

Metabolismo do Fósforo em Equinos. 1. Avaliação Dietética de Diferentes Fontes de Fósforo¹

João Batista Lopes², Carlos Eduardo Furtado³, Dorinha Miriam Silber Schmidt Vitti⁴, Adibe Luiz Abdalla⁴, Hugo Tosi⁵, Marinéia de Lara Haddad⁶

RESUMO - Objetivou-se estudar o fluxo de fósforo (P) entre os compartimentos fisiológicos ou anatômicos de equinos e avaliar a absorção e disponibilidade desse mineral com o P proveniente de diferentes fontes de fosfato: Tapira, Patos de Minas, bicálcico e farinha de ossos, utilizando-se o modelo, determinístico e compartimental, adaptado de Aubert e Milhaud. Nesse modelo, o trato gastrointestinal, os ossos e tecidos moles, em conjunto, representaram os compartimentos, em fluxo bidirecional com o sangue. Foram utilizadas informações sobre estudo de metabolismo e cinética do P em tecidos obtidas pela técnica da diluição isotópica. Constatou-se que o P excretado nas fezes e na urina e o fluxo bidirecional de P dos tecidos moles e ossos para o sangue não são influenciados pelo tipo de fonte de fósforo, quando os fosfatos Tapira, Patos de Minas, bicálcico ou farinha de ossos são adicionados às dietas de equinos; o fluxo de P do trato digestivo para o sangue depende do tipo de fosfato existente nas dietas, sendo maior nos fosfatos bicálcico, Patos de Minas e farinha de ossos; a disponibilidade biológica e a absorção real do fósforo nos fosfatos Patos de Minas e da farinha de ossos em dietas de equinos são similares à do fosfato bicálcico, constituindo esses fosfatos em fontes alternativas para suplementação dietética de fósforo em equinos.

Palavras-chave: fosfatos, modelo, potro, radiofósforo

Phosphorus Metabolism in Horse. 1. Dietary Evaluation of Different Phosphates Sources

ABSTRACT - The experiment was designed to study the phosphorus (P) flow between the physiologic or anatomical compartments of horses and to evaluate the P absorption and availability in horse diets. The experimental treatments were constituted by different sources of phosphate: "Tapira", "Patos de Minas", dicalcium and bone flour. The model, deterministic and compartmental, was adapted from Aubert and Milhaud model, in which the digestive tract and the bone and soft tissues represented the compartments in bi-directional flow with the blood. The informations on metabolism and kinetic of P in tissues obtained by the isotopic dilution technique were used. It was concluded that: the fecal and urinary P and the bi-directional flow from soft tissues and bone to blood are not influenced by the kind of phosphorus sources, when the "Tapira", "Patos de Minas" and dicalcium phosphate or bone meal are added to the horse diets; the P flow from gut to blood depends on the kind of phosphate used in the diets, being the values largest observed in the dicalcium phosphate, "Patos de Minas" phosphate and bone meal; the P absorption and availability of the phosphate "Patos de Minas" and meal bones in horses diets are similar to the one of the dicalcium phosphate, constituting those phosphates in alternative sources for supplemental dietary P in horses.

Key Words: foals, model, phosphate, radio-phosphorus

Introdução

O fósforo (P) tem papel bem definido na prevenção e na diminuição dos transtornos do metabolismo ósseo, que alteram o desenvolvimento e, sobretudo, a solidez do esqueleto. Nesse sentido, Wolter (1977) destacou que a perfeita integridade de um esqueleto

bem desenvolvido, sólido e resistente, é condição fundamental para um bom desempenho de cavalos. De acordo com o NRC (1989), as exigências de fósforo para o desenvolvimento adequado dos ossos baseiam-se em estimativas de que cavalos em crescimento depositam 8 g de fósforo por kg de ganho de peso.

O uso de radioisótopos tem permitido determi-

¹ Pesquisa financiada pela FAPESP-proj 00/00640-0.

