baixo de fósforo ocorreram hipofosfatemia, redução das cinzas dos ossos e supercrescimento das camadas epifisárias.

Os animais que consumiram fosfato de rocha na fase de crescimento provavelmente utilizam suas reservas de fósforo dos ossos para manter a homeostase do P. No entanto, na fase de terminação, como as reservas de P dos ossos estavam baixa e a biodisponibilidade do fósforo no ROCHA é baixa, observou-se tendência ($P>0,05$) de redução do GPD.

Gomes et al. (1985) não encontraram diferenças no CMD e GPD ao fornecerem fosfato bicálcico, fosfato de Patos de Minas, fosfato de Araxá e fosfato natural de Goiás para suínos nas fases de crescimento e terminação, porém foi observada melhor conversão alimentar para animais que consumiram o fosfato bicálcico. Barbosa et al. (1991a), trabalhando com suínos de 22,5 kg em média, observaram que até 300 mg/kg de flúor na dieta, proveniente do fosfato de Patos de Minas, não influenciou o GPD, CMD e CA. Furtado (1991), trabalhando com suínos de 23,3 kg de peso, não observou diferença para CMD, GPD e CA entre os tratamentos contendo os superfosfatos triplo, monoamônico e de Patos de Minas.

Medeiros (1999) encontrou menor ganho de peso nos animais que consumiram ST, em relação aos que consumiram FBC, e no tratamento contendo 20% de fosfato de Patos de Minas na fase de terminação. Conforme o autor, o resultado se deveu a fatores não identificados, que prejudicaram a eficiência alimentar evidenciada pela menor conversão alimentar dos animais que consumiram ST.

Sinais de deficiência de fósforo, como incoordenação motora e dificuldade de locomoção, foram observados nos animais que não receberam fontes suplementares de P, o que difere dos resultados de Bellaver et al. (1991), os quais encontraram incoordenação motora nos animais que receberam excesso de flúor.

Os resultados de pesos absoluto e relativo do fígado e dos rins e de rendimento de carcaça de suínos que receberam diferentes fontes de fósforo nas fases de crescimento e terminação são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Pesos absolutos (g) e relativos (% da carcaça) de fígado e rins e rendimento de carcaça de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação
Table 5 – Absolute (g) and relative (% of carcass) weights of liver and kidney, and carcass yield (%) of swine fed with different phosphates source in the growing and finishing phase

Parâmetros (Parameters)	Tratamentos (Treatments) ²								CV (%)
	CONT	FBC	MBC	ST	SS	ROCHA	MIST	AcF	
Fígado (kg) (Liver)	1,57	1,68	1,80	1,73	1,80	1,79	1,63	1,76	19,50
Rim (kg) (Kidney)	0,345	0,313	0,348	0,322	0,357	0,317	0,329	0,308	11,86
Relativo fígado (%) (Relative liver)	1,93	1,87	1,89	1,83	1,96	1,97	1,71	1,87	18,04
Relativo rim (%) (Relative kidneys)	0,424a	0,347b	0,364b	0,339b	0,388ab	0,348b	0,348b	0,329b	11,88
Rendimento carcaça (%) (carcass yield)	78,49	77,21	77,77	77,72	78,95	78,92	79,49	78,34	3,48

¹ (P<0,05) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

¹ (P<0.05) Means followed by different letters in a line are different by Student-Newman-Keuls test.

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; ROCHA: fosfato de rocha Catalão; MIST: mistura de fontes; e AcF: ácido fosfórico.

² CONT: control diet; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monocalcium phosphate; ST: triple. superphosphate; SS: simple superphosphate; ROCHA: phosphate Catalão rock; MIST: source mixture; AcF: phosphoric acid.

Não houve interação (P>0,05) entre tratamentos e sexo. Os machos tiveram maior (P<0,05) peso absoluto do fígado e dos rins, peso relativo dos rins e rendimento de carcaça.

As dietas experimentais não influenciaram (P>0,05) o peso absoluto do fígado e dos rins, peso relativo do fígado e rendimento de carcaça. No entanto, as dietas influenciaram (P<0,05) o peso relativo dos rins, com os animais que

consumiram a dieta CONT apresentando maior peso relativo dos rins do que os outros tratamentos, embora não tenha variado ($P>0,05$) em relação ao SS. Esse aumento do peso relativo dos rins pode estar relacionado ao excesso de cálcio provocado pelo aumento da relação Ca:P na dieta CONT.

Os teores de cálcio (Ca), fósforo (P) e fosfatase alcalina (FA) do soro sangüíneo de suínos aos 60 e 90 kg de peso, em função das dietas experimentais, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Efeito de diferentes fontes de fósforo 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 6 – Effect of different phosphorus sources into the content of alkaline phosphatase (FA), phosphorus (P) and calcium (Ca), of the blood serum of swine with 60 and 90 kg of weight

Parâmetros (Parameters)	Tratamentos (Treatments) ²								CV (%)
	CONT	FBC	MBC	ST	SS	ROCHA	MIST	AcF	
FA - 60 kg (UI)	553 ab	443 bc	409 c	531 ab	540 ab	532 ab	612 a	399 c	16,7
FA - 90kg (UI)	567 a	439 b	405 b	453 b	466 ab	481 ab	469 ab	361b	16.27
P - 60kg (mg/dl)	5,52 c	9,35 ab	8,81 b	9,88 ab	10,27 a	9,87 ab	9,92 ab	9,96 ab	8,91
P - 90kg (mg/dl)	6,07 c	8,39 b	8,74 ab	9,74 a	9,66 ab	9,48 ab	9,99 a	9,09 ab	9,04
Ca - 60kg (mg/dl)	14,26 a	12,94 b	12,89 b	12,89 b	13,25 ab	12,77 b	13,17 ab	13,17 ab	6,24
Ca - 90kg (mg/dl)	14,91 a	13,82 b	13,40 b	13,57 b	13,66 b	13,73 b	13,41 b	13,87 b	3,68

¹ ($P<0,05$) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

¹ ($P<0.05$) Means followed by different letters in a line are different by Student-Newman-Keuls test.

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; ROCHA: fosfato de rocha Catalão; MIST: mistura de fontes; e AcF: ácido fosfórico

² CONT: control diet; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monodicalcium phosphate; ST: triple superphosphate; SS: simple superphosphate; ROCHA: phosphate Catalão rock; MIST: source mixture; AcF: phosphoric acid.

Não houve interação ($P>0,05$) entre tratamentos e sexo. Os machos apresentaram maior ($P<0,05$) atividade da fosfatase alcalina, maior teor de cálcio aos 60 e 90 kg de peso e maior teor de fósforo no soro sangüíneo aos 60 kg de peso.

As fontes de fósforo influenciaram ($P<0,05$) todos os parâmetros sangüíneos. A atividade da fosfatase alcalina dos animais aos 60 kg de peso, que consumiram dieta MIST, foi maior do que a daqueles que consumiram MBC e AcF, as quais tiveram o menor valor ($P<0,05$) entre as dietas experimentais. A FA dos animais aos 90 kg de peso foi maior para os animais que consumiram a

dieta CONT e menor para aqueles que consumiram FBC, MBC, ST e AcF, sendo semelhante nos demais tratamentos.

O teor de P no soro sangüíneo, dos animais aos 60 kg de peso, foi maior ($P<0,05$) nos animais que consumiram dieta contendo SS, não diferindo daqueles que consumiram as dietas FBC, ST, ROCHA, MIST e AcF. O menor valor ($P<0,05$) obtido foi com os animais que consumiram CONT, seguida por MBC. Nos animais aos 90 kg de peso, o teor de P no soro foi maior ($P<0,05$) naqueles que consumiram as dietas ST, SS e MIST, não diferindo daqueles que consumiram as dietas MBC, ROCHA e AcF; o menor valor ($P<0,05$) foi obtido para aqueles animais que consumiram CONT, seguido pelo FBC.