² Professor da Universidade Federal do Piauí, Campus Universitário da Socopo, Teresina, PI, Brasil. E.mail: lopesjb@uol.com.br

³ Professor do Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, CEP: 67020-900, Maringá, PR, Brasil.

⁴ Professores do Laboratório de Nutrição, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Caixa Postal 96, CEP: 13400-970, Piracicaba, SP, Brasil.

⁵ Professor da Universidade Paulista, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil.

⁶ Professora Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, Brasil.

nar com maior precisão o metabolismo e a cinética de minerais no organismo dos animais. A partir da introdução do isótopo radiativo na corrente sanguínea, pode-se avaliar quantitativamente as trocas do elemento entre sangue e os vários órgãos e tecidos, bem como as quantidades excretadas nas fezes e na urina. Neste contexto, os processos metabólicos nas diversas espécies animais podem ser caracterizados por modelos biomatemáticos, que apresentam, dentre outras vantagens, a possibilidade de extrapolar-se com precisão os resultados obtidos, pela experimentação científica para o universo da população. Segundo Kebreab & France (1999), devido à importância da técnica de modelagem nos mais diferenciados campos da ciência, o seu uso tem tornado-se parte integral das pesquisas.

Trabalhos envolvendo modelos de metabolismo e do fluxo de nutrientes no organismo de diversas espécies animais têm sido relatados na literatura. Neste sentido, ressalte-se as pesquisas desenvolvidas com ovinos (Grace, 1981; Schneider et al., 1985; Sauvant et al., 1996), bovinos (Annekov, 1982; Vitti et al., 2001), suínos (Fernandez, 1995b; Bastianelli et al., 1996; Lopes et al., 2001) e caprinos (Vitti et al., 2000), direcionadas principalmente para estudos do metabolismo e da cinética do fósforo nessas espécies.

Em decorrência do crescimento da exploração intensiva e com alta tecnologia para as diversas espécies, em que concentra grande número de animais por área para atender a demanda de alimentos, o meio técnico-científico tem se preocupado com os problemas do uso inadequado do fósforo, dentre outros nutrientes, na alimentação animal, uma vez que níveis dietéticos inferiores aos exigidos pelos animais comprometem o desempenho e a ingestão superior às necessidades provoca prejuízos, tanto do ponto de vista econômico como ambiental, pois o excedente é excretado nas fezes e urina.

Dessa forma, o presente trabalho foi desenvolvido com a finalidade de estudar o fluxo de fósforo entre os compartimentos fisiológicos ou anatômicos de equinos, avaliar a absorção e a disponibilidade desse mineral em dietas de equinos, usando-se fósforo proveniente de diferentes fontes de fosfato: Fosfato de Tapira, Fosfato de Patos de Minas, Fosfato Bicálcico e Farinha de Ossos.

Material e Métodos

O trabalho experimental foi desenvolvido no Setor de Equideocultura da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Campus de Jaboticabal e no Laboratório de Nutrição Animal do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, em Piracicaba.

Na elaboração do modelo matemático, foram utilizados os resultados de pesquisa sobre metabolismo e cinética do P em tecidos de equinos por meio da técnica de diluição isotópica, usando o ^{32}P como marcador (Furtado, 1996).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com base no peso inicial dos animais, sendo a unidade experimental representada por um animal alojado em gaiola de metabolismo, confeccionada de acordo com o modelo proposto por Furtado & Tosi (1996). Os resultados foram submetidos à análise de variância e para comparação das médias dos parâmetros dos tratamentos utilizou-se o teste de Tukey (SAS, 1986).

Os tratamentos experimentais foram constituídos de dietas com os fosfatos Tapira, Patos de Minas e bicálcico e farinha de ossos, incorporados a um núcleo mineral (Tabela 1). Cada núcleo, por sua vez, foi adicionado a uma dieta basal constituída de feno de gramínea moída, rolão de milho e farelo de soja, sem suplementação de fósforo. A composição bromatológica das dietas experimentais encontra-se apresentada na Tabela 2.

Foram utilizados 16 animais, com idade de dez meses e peso médio de $257,3 \pm 21,9$ kg, recebendo dietas fareladas, distribuídas em três refeições diárias, com a ingestão de matéria seca de 4,6 kg/cabeça/dia, previamente definida para atender o consumo de 22 g de P/dia, de acordo com as recomendações do NRC (1989) e de Ott (1995).

O período de adaptação teve duração de 15 dias, e o da fase experimental, de sete dias destinados à coleta total e diária de fezes e de urina e de amostras de sangue, sendo 5% do conteúdo das fezes e 1% da urina, armazenados em congelador para as devidas análises.

No 16º dia experimental, foram injetados em cada animal, através da veia jugular direita, 30 MBq de ^{32}P , livre de carregador. Após a injeção, amostras de sangue foram coletadas através da veia jugular esquerda, usando-se tubos a vácuo heparinizados, aos 5

Tabela 1 - Composição percentual dos núcleos minerais usados nas dietas experimentais
 Table 1 - Percentage composition of the mineral mixture used in the experimental diets

Ingredientes <i>Ingredient</i>	F. Tapira	F. Patos de Minas	F. Bicálcico <i>Dicalcium phosphate</i>	Farinha de ossos <i>Bone meal</i>
Fosfato Tapira <i>Tapira phosphate</i>	56,40	-	-	-
Fosfato Patos de Minas <i>Patos de Minas phosphate</i>	-	74,50	-	-
Fosfato bicálcico <i>Dicalcium phosphate</i>	-	-	38,00	-
Farinha de osso <i>Bone mealr</i>	-	-	-	65,00
Calcário <i>Limestone</i>	-	-	20,50	3,40
Sal comum <i>Salt</i>	17,50	17,50	17,50	17,50
Caolim (Inerts) <i>Kaolim (complement)</i>	19,33	1,23	17,33	7,33
MgO <i>Magnesium oxide</i>	5,10	5,10	5,00	5,10
Suplemento mineral ¹ <i>Mineral supplement¹</i>	1,67	1,67	1,67	1,67
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
Matéria seca (%) <i>Dry mater</i>	98,03	99,39	99,55	99,74
Cinzas (%) <i>Ash</i>	77,73	90,63	96,27	94,25
Fósforo (%) <i>Phosphorus</i>	8,20	7,83	7,72	8,75
Cálcio (%) <i>Calcium</i>	17,02	14,15	14,73	16,94

minutos e 24, 48, 76, 96, 120 e 144 horas.

A solução radioativa foi preparada a partir de uma solução de fosfato de sódio com ^{32}P (Na_2HPO_4), livre de carregador, fornecida pelo Instituto de Pesquisas Energéticas de São Paulo (IPEN), utilizando-se uma solução salina estéril de NaCl a 0,85%. A atividade da solução radioativa injetada nos animais foi de 30 MBq/1,0 mL.

A solução padrão foi elaborada retirando-se uma amostra de 0,5 mL da solução radioativa, colocando-a em um balão de um litro, que foi completado com água destilada. Dessa solução, 100 mL foram transferidos para frascos de contagem, adicionando-se 19 mL de água destilada, e em seguida feita a leitura da radioatividade em espectrômetro de cintilação líquida, Tri-carb TR (Packard), por meio de efeito Cerenkov.

A análise bromatológica das dietas foi realizada seguindo-se as recomendações da AOAC (1980). Os conteúdos de cálcio e de fósforo foram analisados após determinação das cinzas e de sua digestão em ácido clorídrico concentrado. A determinação do

fósforo inorgânico foi feita por colorimetria, usando-se o método vanadato-molibdato (Sarruge & Haag, 1974), e a do cálcio, por espectrometria de absorção atômica (Zagatto et al., 1979).

As amostras de sangue, coletadas a cada 24 horas após aplicação do ^{32}P , em tubos heparinizados, foram centrifugadas a 1900 g durante 10 minutos para obtenção do plasma. O teor de fósforo inorgânico foi determinado por colorimetria (Fiske & Subbarow, 1925), e o de cálcio por espectrometria de absorção atômica (Zagatto et al., 1979). A contagem da atividade foi realizada por efeito Cerenkov (Nascimento Filho & Lobão, 1977; International Atomic Energy Agency - IAEA, 1979).