O teor de Ca no soro sangüíneo dos animais aos 60 kg de peso foi maior ($P<0,05$) nos animais que consumiram dieta CONT, não diferindo daqueles que consumiram as dietas SS, MIST e AcF; o menor valor ($P<0,05$) foi obtido com aqueles animais que consumiram FBC, MBC, ST e ROCHA. Nos animais aos 90 kg de peso, o teor de Ca no soro foi maior ($P<0,05$) naqueles que consumiram dieta CONT, sendo os valores dos demais tratamentos semelhantes entre si ($P>0,05$).

Analisando os dados, observa-se que o *turnover* ósseo é refletido no sangue, com alterações dos níveis de enzimas, minerais e outras substâncias envolvidas na aposição e reabsorção óssea. A dosagem da fosfatase alcalina em suínos gera controvérsias. 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, porém a sua medida apresenta grande vantagem sobre outros métodos, por ser econômica, pois dispensa abate. 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.

De acordo com Veloso (1991), o mecanismo de ação da fosfatase inicia-se com baixos níveis de cálcio e fósforo na dieta, que determinam baixos níveis sangüíneos. Segue-se então o processo de reabsorção óssea. Concomitantemente, há necessidade de recomposição óssea, que estimula a atividade dos osteoblastos.

O aumento da atividade dos osteoblastos implica aumento da secreção de fosfatase alcalina, que, por sua vez, atua no sentido de aumentar a concentração de fósforo inorgânico adjacente à região óssea afetada e estimula o tecido colágeno a depositar cálcio.

Viperman Jr. et al. (1974) destacaram aumento na utilização de fósforo a partir de baixos níveis dietéticos de fósforo e de cálcio, confirmando registros anteriores, de que a relação Ca:P se torna mais crítica quando baixos níveis de fósforo da dieta são fornecidos. Esse comportamento, segundo Reinhart & Mahan (1986), é também observado no soro sanguíneo, em que a concentração de fósforo apresenta-se menor com o aumento da relação Ca:P, sendo a resposta mais pronunciada em dietas com baixo nível de fósforo. Entretanto, os resultados de Ketaren et al. (1993) indicaram pequeno ou nenhum impacto da relação Ca:P disponível no desempenho de suínos na fase de crescimento (20-50 kg), nas características de carcaça ou nos parâmetros ósseos, para as relações Ca:P que variam de 1,7 a 2,5:1; todavia, a relação de 2,9:1 diminuiu numericamente o ganho de peso e aumentou significativamente a conversão alimentar.

Segundo Vitti (2000), os valores do fósforo plasmático podem ser considerados como parâmetros para medir o *status* de fósforo do animal. Contudo, deve-se ter cautela na interpretação de dados do fósforo no plasma: nem sempre os níveis plasmáticos de fósforo refletem o estado nutricional do animal em relação a este elemento.

Quando o fósforo na dieta não for fator limitante, o fósforo inorgânico no plasma pode estar em faixa normal ou acima dela. Em períodos longos de seca, em que há deficiência de fósforo e proteínas, e com redução do consumo de alimentos, os animais perdem peso e há reabsorção óssea, resultando na elevação do fósforo plasmático, apesar de os animais estarem deficientes em fósforo (Bortolussi et al., 1988).

A infusão intravenosa de cálcio também eleva o aumento no fósforo do plasma, devido à maior retenção e absorção intestinal deste elemento (Rajarante et al., 1994). O jejum prolongado e a excitação do animal podem provocar aumento na concentração do fósforo plasmático (Dayrell et al., 1973).

Koch & Mahan (1986) e Engstrom et al. (1985) encontraram efeito linear na concentração de fósforo no soro sanguíneo de suínos em terminação alimentados com níveis crescentes de fósforo. Verificaram ainda que a hipofosfatemia se instalou nos leitões alimentados com as rações deficientes em fósforo, atingindo o valor mínimo de fósforo, em torno de 34 a 41 dias de restrição do mineral, como consequência da depleção das reservas lábeis do elemento nos tecidos de reserva de fósforo no animal.

O comprimento, o peso, o diâmetro e a resistência do osso terceiro metacárpio de suínos alimentados com diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação, encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Comprimento, peso, diâmetro e resistência do osso de suínos alimentados com diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação

Table 7 – Length, weigh, diameter and breaking strength of the bone of swine fed from different phosphates sources in the growing and finishing phase

Parâmetros (Parameters)	Tratamentos (Treatments) ²								CV (%)
	CONT	FBC	MBC	ST	SS	ROCHA	MIST	AcF	
Comprimento (cm) (Length)	6,78	7,21	7,15	6,85	7,03	6,87	7,14	6,99	4,59
Peso (g) (Weigh)	15,86b	19,71a	20,00a	19,57a	21,14a	19,43a	21,71a	19,85a	8,76
Diâmetro (cm) (Diameter)	1,30	1,40	1,42	1,41	1,42	1,37	1,42	1,40	6,19
Resistência (N) ³ (Breaking strength)	768b	946a	935a	944a	944a	919a	933a	939a	3,06

¹ (P<0,05) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

¹ (P<0,05) Means followed by different letters in a line are different by Student-Newman-Keuls test

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; ROCHA: fosfato de rocha Catalão; MIST: mistura de fontes; e AcF: ácido fosfórico

² CONT: control diet; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monocalcium phosphate; ST: triple superphosphate; SS: simple superphosphate; ROCHA: phosphate Catalão rock; MIST: source mixture; AcF: phosphoric acid.

Não houve interação (P>0,05) entre tratamentos e sexo. Também não foram observadas diferenças (P>0,05) entre macho e fêmea em todos os parâmetros estudados.

As dietas experimentais não influenciaram ($P>0,05$) o comprimento e diâmetro do terceiro metacárpio de suínos, porém influenciaram ($P<0,05$) o peso e a resistência óssea: animais que consumiram dieta CONT apresentaram o menor valor.

Segundo Barbosa et al. (1991b), o fosfato de Patos de Minas, quando combinado com o fosfato monoamônico na proporção de 80:20, proporcionou aos suínos desempenho similar ao daqueles que receberam FBC, não afetando ainda a resistência e o teor de cinza dos ossos. Kick et al. (1993), citados por Mores et al. (1999), fornecendo rações para suínos em crescimento e terminação com aproximadamente 0,03% de flúor derivado do fosfato de rocha ou do fluoreto de sódio, constataram aumento no diâmetro e na espessura da parede do fêmur.

Os teores de gordura, cinza, cálcio, fósforo, magnésio e flúor do terceiro metacárpio de suínos alimentados com diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação, estão apresentados na Tabela 8.

Não houve interação ($P>0,05$) entre tratamentos e sexo. Também não foi observado diferenças ($P>0,05$) entre macho e fêmea, nos parâmetros estudados.

As dietas experimentais não influenciaram ($P>0,05$) a porcentagem de gordura no osso dos animais, porém influenciaram ($P<0,05$) os teores de cinza, fósforo, cálcio, magnésio e flúor do osso. O teor de cinzas na matéria seca (ASE) foi menor ($P<0,05$) no osso dos animais que consumiram dieta CONT e FBC; os teores de cinza ASE para ROCHA e MIST foram intermediários ($P>0,05$) e semelhantes entre si, sendo o maior valor obtido quando se utilizaram o MBC, ST, SS e AcF.

O teor de P foi menor ($P<0,05$) no osso dos animais que consumiram dieta CONT; os teores de P para MBC, SS, ROCHA e AcF foram intermediários ($P>0,05$) e semelhantes entre si, sendo o maior valor obtido quando se utilizaram ST e MIST. O teor de Ca foi menor ($P<0,05$) no osso dos animais que consumiram dieta CONT, e os teores de Ca para MBC e AcF foram intermediários ($P>0,05$) e semelhantes entre si, sendo o maior valor obtido quando foram utilizados os demais tratamentos.