O nível de flúor dos fosfatos foi determinado utilizando-se 50 mg de cinzas de cada amostra dissolvidos em 2 mL de ácido nítrico concentrado e 30 mL de solução de hidróxido de sódio a 2%, completando-se o volume para 100 mL com água deionizada. A análise foi realizada utilizando-se um potenciômetro ORION, modelo 701 A, de acordo com Godofrey & Shrewsbury (1945).

Tabela 2 - Composição das dietas experimentais (100% MS)
 Table 2 - Composition of the experimental diets (100% DM)

Composição <i>Composition</i>	Dietas experimentais <i>Experimental diets</i>			
	F. Tapira	F. Patos de Minas	F. Bicálcico <i>Dicalcium</i>	Farinha de ossos <i>Bone meal</i>
Ingredientes <i>Ingredient</i>				
Feno de gramínea moído <i>Ground hay grass</i>	47,0	47,0	47,0	47,0
Rolão de milho <i>Whole corn</i>	48,0	48,0	48,0	48,0
Farelo de soja <i>Soybean meal</i>	1,0	1,0	1,0	1,0
Núcleo mineral ¹ <i>Mineral mixtures</i>	4,0	4,0	4,0	4,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0
Matéria seca (%) <i>Dry matter</i>	95,80	95,80	95,67	95,35
Proteína bruta (%) <i>Crude protein</i>	9,20	9,80	9,63	11,47
Cinzas (%) <i>Ash</i>	8,41	8,77	9,21	8,90
Fibra bruta (%) <i>Crude fiber</i>	11,08	11,06	10,79	10,35
Extrato etéreo (%) <i>Ether extract</i>	3,34	3,11	3,06	3,03
Fósforo (%) <i>Phosphorus</i>	0,90	1,02	0,96	1,03
Cálcio (%) <i>Calcium</i>	1,55	1,32	1,10	1,39

¹ Composição dos fosfatos: Tapira - 12,80% P, 22,69% Ca, 1,16% F; Patos de Minas - 9,70% P, 21,93% Ca, 1,74% F; fosfato bicálcico - 17,66% P, 23,78% Ca, 0,08% F; farinha de osso - 11,11% P, 21,19% Ca, 0,02% de F.

¹ Phosphates composition: Tapira - 12.80% P, 22.69% Ca, 1.16% F; Patos de Minas - 9.70% P, 21.93% Ca, 1.74% F; dicalcium phosphate - 17.66% P, 23.78% Ca, 0.08% F; bone meal - 11.11% P, 21.19% Ca, 0.02% F.

As amostras de fezes foram maceradas, homogeneizadas, e alíquotas de um grama foram pesadas, secas a 100°C e incineradas a 500°C. As cinzas foram digeridas com 10 mL de ácido sulfúrico (1:1) para determinação da radioatividade pelo efeito Cerenkov. O teor de P inorgânico foi determinado nas cinzas, após a digestão com ácido clorídrico pelo método vanadato-molibdato (Sarruge & Haag, 1974).

O volume de um mililitro de urina foi diluído em nove mililitros de ácido tricloroacético a 10% para análise do P inorgânico (Fiske & Subbarow, 1925). Para determinação da atividade por meio do efeito Cerenkov, as amostras foram diluídas na proporção 1:20 com água deionizada.

O modelo proposto de metabolismo do P, esquematizado na Figura 1, foi baseado e adaptado dos estudos de Aubert & Milhaud (1960), sendo constituído de três compartimentos anatômicos do fluxo de P, correspondendo ao trato digestivo, ao sangue e aos ossos e tecidos moles, estudados juntos. O trato digestivo e os ossos mais os tecidos moles

estão em intercâmbio bidirecional com o sangue, que funciona como compartimento central das trocas do mineral, de acordo com o fluxo F_{12} e F_{21} , F_{23} e F_{32} , respectivamente. Já a entrada de P no sistema dá-se via ingestão (F_{01}), e a saída pelas fezes (F_{10}) e urina (F_{20}). O detalhamento do modelo está de acordo com o descrito por Lopes (1999). Nesse esquema, assume-se que não houve reentrada de P marcado a partir de fontes externas.

De acordo com o esquema, a entrada de P no sangue dá-se pela absorção das frações de origem dietética e endógena, a partir do trato digestivo (F_{12}), bem com do P solubilizado do osso e dos tecidos moles (F_{32}). A saída envolve as secreções dos sucos digestivos (F_{21}), P na urina (F_{20}) e do P incorporado aos ossos e aos tecidos moles (F_{23}).

No estado estável, as trocas no sistema permanecem constantes e a taxa de entrada é igual à taxa de saída (equação 1). Como o F_{12} é constituído das frações de origem dietética (Pa) e endógena (Pd), fazendo-se a substituição na equação 1, obtém-se a equação 2.

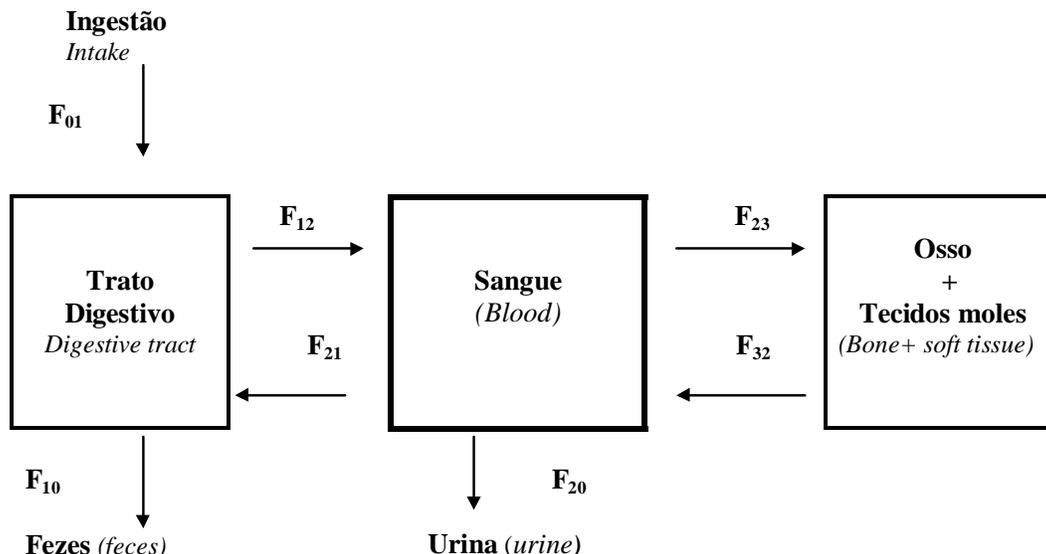


Figura 1 - Esquema do modelo da distribuição do fósforo em equinos.
Figure 1 - Phosphorus distribution model in horse.

$$F_{20} + F_{21} + F_{23} = F_{12} + F_{32} \text{ (Equação 1)}$$

$$F_{20} + F_{21} + F_{23} = P_a + P_d + F_{32} \text{ (Equação 2)}$$

Considerando que P_d é reabsorvido do trato digestivo para o sangue, o valor das perdas totais de P a partir do sangue (P_t) é igual ao total das perdas menos o valor de P_d (equação 3).

$$P_t = F_{20} + F_{21} + F_{23} - P_d \text{ (Equação 3)}$$

em que: $F_{21} - P_d = P_f$ (Equação 4), substituindo a equação 4 em 3, tem-se:

$$P_t = F_{20} + F_{23} + P_f \text{ (Equação 5)}$$

em que: P_f representa as perdas endógenas fecais.