Tabela 8 – Porcentagens de gordura, cinza, cálcio, fósforo, magnésio e flúor do osso de suínos alimentados com diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação

Table 8 – Fat, ash, calcium, phosphorus, magnesium and fluorine percentage of the bone of swine fed with different phosphates sources in the growing and finishing phase

Parâmetros (Parameters)	Tratamentos (Treatments) ²								CV (%)
	CONT	FBC	MBC	ST	SS	ROCHA	MIST	AcF	
Gordura (%) (fat)	16,94	17,89	14,61	13,44	16,80	18,78	18,38	16,30	21,96
Cinza ASA (%) (Ash)	52,45 a	52,43 a	49,47 a	49,52 a	49,84 a	51,75 a	51,20 a	49,94 a	3,54
Cinza ASE (%) (Ash)	55,22 a	54,98 a	54,13 b	51,12 b	52,05 b	54,13 ab	53,02 ab	52,21b	3,58
Fósforo (%) (Phosphorus)	10,36 b	11,77 a	11,03 ab	11,77 a	11,41 ab	11,40 ab	11,87 a	10,71 ab	6,40
Cálcio (%) (Calcium)	16,48 b	19,60 a	17,94 ab	18,79 a	18,82 a	19,07 a	18,99 a	17,85 ab	6,17
Magnésio (%) (Magnesium)	2,11 c	2,85 b	2,77 b	3,28 a	3,53 a	3,54 a	3,44 a	2,78 b	11,19
Flúor (%) (Fluorine)	0,249 c	0,514 c	0,366 c	3,85 a	3,33 ab	3,58 ab	2,99 b	0,564 c	24,40

¹(P<0,05) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

¹(P<0.05) Means followed by different letters in a line are different by Student-Newman-Keuls test

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; ROCHA: fosfato de rocha Catalão; MIST: mistura de fontes; e AcF: ácido fosfórico

² CONT: control diet; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monodicalcium phosphate; ST: triple superphosphate; SS: simple superphosphate; ROCHA: phosphate Catalão rock; MIST: source mixture; AcF: phosphoric acid.

Com relação ao magnésio no osso, o menor valor (P<0,05) foi obtido para aqueles animais que consumiram CONT, diferindo (P<0,05) daqueles que consumiram dieta contendo FBC, MBC e AcF; os maiores valores (P<0,05) foram obtidos para aqueles animais que consumiram dieta contendo ST, SS, ROCHA e MIST. Analisando os dados, observa-se que a deposição de magnésio no osso de suínos parece ser dependente da quantidade desse mineral na dieta.

Com relação ao flúor no osso, o menor valor (P<0,05) foi obtido para aqueles animais que consumiram dieta contendo CONT, FBC, MBC e AcF, diferindo (P<0,05) daqueles que consumiram as dietas MIST, ST, SS e ROCHA. Esses resultados se devem ao efeito cumulativo desse elemento, estando em consonância ao achados de Medeiros (1999), Couto (1987), Furtado (1991) e Veloso et al. (1996), os quais verificaram que a porcentagem de flúor nos ossos é dependente da quantidade de flúor na dieta.

Veloso et al. (1996) concluíram que os fosfatos monoamônico e triplo podem ser usados com segurança e que o superfosfato simples e o Patos de Minas não devem ser utilizados para suínos, adotando como parâmetro a deposição do flúor nos ossos. Cavalcante et al. (1996), avaliando as mesmas dietas, observaram maior deposição de flúor no músculo de suínos alimentados com dietas contendo fosfato de Patos de Minas, seguido dos fosfatos menos elaborados (SS e ST) e dos fosfatos elaborados (fosfatos monoamônico e FBC).

Segundo Suttie (1984), a maioria dos dados usados para estabelecer os níveis de tolerância de flúor para os animais domésticos foi obtida em experimentos em que a fonte de flúor na ração foi o fluoreto de sódio. No entanto, tem-se verificado que a forma do flúor encontrada no fosfato de rocha é predominantemente de fluoreto de cálcio, consideravelmente menos disponível, para os animais, do que as formas mais solúveis (Lima, 1995). Barbosa et al. (1991c) verificaram que níveis de até 300 mg/kg de flúor, proveniente de fosfato de Patos de Minas, não provocaram efeitos depressivos no desempenho e nas características ósseas de suínos em crescimento e terminação.

A espessura do perióstio, a largura e a porosidade da camada compacta do osso da costela de suínos alimentados com diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação, são apresentadas na Tabela 9.

Não houve interação ($P>0,05$) entre as fontes de fósforo e sexo; também não foi observado efeito do sexo nos parâmetros analisados. As dietas experimentais influenciaram ($P<0,05$) a espessura do perióstio, a largura e a porosidade da camada compacta do osso.

A espessura do perióstio foi maior ($P<0,05$) no osso dos animais que consumiram a dieta ST, sendo similar ($P>0,05$) à dos animais das dietas CONT, FBC, MBC, SS, ROCHA e AcF; o menor valor ($P<0,05$) foi observado nos animais que consumiram MIST. Com relação à espessura da camada compacta do osso, o menor valor ($P<0,05$) foi obtido para aqueles animais que consumiram CONT, diferindo ($P<0,05$) daqueles que consumiram as dietas FBC, MBC e AcF, seguidos ($P<0,05$) pelos animais das dietas SS, ST e ROCHA; a maior espessura ($P<0,05$) foi obtida para aqueles animais que consumiram MBC. A

Tabela 9 – Espessura do periósteo, largura e porosidade da camada compacta do osso da costela de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação

Table 9 – Periosteal thickness, width and porosity of the compact layer of the rib bone of swine fed from different phosphates source in the growing and finishing phase

Parâmetros (Parameters)	Tratamentos (Treatments)								CV (%)
	CONT	FBC	MBC	ST	SS	ROCHA	MIST	AcF	
Espessura do Periósteo (µm) (Periosteal thickness)	122,8ab	113,8ab	109,3ab	130,2a	92,41ab	103,4ab	89,06b	102,2ab	21,86
Largura da camada compacta (µm) (Compact layer width)	525,9d	821,9c	1352,5a	1011,2b	1089,9b	973,1b	783,8c	775,4c	12,98
Porosidade (%) (Porosity)	27,0a	12,1b	15,4b	13,3b	21,5ab	24,4ab	14,0b	12,2b	44,81

¹ (P<0,05) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

¹ (P<0.05) Means followed by different letters in a line are different by Student-Newman-Keuls test

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; ROCHA: fosfato de rocha Catalão; MIST: mistura de fontes; e AcF: ácido fosfórico

² CONT: diet control; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monodicalcium phosphate; ST: triple superphosphate; SS: simple superphosphate; ROCHA: phosphate Catalão rock; MIST: source mixture; AcF: phosphoric acid.

porosidade da camada compacta foi maior (P<0,05) no osso dos animais que consumiram a dieta CONT, que, por sua vez, foi similar (P>0,05) à das dietas SS e ROCHA. Os valores de porosidade da camada compacta dos animais das dietas MBC, MIST e ST foram semelhantes entre si.

Nos ossos dos animais que consumiram CONT foi observada, na camada cortical, necrose de alguns ósteons, com formação de grandes cavidades de reabsorção, contendo osteoclastos ativos, e desorganização do sistema de Havers no osso compacto, com camadas de osso osteônico intercaladas por camadas de osso trabécula, demonstrando irregularidade na formação do tecido ósseo.

Burnell et al. (1986), estudando o efeito do flúor sobre o tecido ósseo de suínos em crescimento e terminação, observaram alterações microscópicas a partir de 7 mg/kg de flúor na ração. Segundo os autores, a espessura da parede do osso responde quadraticamente ao nível de flúor na ração. Eles observaram que a quantidade de osteóide presente na superfície periosteal foi maior nos leitões que receberam maiores níveis de flúor, o que pode explicar o aumento na

espessura do osso.

De acordo com Mores et al. (1999), proles do quarto ciclo reprodutivo de porcas alimentadas com fosfato de Tapira apresentaram alterações ósseas de fluorose, e a utilização do fosfato monocálcico não provocou efeito deletério sobre o tecido ósseo, tanto nas porcas como nas proles, até o quarto ciclo reprodutivo.

Os valores de manganês, zinco, ferro, cobre, chumbo, níquel, cromo e cádmio no fígado de suínos nas fases de crescimento e terminação, em função das dietas experimentais, encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 – Efeito de diferentes fontes de fósforo sobre a deposição de manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu), chumbo (Pb), níquel (Ni), cromo (Cr) e cádmio (Cd) no fígado de suínos nas fases de crescimento e terminação

Table 10 - Effect of different phosphorus sources into the deposition of manganese (Mn), zinc (Zn), iron (Fe), copper (Cu), lead (Pb), nickel (Ni), chromium (Cr) and cadmium (Cd) in the swine livers in the growing and finishing phase

Parâmetros (Parameters)	Tratamentos (Treatments)								CV (%)
	CONT	FBC	MBC	ST	SS	ROCHA	MIST	AcF	
Mn (mg/kg)	7,11a	7,38a	6,87a	6,39a	6,01a	6,38a	5,83a	6,85a	13,85
Zn (mg/kg)	253,15a	198,10b	159,03b	190,97b	168,19b	193,49b	179,18b	159,55b	14,75
Fe (mg/kg)	398,8abc	435,4ab	272,3c	402,3abc	486,2a	436,8ab	299,4bc	487,4a	23,70
Cu (mg/kg)	16,37a	14,04ab	12,54b	13,73ab	13,02b	16,47a	12,06b	11,55b	15,70
Pb (mg/kg)	2,53a	1,78abc	1,58bc	1,76abc	1,43c	2,03abc	1,82abc	2,37ab	25,88
Ni (mg/kg)	0,040	0,052	0,114	0,027	0,00	0,00	0,00	0,056	356,4
Cr (mg/kg)	4,76	4,46	4,62	4,59	3,95	4,12	4,56	4,25	15,05
Cd (mg/kg)	0,214	0,240	0,200	0,323	0,215	0,294	0,366	0,251	55,26

¹(P<0,05) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

¹(P<0.05) Means followed by different letters in a line are different by Student-Newman-Keuls test

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; ROCHA: fosfato de rocha Catalão; MIST: mistura de fontes; e AcF: ácido fosfórico

² CONT: control diet; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monocalcium phosphate; ST: triple superphosphate; SS: simple superphosphate; ROCHA: phosphate Catalão rock; MIST: source mixture; AcF: phosphoric acid.

Não houve interação (P>0,05) entre as fontes de fósforo e sexo. Os machos tiveram menor (P<0,05) deposição de ferro no fígado.

As dietas experimentais não influenciaram ($P>0,05$) os teores de manganês, níquel, cromo e cádmio do fígado dos animais, porém influenciaram ($P<0,05$) os de zinco, ferro, cobre e chumbo. O teor de Zn foi maior ($P<0,05$) no fígado dos animais que consumiram dieta CONT e menor ($P<0,05$) no daqueles que consumiram os demais tratamentos.

O teor de Fe no fígado foi maior ($P<0,05$) nos animais que consumiram as dietas contendo SS e AcF, não diferindo daqueles que consumiram as dietas CONT, FBC, ST, ROCHA e MIST. O menor valor ($P<0,05$) foi observado nos animais que consumiram MBC. O acúmulo de cobre no fígado foi maior nos animais que consumiram CONT e ROCHA, não diferindo daqueles que consumiram FBC e ST. Os menores valores ($P<0,05$) ocorreram nos animais que consumiram MBC, SS, MIST e AcF.

O acúmulo de chumbo no fígado foi maior ($P<0,05$) nos animais que consumiram dieta contendo CONT, não diferindo ($P>0,05$) daqueles que consumiram dieta contendo FBC, MBC, ST, ROCHA, MIST e AcF; o menor valor ($P<0,05$) foi obtido no fígado dos animais que consumiram contendo SS.

O aumento na deposição de Zn, Cu e Pb no fígado dos animais que consumiram a dieta CONT pode ser devido ao fato de os animais mastigarem o cocho, as torneiras e os arames que fixavam o coxo, pois, em razão da deficiência de P no tratamento, os animais apresentaram sintomas de apetite depravado.

Apesar de não-significativo ($P>0,05$), o fígado dos animais que consumiram dietas contendo ST e MIST apresentou valores elevados de cádmio, sugerindo que os altos níveis de cádmio encontrados na composição do superfosfato triplo (Primeiro artigo) provavelmente estão sendo depositados no fígado dos suínos.

De acordo com o Plano Nacional de Controle de Resíduos Biológicos em Produtos de Origem Animal – (PNCRB), proposto por Brasil (1999), o fígado dos animais que consumiram as dietas CONT, ROCHA e AcF ultrapassou os limites de tolerância, que é de 2 mg/kg, para chumbo. Entretanto, o limite para o cádmio, que é de 1 mg, não foi ultrapassado por nenhum tratamento.

A deposição dos metais pesados no organismo animal não depende exclusivamente da concentração na fonte, mas também do equilíbrio metabólico dos demais minerais que são absorvidos pelo animal (NRC, 1980; NRC 1998). Assim, devido ao desequilíbrio no metabolismo mineral, pelo desbalanço ocasionado pelo fosfato de rocha ou ST, os mecanismos de absorção e excreção dos metais pesados ficam comprometidos, gerando maior acúmulo desses minerais.

Os valores de fósforo, cálcio, magnésio, manganês, zinco, ferro, cobre, chumbo, níquel, cromo e cádmio nos músculos de suínos nas fases de crescimento e terminação, em função das dietas experimentais, encontram-se na Tabela 11.

As dietas experimentais não influenciaram ($P>0,05$) os teores de fósforo, cálcio, magnésio e zinco do músculo dos animais, mas sim ($P<0,05$) os de ferro e cobre. O teor de Fe foi maior ($P<0,05$) no músculo dos animais que consumiram dieta ST, não diferindo ($P>0,05$) daqueles que consumiram as dietas CONT, FBC, MBC, SS, ROCHA e AcF; o menor valor ($P<0,05$) foi observado nos animais que consumiram a dieta MIST. O teor de cobre foi maior ($P<0,05$) no músculo dos animais que consumiram as dietas ST e MIST, não diferindo ($P>0,05$) daqueles que consumiram as dietas CONT, MBC, SS, ROCHA e AcF; foi observado menor valor ($P<0,05$) nos animais que consumiram FBC.

O músculo dos animais que consumiram dietas contendo ST e MIST apresentaram valores mais elevados de cobre, sugerindo que os altos níveis de cobre encontrados na composição do superfosfato triplo (Primeiro artigo), provavelmente, estão sendo depositados no músculo dos suínos.

De acordo com o Plano Nacional de Controle de Resíduos Biológicos em Produtos de Origem Animal – (PNCRB), proposto por Brasil (1999), nenhuma das amostras de músculo analisadas ultrapassou os limites de tolerância para Pb e Cd.

Lopes et al. (2000) e Oliveira et al. (2000), trabalhando com bovino de corte, concluíram que a mistura mineral que tem como base o superfosfato triplo produzido a partir da rocha de Tapira ou o fosfato bicálcico não oferece risco para a saúde humana ou animal, em relação à presença de metais pesados nas massas musculares.