O valor do P na urina (F_{20}) pode ser determinado analiticamente e o do endógeno fecal (P_f), com base em Comar et al. (1953) e Vitti (1989), de acordo com as equações 6, 7 e 8.

Atividade específica do ^{32}P nas fezes ou no plasma = atividade do ^{32}P (cpm) de 1 g de fezes ou de 1ml de plasma / atividade do ^{32}P (cpm) de uma solução padrão (Equação 6),

% Pf = (Atividade específica do ^{32}P nas fezes / atividade específica do ^{32}P no plasma) x 100 (Equação 7)

Pf total nas fezes (g) = % Pf x P total excretado nas fezes (g) (Equação 8)

O valor da radioatividade do ^{32}P é calculado por efeito Cerenkov (IAEA, 1979; Nascimento Filho & Lobão, 1977) e o P das fezes, de acordo com Sarruge & Haag (1974).

Para o cálculo das perdas totais (P_t) a partir do sangue, considerou-se a curva de decaimento da radioatividade do ^{32}P dividida em duas partes: a das trocas rápidas entre o ^{32}P e o fósforo estável, que corresponde ao período entre a introdução do ^{32}P até 24 horas (equações 9 e 10) e a fase das trocas lentas do ^{32}P pelo fósforo estável, que ocorre no período de 24 a 168 horas (equação 11). Na fase das trocas rápidas, o intercâmbio do ^{32}P entre o plasma e os tecidos é intenso, sendo metabolizado grande parte do material radioativo, pois em torno de 48 horas após a introdução do ^{32}P no sangue, a radioatividade é reduzida à metade da dose injetada, sendo observada a maior proporção nas primeiras 24 horas. Na fase das trocas lentas ocorre equilíbrio das trocas do material radioativo entre o sangue e os tecidos.

$$R = R_i e^{-at} \text{ (Equação 9)}$$

$$a = 0,693 / T_{1/2} \text{ (Equação 10)}$$

$$R_s = A e^{-at} \text{ (Equação 11)}$$

em que: R é a radioatividade do ^{32}P no tempo t (cpm), R_i é a radioatividade inicial (cpm); "a" é a constante de decaimento da radioatividade, $T_{1/2}$ é a meia vida biológica do ^{32}P (hora), 0,693 é obtido por dedução da equação 9 (para $t = T_{1/2}$, $R = R_i / 2$); R_s é o decaimento da atividade específica (relação entre ^{32}P e o Ptotal no sangue) no tempo t (cpm), A é a atividade específica inicial (cpm).

Ao tempo zero, a atividade específica (A) repre-

senta a relação entre a radioatividade injetada (R_i) e a massa de fósforo (P). Assim, $A = R_i / P$, e por dedução obtém-se o valor de P (equação 12). As saídas de P do pool (P_t) foram calculadas como o produto entre a massa de P trocável e a constante de decaimento (equação 13), por intermédio de uma série de equações envolvendo derivadas matemáticas, segundo Aubert & Milhaud (1960).

$$P = R_i / A \quad (12)$$

$$P_t = a P \quad (13)$$

Assim, com a determinação do valor de P_t , pôde-se calcular o valor de F_{23} na equação 5, representando esse valor a quantidade de fósforo incorporada nos ossos e nos tecidos moles, sem distinção.

O valor de F_{32} foi calculado segundo a equação 14 e o do P retido, pela diferença entre o P consumido (F_{01}) e as perdas totais nas fezes (F_{10}) e na urina (F_{20}) (equação 15).