Tabela 11 – Efeito de diferentes fontes de fósforo sobre a deposição de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), chumbo (Pb), níquel (Ni), manganês (Mn), cromo (Cr) e cádmio (Cd) no músculo de suínos, nas fases de crescimento e terminação

Table 11 – Effect of different phosphorus sources into the deposition of phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), lead (Pb), nickel (Ni), manganese (Mn), chromium (Cr) and cadmium (Cd) in the swine muscle in the growing and finishing phase

Parâmetros (Parameters)	Tratamentos (Treatments)								CV (%)
	CONT	FBC	MBC	ST	SS	ROCHA	MIST	AcF	
ASA (%)	29,84	30,96	29,66	29,53	29,38	30,12	29,15	29,23	
P (%)	0,891	0,862	0,922	0,906	0,863	0,881	0,930	0,912	5,44
Ca (mg/kg)	138,52	133,57	128,37	148,80	128,79	127,99	138,87	125,36	10,98
Mg (mg/kg)	872,71	862,79	879,82	876,27	852,30	868,16	862,92	878,95	3,06
Fe (mg/kg)	46,90ab	42,40ab	48,80ab	50,24a	47,56ab	48,93ab	41,07b	42,44ab	11,82
Zn (mg/kg)	57,94	59,95	61,39	63,72	59,70	62,75	66,02	61,85	8,70
Cu (mg/kg)	3,23ab	2,88b	3,13ab	3,36a	3,32ab	3,12ab	3,38a	2,97ab	8,80
Pb e Cd	< 0,01 mg/kg								
Ni, Mn e Cr	< 0,1 mg/kg								

¹ (P<0,05) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls.

¹ (P<0.05) Means followed by different letters in a line are different by Student-Newman-Keuls test.

² CONT: dieta controle; FBC: fosfato bicálcico; MBC: fosfato monobicálcico; ST: superfosfato triplo; SS: superfosfato simples; ROCHA: fosfato de rocha Catalão; MIST: mistura de fontes; e AcF: ácido fosfórico.

² CONT: control diet; FBC: dicalcium phosphate; MBC: monocalcium phosphate; ST: triple superphosphate; SS: simple superphosphate; ROCHA: phosphate Catalão rock; MIST: source mixture; AcF: phosphoric acid.

Observou-se neste trabalho que os metais pesados apresentam como locais de metabolismo e máxima deposição o fígado. Este órgão tem sua atividade aumentada nos processos fisiológicos mais intensos, como ganho de peso, atividade reprodutiva, gestação e condições de estresse. Nesse caso, o uso de fontes alternativas, ainda que com níveis aceitáveis desses metais, pode determinar maiores acúmulos nas vísceras dos animais e problemas na saúde ao consumidor.

Conclusão

A utilização de fontes alternativas de fósforo, com exceção de fontes orgânicas, maximiza o desempenho de suínos; entretanto, as fontes menos elaboradas, como fosfato de rocha, superfosfato triplo, superfosfato simples e mistura de fontes, influenciam negativamente os parâmetros sanguíneos e ósseos e a deposição de minerais e metais pesados no fígado e músculo dos suínos.

Referências Bibliográficas

- 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**. Séries técnicas, n.1. 1997.
- BALLIO, L.A.C. Distribuição de microelementos e metais pesados nas rochas nacionais. s.1., **Instituto Brasileiro do Fosfato**, 1986. 10p.
- BARBOSA, H.P. Desempenho produtivo e reprodutivo de suínos alimentados com fosfatos não convencionais. In: MINI-SIMPÓSIO DO COLÉGIO BRASILEIRO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 1991, Campinas. **Anais...** Campinas CBNA, 1991. p.97-120.
- BARBOSA, H.P., FIALHO, E.T., GOMES, P.C. et al. Disponibilidade biológica do fósforo de diferentes fontes para suínos em crescimento e terminação. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 28, João Pessoa, 1991. **Anais...** João Pessoa, 1991a, p.381.
- BARBOSA, H.P., FIALHO, E.T., GOMES, P.C. et al. Efeitos de diferentes combinações de fosfato de Patos de Minas e monoamônico para suínos em crescimento e terminação. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 28, João Pessoa, 1991. **Anais...** João Pessoa, 1991b, p.380.
- 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. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 28, João Pessoa, 1991. **Anais...** João Pessoa, 1991c, p.383.
- 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.
- BORTOLUSSI, G., TERNOUTH, J.H., McMENIMAN, N.P. Dietary nitrogen na phosphorus interaction in bos indicus cattle. **Proceedings of the Nutrition Society of Australia**, v.14, p.124. 1988.
- 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, p.396, 1983.

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Instrução Normativa N.º 3, de 22 de janeiro de 1999 reeditou o PNCRB, alterando as normas relativas ao controle de resíduos na carne. Jan. 1999.
- BURNELL T.W., PEO E.R., LEWIS A.J. & CRENSHAW J.D. Effect of dietary fluorine on growth, blood and bone characteristics of growing-finishing pigs **Journal of Animal Science**, v.63, p.2053-2067, 1986.
- 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 CBNA, 1991. p.35-52.
- CAVALCANTE, S.G., VELOSO, J.A.F., FERREIRA, W.M. et al. Avaliação química dos tecidos comestíveis de suínos alimentados com quatro fosfatos de rocha, REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33, Fortaleza, CE. **Anais...**Fortaleza: SBZ, v.1, p.163-164, 1996.
- COMAR, C.L., MONROE, R.A., VISEK, W.J., HANSARD, S.L. Comparison of two isotope methods for determination of endogenous fecal calcium. **Journal of Nutrition**, v.50, p.459-67, 1953.
- COUTO, O.B. **Biodisponibilidade do fósforo em concentrados de rochas fosfáticas e fluorose em animais de laboratório**. Belo Horizonte, MG: UFMG. 54p. Dissertação (Mestrado em Nutrição de Monogástrico) - Universidade Federal de Minas Gerais, 1987.
- DAYRELL, M.S., DOBEREINER, J., TOKARNIA, C.H. Deficiência de fósforo em bovinos na região de Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.8, p.105-114, 1973.
- 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 Animal Science**, v.55, 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 hidroxylase activities and plasma 1,25-hydroxyvitamin D₃ concentration. **Journal of Animal Science**, v.60, p.1005-1011, 1985.
- FARIA, S.R. **Determinação da biodisponibilidade de fósforo e a avaliação de desempenho de suínos em cinco fontes fosfatadas**. Belo Horizonte, MG: UFMG. 86p. Dissertação (Mestrado em Nutrição de Monogástrico) - Universidade Federal de Minas Gerais, 1995.

- 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 Animal Science**, v.58, p.313-317, 1978.
- FURTADO, M.A.O. **Determinação da biodisponibilidade de fósforo em suplementos de fósforo para aves e suínos**. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1991. 60p. Tese (Mestrado em Zootecnia).
- GOMES P.C. 1988. **Exigência nutricional de fósforo e sua disponibilidade em alguns alimentos para suínos de diferentes idades**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 163p.
- GOMES, P.C., BELLAYER, C., FIALHO, E.T. et al. Fontes alternativas de fósforo na alimentação de suínos em crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.14, n.2, p.241-246, 1985.
- GOMES, P.C., **Fontes não convencionais de fósforo para suínos e aves**. Circular Técnica – Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, n.17, 27p.1995.
- IMAGE - PRO PLUS 1.3.2. **The Proven Solution for Image Analysis**, Reference Guide, 1994.
- JUNQUEIRA, O. M. Metais pesados contaminam carne. **Avicultura & Suinocultura Industrial**, São Paulo, n. 3, p. 27-29, 1993.
- KETAREN, P. P., E. S. BATTERHAM, E. WHITE, D. J. FARRELL AND B. K. MILLTHORPE. Phosphorus studies in pigs. 1. Available phosphorus requirements of grower/finisher pigs. **British Journal of Nutrition**, v.70, p.249-268, 1993.
- 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, I.L. **Disponibilidade de fósforo e de flúor de alguns alimento e exigência nutricional de fósforo para frangos de corte**. Viçosa, MG: UFV. 121p. Tese (Doutorado em Nutrição de Monogástrico) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- LOBO, M.G.; SILVA, R.M. Produção de fertilizantes fosfatados. In: SIMPOSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília.. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 1984. p.73-102.

- 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}P como marcador. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.1, p.165-173, 2001.
- LOPES, H.O.S., PEREIRA, G., PEREIRA, E.A. Avaliação dos níveis de metais pesados e do flúor em amostras de fosfato bicálcico e superfosfato triplo para nutrição animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34, Juiz de Fora, MG, 1997. **Anais...** Juiz de Fora - MG, 1997, p.462-464.
- LOPES, H.O.S.; PEREIRA, L.G.R.; PEREIRA, E.A. et al. Avaliação dos níveis de flúor, metais pesados e outros minerais em tecidos de bovinos que receberam superfosfato triplo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA., 37., 2000, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000. CD ROM.
- MEDEIROS, S.L.S. **Desempenho de suínos em terminação suplementados com quatro fontes de fósforo disponível**. Belo Horizonte, MG: UFMG. 54p. Dissertação (Mestrado em Nutrição de Monogástrico) -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**. 1999.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on Animal Nutrition. Subcommittee on Mineral Toxicity in Animals. Washington, DC. **Mineral Tolerance of Domestic Animals**. Washington, National academy of Sciences, 1980. 577p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on Animal Nutrition. Subcommittee on Swine Nutrition. Nutrient requirements of swine. 9 ed. Washington: **National Academy of Science**, 1988. 64p.
- OLIVEIRA, A.L.; LOPES, H.O.S.; PEREIRA, E.A. et al. Avaliação de diferentes fontes de fósforo sobre os rendimentos ao abate e níveis de metais pesados em bovinos de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA., 37., 2000, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000. CD ROM.
- 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.
- PROCHÁZKA, Z., CUPÁK, M., JAMBOR, V. The utilization and distribution of phosphorus after peroral administration of P^{32} labelled phosphorus compound in pig. **Acta Veterinaria Brno**, v.41, p.263-270, 1972.

- RAJARANTE, A.A.J., SCOTT, D., BUCHAN, W. Effect of a change in phosphorus requirement on phosphorus kinetics in the sheep. **Research in Veterinary Science**, v.56, p. 262-264, 1994.
- REINHART, G.A., AND MAHAN, D.C. Effects of various calcium:phosphorus ratios at low and high dietary phosphorus for starter, grower and finisher swine. **Journal of Animal Science**, 63:457-466, 1986.
- ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T., DONZELE, J.L., GOMES, P.C., FERREIRA, A.S., OLIVEIRA, R.F., LOPES, D.C. **Tabelas brasileira para aves e suínos; composição de alimentos e exigências nutricionais**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37, Viçosa - MG, 2000. p.141.
- SAS INSTITUTE INC. 1996. **SAS System for Windows, release 6.12** Cary, NC, USA. 01 CD-ROM.
- SILVA, D.J. **Análise de Alimentos (Métodos químicos e biológicos)**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 165p, 1990.
- SUTTIE, J.W. Nutritional aspects fluoride toxicosis. **Journal of Animal Science**, v.51, n.3, p.738-743, 1984.
- VELOSO, J.A.F. **Perspectiva de uso dos fosfatos de rocha nacionais na alimentação animal**. Caderno técnico da Escola de Veterinária da UFMG 6. Belo Horizonte: Centro de Extensão da Escola de Veterinária da UFMG, p.55-84, 1991.
- VELOSO, J.A.F., CAVALCANTE, S.G., FERREIRA, W.M. et al. Avaliação química de ossos de suínos alimentados com quatro fosfatos de rocha, In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: SBZ, v.1, p.142-144, 1996.
- VIPPERMAN, P.E. JR., E.R., PEO, JR., CUNNINGHAM, P.J. Effect of dietary calcium and phosphorus level upon calcium, phosphorus and nitrogen balance in swine. **Journal of Animal Science**, v.38, p.758-765, 1974.
- VITTI, D.M.S.S. **Modelos biomatemáticos do metabolismo de fósforo em ovinos e caprinos**. Piracicaba, Tese (Livre Docente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2000. 149p.

3. CONCLUSÕES GERAIS

Foram conduzidos cinco experimentos, sendo três em nível de campo, envolvendo 168 animais, o que possibilitou as seguintes conclusões:

- Os fosfatos monobicálcico e bicálcico apresentaram granulometria próxima do ideal; juntamente com o ácido fosfórico, eles apresentaram baixo nível de contaminação por metais pesados.

- Os fosfatos monobicálcico, bicálcico, Tapira e o ácido fosfórico apresentam relação P:F superior aos 15:1, proposta pelo Ministério da Agricultura.

- Os superfosfatos triplos possuem variação na relação P:F e na composição de metais pesados, restringindo o seu uso na alimentação de suínos.

- A disponibilidade biológica do fósforo foi de 43,82; 89,44; 82,65; 76,90; 98,73; 90,03; e 63,26% para os tratamentos controle, fosfato bicálcico, fosfato monobicálcico, superfosfato triplo, superfosfato simples, ácido fosfórico e fosfato de rocha Catalão, respectivamente.

- O fígado e o rim são importantes no metabolismo do fósforo, e a utilização de dietas contendo baixo nível de fósforo e fonte orgânica deste mineral e ração suplementada com fosfato de rocha influenciou negativamente a taxa de mobilização, captação e retenção do fósforo nos tecidos.

- A utilização de fonte orgânica de fósforo e fosfato de rocha não forneceu P o suficiente para suprir as exigências nutricionais dos suínos, sendo o fluxo do fósforo dos tecidos moles e dos ossos mais intenso, para manter estável o P na corrente sangüínea. A utilização dos níveis de ácido fosfórico e superfosfato simples nas dietas sobrecarregou os rins, na eliminação do excedente de P pela urina.

- A substituição total e/ou parcial do fosfato bicálcico pelo monobicálcico não influencia o desempenho e os parâmetros sangüíneos dos suínos, porém reduz o teor de cinza, fósforo e cálcio dos ossos e aumenta a camada compacta e a relação camada compacta/periósteo dos ossos de suínos nas fases de crescimento e terminação.

- A utilização de fontes alternativas de fósforo, com exceção de fontes orgânicas, maximiza o desempenho de suínos, porém as fontes menos elaboradas, como fosfato de rocha, superfosfato triplo, superfosfato simples e mistura de fontes, influenciam negativamente os parâmetros sangüíneos e ósseos e a deposição de minerais e metais pesados no fígado e músculo dos suínos.

APÊNDICE

APÊNDICE

Quadro 1A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a fósforo consumido (FC), ao fósforo excretado nas fezes (EF), P endógeno fecal (PEF), P excretado urina (PEU), P absorvido (PA), P retido (PR), biodisponibilidade da ração (BR) e biodisponibilidade das fontes de fósforo (BF) obtidos com suínos na fase de crescimento, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios							
		FC	EF	PEF	PEU	PA	PR	BR	BF
Tratamento	6	6767,92**	816,733**	9,8157	89,2186**	5490,024**	4890,226**	332,5174**	1408,782**
Bloco	3	1762,97**	414,252	16,795	5,4645	654,8475*	501,1687	19,9660	18,7942
Resíduo	18	34,6942	227,125	8,067	5,8943	207,2311	293,6596	49,3720	139,7931
CV (%)		2,76	16,75	34,22	56,74	10,98	14,48	11,63	15,19

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 2 A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a concentração de fósforo nos tecidos (CFT), ^{32}P retido nos tecidos (PR), atividade específica padronizada (AEP) e atividade específica relativa (AER) obtidos com suínos na fase de crescimento, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios			
		CFT	PR	AEP	AER
Tratamento	6	15,0685**	0,00000931**	0,00534**	0,06078**
Rep. (Fontes)	14	3,0126	0,00000646**	0,00159	0,02521**
Tecido	4	19999,86**	0,00002367**	0,02240**	0,07116**
Tecidos * Fontes	24	9,12912**	0,00000063	0,000502	0,00170
Resíduo	56	2,14865	0,00000093	0,000906	0,00310
CV (%)		6,76	16,69	16,75	16,82

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 3A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a consumo de fósforo (F_{10}), P fecal (F_1), P urina (F_2), fezes (S_1), sangue (S_2), ossos (S_3), tecidos moles (S_4) e P no sangue (Q_2), obtidos com suínos na fase de crescimento, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios							
		F_{10}	F_{01}	F_{02}^1	S_1^1	S_2^1	S_3	S_4	Q_2
Tratamento	6	5,6308**	0,85074**	1,02683**	0,04293	0,01315*	0,00000095	0,00000243*	0,00006582
Bloco	2	12,1909**	2,60187**	0,01232	0,02052	0,13261**	0,00000381**	0,00000702**	0,010114**
Peso	1	1,3230**	0,27363	0,00057	0,07557	0,06977**	0,00000259*	0,00000247	0,002598**
Resíduo	11	0,10754	0,15724	0,05640	0,01828	0,00294	0,00000040	0,00000063	0,000120
CV (%)		4,90	14,07	-19,65	-4,80	-3,09	15,85	12,74	12,46

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

¹ Transformação logarítmica.

Quadro 4A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a fósforo nos ossos (Q_3), P nos tecidos moles (Q_4), P do sangue para trato gastrointestinal (F_{12}), P do trato gastrointestinal para sangue (F_{21}), P do sangue para osso (F_{32}), P do osso para sangue (F_{23}), P do sangue para tecidos moles (F_{42}), P dos tecidos moles para sangue (F_{24}), obtidos com suínos na fase de crescimento, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios							
		Q_3	Q_4	F_{12}	F_{21}	F_{32}	F_{23}	F_{42}	F_{24}
Tratamento	6	212,2923	16,15480	0,04314	4,35952**	3,99940*	6,62952**	0,786267	0,97836**
Bloco	2	2327,6176**	85,38725**	0,45540**	6,485040**	7,66938**	3,08947*	1,55615*	0,337164
Peso	1	875,40695**	48,13306*	0,00468	0,483895	4,68080*	5,719524*	2,66949*	0,68786*
Resíduo	11	70,03768	6,85448	0,03832	0,268488	0,82289	0,739420	0,32519	0,10426
CV (%)		8,74	4,90	29,02	11,39	22,99	55,94	29,70	55,81

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 5A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a ganho de peso diário (GP), consumo médio diário (CD) e conversão alimentar (CA) de suínos alimentados com ração contendo níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico, nos períodos de 30 a 60, 60 a 90 e de 30 a 90 kg de peso

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios								
		GP 30-60	GP 60-90	GP 30-90	CM 30-60	CM 60-90	CM 30-90	CA 30-60	CA 60-90	CA 30-90
Bloco	3	0,03752*	0,02006	0,02423*	0,20503**	0,215413	0,114300	0,11540	0,086052	0,04839
Sexo	1	0,16745**	0,13157*	0,14667**	1,02588**	5,10279**	2,67821**	0,00028	1,13436**	0,48769**
Sexo x Níveis	3	0,00547	0,009629	0,005795	0,01333	0,05519	0,02665	0,015952	0,11134	0,033219
Níveis	3	0,00393**	0,016311	0,00411	0,02858	0,34373	0,00605	0,03720	0,18849	0,04628
Linear	1	0,00415	0,01562	0,000934	0,68735	0,07687	0,0000562	0,002343	0,1090279	0,007897
Quadrática	1	0,008914	0,00196	0,00086	0,00311	0,030994	0,1347821	0,089805	0,113602	0,006815
Cúbica	1	0,00596	0,00425**	0,014578	0,009678	0,002402	0,000600	0,036769	0,403257*	0,146213*
COV= Peso inicial	1	0,061125*	0,11029**	0,09784**	0,30253**	0,54201**	0,414719**	0,000790	0,00053	0,030980
Resíduo	16	0,009463	0,009377	0,007373	0,03033	0,101819	0,052063	0,038165	0,08601	0,023504
CV (%)		11,39	9,95	9,40	8,60	11,80	9,65	8,04	10,32	5,88

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 6A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a peso absoluto do fígado (PAF), peso absoluto dos rins (PAR), peso relativo do fígado (PRF), peso relativo dos rins (PRR) e rendimento de carcaça (RC) de suínos alimentados com ração contendo níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico, abatidos aos 90 kg de peso

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios				
		PAF	PAR	PRF	PRR	RC
Bloco	3	0,16950	0,000854	0,135222	0,000540	15,13619
Sexo	1	0,38783*	0,001067	0,329509	0,000432	1,314430
Sexo x Níveis	3	0,003340	0,000996	0,012012	0,001795	3,579977
Níveis	3	0,043395	0,0018519	0,011065	0,000928	4,514851
Linear	1	0,000548	0,0000002	0,0212100	0,0005796	1,645501
Quadrática	1	0,0397625	0,0043209	0,0123183	0,003061	8,495525
Cúbica	1	0,112028	0,0031239	0,013359	0,003359	3,531768
Resíduo	16	0,085881	0,0011493	0,104477	0,001799	11,87258
CV (%)		19,92	10,33	17,37	12,02	4,45

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 7A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a fosfatase alcalina (FA), fósforo (P) e cálcio (Ca) do soro sanguíneo de suínos aos 60 e 90 kg de peso, alimentados com ração contendo níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios					
		FA-60	FA-90	CA-60	CA-90	P-60	P-90
Bloco	3	13275,51**	3439,0102	7,209504**	1,341761*	2,291465*	1,223343
Sexo	1	24080,89**	5452,268	11,730144	1,325029	1,982607	0,048816
Sexo x Níveis	3	3219,8420	8981,334*	0,233759	0,519216	0,128620	0,149774
Níveis	3	2143,6041	4871,6190	0,651771	0,388214	0,556613	0,252390
Linear	1	799,1989	6025,2698	0,0008295	0,0393993	0,007459	0,249661
Quadrática	1	5423,8629	7560,8643	1,359089	0,037856	1,341160	0,276247
Cúbica	1	173,60500	824,89366	0,453277	1,316466	0,057090	0,658589
Resíduo	16	2512,6909	2365,3057	0,532684	0,343380	0,543244	0,595753
CV (%)		11,91	11,98	5,66	4,25	8,08	8,99

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 8A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a comprimento (COMP), peso (PESO), diâmetro (DIAM) e resistência (RESIS) do osso de suínos alimentados com ração contendo níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico, nas fases de crescimento e terminação

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios			
		COMP	PESO	DIAM	RESIS
Bloco	3	0,094392	1,646833	0,004686	621,0936
Sexo	1	0,053757	1,312500	0,022741	11,514404
Sexo x Níveis	3	0,0620114	6,891865	0,005015	87,185912
Níveis	3	0,203214	2,142857	0,006546	618,2613
Linear	1	0,220572	0,314880	0,008731	37,20238
Quadrática	1	0,101852	0,074404	0,011316	1513,8519*
Cúbica	1	0,187537	44714880	0,0002833	174,21488
Resíduo	16	0,059825	3,5085	0,009296	186,2767
CV (%)		3,46	9,65	6,91	1,45

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 9A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a teor de gordura (TG), cinza na ASA (CASA), cinza na ASE (CASE), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e flúor (F) do osso de suínos alimentados com ração contendo níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico, nas fases de crescimento e terminação

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios						
		TG	CASA	CASE	P	Ca	Mg	F
Bloco	3	9,3358	0,80569	0,14508	0,44686	1,09875	0,11092	0,00993
Sexo	1	3,7958	7,14685	8,85401	2,46108	0,00031	0,12650	0,00033
Sexo x Níveis	3	20,4305	1,23067	1,39038	0,15174	1,01483	0,023924	0,02965
Níveis	3	18,3006	11,49955	18,7912	0,69359	3,26223	0,06186	0,02403
Linear	1	53,6794	33,81320*	56,1852 *	2,03859*	8,64191*	0,04473	0,05394
Quadrática	1	0,2773	0,63710	0,13335	0,00034	0,13809	0,06085	0,05344
Cúbica	1	0,9452	0,048364	0,055065	0,04183	1,00669	0,07999	0,01281
Resíduo	16	14,4180	7,27720	10,04626	0,47055	1,13211	0,06040	0,02472
CV (%)		23,48	5,31	5,99	6,02	5,70	8,89	37,31

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 10A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a espessura do perióstio (EP), largura da camada compacta (LCC) e relação camada compacta/perióstio (RCP) do osso da costela de suínos alimentados com ração contendo níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico, nas fases de crescimento e terminação

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios		
		EP	LCC	RPC
Bloco	3	1986,157*	10,41902	15,40377
Sexo	1	114,4144	7374,70	5,201085
Sexo x Níveis	3	1481,460	16870,69	6,534643
Níveis	3	653,5009	694187,1**	107,8563**
Linear	1	470,2845	1595560**	214,9195**
Quadrática	1	4,06673	21077,35	0,216118
Cúbica	1	14,86152	465923,7**	108,4332**
Resíduo	16	613,4320	17253,23	8,268652
CV (%)		22,08	12,33	28,46

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 11A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a ganho de peso (GP), consumo diário (CM) e conversão alimentar (CA) de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo, nos períodos de 30 a 60, 60 a 90 e de 30 a 90 kg de peso, de acordo com o sexo

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios								
		GP 30-60	GP 60-90	GP 30-90	CM 30-60	CM 60-90	CM 30-90	CA 30-60	CA 60-90	CA 30-90
Tratamento	7	0,053006**	0,065269**	0,0564324**	0,102056*	0,30894**	0,18938**	0,18862**	0,12729	0,102246*
Sexo	1	0,2057287**	0,126399**	0,162414**	0,60073**	5,44772**	2,48242**	0,12578	1,97921**	0,40361**
Sexo x Tratamento	7	0,0141052	0,00799215	0,0056200	0,023634	0,079594	0,038758	0,049926	0,12073	0,041782
Peso = linear	1	0,035097*	0,0540882*	0,0503315*	0,29422**	0,219096	0,81201*	0,0023477	0,086219	0,043023
Bloco	3	0,027295**	0,0106481	0,0079183	0,022682	0,51042**	0,14949*	0,109512	0,58130**	0,132272*
Resíduo	37	0,0059449	0,0141864	0,007218	0,0384258	0,096439	0,0452347	0,0415869	0,086219	0,041755
CV (%)		9,41	12,94	9,77	10,07	11,83	9,32	8,40	12,50	7,72

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 12A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a peso absoluto do fígado (PAF), peso absoluto dos rins (PAR), peso relativo do fígado (PRF), peso relativo dos rins (PRR) e rendimento de carcaça (RC) de suínos abatidos aos 90 kg de peso, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação, de acordo com o sexo

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios				
		PAF	PAR	PRF	PRR	RC
Tratamento	7	0,053763	0,002156	0,045207	0,0068**	4,03649
Sexo	1	0,64201*	0,01804**	0,302346	0,00810*	40,8800*
Sexo x Tratamento	7	0,073764	0,001101	0,083597	0,001563	9,831679
Bloco	3	0,122318	0,002046	0,119551	0,003587	28,4442*
Resíduo	37	0,112722	0,001526	0,114984	0,001842	7,443209
CV (%)		19,50	11,86	18,04	11,88	3,48

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 13A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a fosfatase alcalina (FA), fósforo (P) e cálcio (Ca) do soro sanguíneo de suínos aos 60 e 90 kg de peso, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação, de acordo com o sexo

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios					
		FA-60	FA-90	Ca-60	Ca-90	P-60	P-90
Tratamento	7	40739,32**	25171,42**	1,57533*	1,637238**	16,88772**	11,16727**
Sexo	1	42219,64**	17974,85	23,4490**	3,43571**	6,099048**	2,16694
Sexo x Tratamento	7	9833,78	5962,0284	0,168257	0,566083	0,222982	0,28588
Bloco	3	18315,24	23160,10**	10,956**	3,29987**	7,95559**	2,30500*
Resíduo	37	7047,6860	5483,62	0,67692	0,258067	0,672521	0,647121
CV (%)		16,70	16,2782	6,24	3,68	8,91	9,04

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 14A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a comprimento (COMP), peso (PESO), diâmetro (DIAM) e resistência (RESIS) do osso de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação, de acordo com o sexo

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios			
		COMP	PESO	DIAM	RESIS
Tratamento	7	0,174687	21,09948**	0,0126816	25464,03**
Sexo	1	0,004051	1,7202381	0,0002501	2240,00
Sexo x Tratamento	7	0,019170	6,138605	0,005513	889,9171
Bloco	3	0,186918	4,722222	0,002900	130,898784
Resíduo	37	0,103386	2,972972	0,007454	786,0286
CV (%)		4,59	8,76	6,19	3,06

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 15A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a teor de gordura (TG), cinza na ASA (CASA), cinza na ASE (CASE), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e flúor (F) do osso de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação, de acordo com o sexo

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios						
		TG	CASA	CASE	P	Ca	Mg	F
Tratamento	7	23,7943	11,5020**	18,83640**	2,081003**	6,715531**	1,76087**	18,64714**
Sexo	1	3,1942	0,45110	0,339210	0,672474	0,048892	0,08430	0,071259
Sexo x Tratamento	7	32,1279	4,183062	5,16936	0,91347	2,98803	0,05285	0,42746
Bloco	3	24,1290	2,88598	3,79229	0,64915	8,6804**	0,19184	0,20439
Resíduo	37	13,3667	3,2509	3,60758	0,52367	1,29886	0,11555	0,22211
CV (%)		21,96	3,54	3,58	6,40	6,17	17,63	24,40

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 16A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a espessura do perióstio (EP), largura da camada compacta (LCC) e porosidade da camada compacta (PCC) do osso da costela de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação, de acordo com o sexo

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios		
		EP	LCC	PCC
Tratamento	7	1373,49*	422616,2**	240,1637**
Sexo	1	946,5126	1283,844	41,95840
Sexo x Tratamento	7	797,5525	5786,381	34,68091
Bloco	3	1672,353*	3702,7771	39,95620
Resíduo	37	570,0064	14225,87	59,01914
CV (%)		21,86	12,98	44,81

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 17A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a deposição de manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu), chumbo (Pb), níquel (Ni), cromo (Cr) e cádmio (Cd) no fígados de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação, de acordo com o sexo

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios							
		Mn	Zn	Fe	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd
Tratamento	7	2,044811**	6503,332**	44058,83**	24,0409**	0,99839**	0,0107834	0,54128	0,024352
Sexo	1	2,219500	18,92085	41596,101*	4,81279	0,003668	0,0147656	0,40956	0,001578
Sexo x Tratamento	7	0,674198	1467,1358	5232,992	3,83262	0,290182	0,015022	0,42049	0,00259
Bloco	3	4,594669**	753,3177	2199,92	16,34737*	0,036760	0,0351322	0,68632	0,06112**
Resíduo	37	0,837525	766,9143	9100,421	4,643688	0,245049	0,016694	0,441852	0,0181837
CV (%)		13,85	14,75	23,70	15,70	25,88	356,4	15,05	51,26

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 18A – Quadrados médios da análise de variância e coeficientes de variação (CV) referentes a deposição de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu) no músculo de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo, nas fases de crescimento e terminação, de acordo com o sexo

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios					
		P	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu
Tratamento	7	0,004708	460,0998	634,4932	95,2364**	45,4646	0,21577*
Sexo	1	0,000432	790,0868	181,7214	0,632035	2,65102	0,41934
Sexo x Tratamento	7	0,015550	191,0183	675,1941	56,2928	18,8652	0,06193
Bloco	3	0,013174	26,17429	1077,742	54,5805	48,7572	0,17061
Resíduo	37	0,087915	215,9754	708,8085	29,6499	28,8004	0,78039
CV (%)		5,44	10,98	3,06	11,82	8,70	8,80

* F significativo a 5% de probabilidade.

** F significativo a 1% de probabilidade.