No cálculo do F_{32} , considerou-se o valor do F_{23} e do P retido (equações 14 e 15).

$$\text{Pretido} = F_{01} - F_{10} - F_{20} \quad (\text{Equação 14})$$

$$F_{32} = F_{23} - \text{Pretido} \quad (\text{Equação 15})$$

A disponibilidade biológica (DB) foi determinada considerando-se as perdas endógenas (Equação 16).

$$DB = [(F_{01} - F_{10} + P_f) / F_{01}] \times 100 \quad (\text{Equação 16})$$

A absorção real em g/dia (P_a) foi calculada pela diferença entre o P consumido (g) e P excretado nas fezes (g) descontado o valor da fração endógena fecal (g) de acordo com a Equação 17. A absorção real de P (P_a) difere do P do TGI para sangue (F_{12}) pelo fato da absorção no caso de F_{12} levar em consideração as frações absorvidas de P de origem endógena (P_d) e alimentar (P_a) que chegam ao trato digestivo, enquanto a absorção real mede o valor do P absorvido de origem alimentar.

$$P_a = P_{01} - (P_{10} - P_f) \quad (\text{Equação 17})$$

Resultados e Discussão

Os valores da ingestão, excreção diária nas fezes e na urina, absorção, disponibilidade biológica e do fluxo de entrada e de saída do P nos compartimentos, trato digestivo, sangue, osso e tecidos moles, de acordo com as dietas experimentais, estão apresentados na Tabela 3.

Verificou-se que a ingestão de P (F_{01}), conforme o planejamento inicial da pesquisa, foi similar para as quatro fontes de fosfato estudadas ($P > 0,05$). Os níveis de P consumidos foram suficientes para aten-

der às exigências dos animais, pois de acordo com o NRC (1989) e Ott (1995), cavalos de raça de esporte com peso acima de 500 kg e com rápida velocidade de crescimento devem consumir cerca de 22 g de P/dia.

A excreção de P nas fezes e na urina não sofreu influência das fontes de P estudadas ($P > 0,05$). O P excretado nas fezes correspondeu em média a 79,8% do P consumido, o que está em consonância com as observações de Hintz (1979), Cymbaluck & Christensen (1986) e McDowell (1992), ao relatarem que as fezes são consideradas a principal via de excreção de P, principalmente, quando o animal não ingere altas concentrações do elemento na dieta.

Com relação à urina, o valor médio excretado foi baixo, em torno de 1,5% em relação ao P consumido. Esses baixos valores encontrados para excreção de P na urina estão em consonância com as observações de Thompson Jr. (1978), ao relatar que os rins possuem a habilidade em reter fosfatos e que em torno de 1% de P é perdido pela via urinária, sendo, geralmente, esses valores considerados desprezíveis. Segundo trabalhos de Schryver et al. (1971), Brobst et al. (1978), Elfers et al. (1986), Kolbe (1979) e Fernandez (1995a), há indicação de que nos equinos a excreção renal de P não é a principal via de excreção deste mineral, entretanto, cavalos e suínos podem excretar grandes quantidades, via urina, quando a ingestão de P for alta, o que leva os rins a terem importante função na manutenção da homeostase.

O fluxo de P do trato gastrointestinal (TGI) para o sangue foi menor ($P < 0,05$) nas dietas com fosfato Tapira do que nas dietas com o fosfato bicálcico, não havendo diferença ($P > 0,05$) entre o fluxo de P nas dietas com fosfato Pato de Minas, fosfato bicálcico e farinha de osso. Já o fluxo de P do sangue para o TGI (F_{21}) não diferiu entre os fosfatos ($P > 0,05$).

As diferenças nos fluxos de P do TGI para o sangue nos animais nas dietas com fosfato bicálcico em relação à dieta com o fosfato de Tapira, podem ser explicadas em parte, pela maior absorção real observada na dieta com o fosfato bicálcico, tornando maior a quantidade de P disponível para ser utilizado pelo organismo. Neste contexto, segundo Breves & Schröder (1991), quando há maior quantidade de P disponível para o animal, o excedente pode retornar ao trato digestivo, através da saliva, principalmente, e das enzimas e sucos digestivos, como mecanismo de regulação desse mineral na corrente sangüínea.

Os valores do fluxo de P proveniente do trato gastrointestinal e absorvido pelo sangue (F_{12}), em

Tabela 3 - Médias das variáveis relacionadas ao estudo do metabolismo e cinética de fósforo de diferentes fontes de fosfatos em equinos

Table 3 - Mean of parameters related to the phosphorus metabolism from different phosphate sources in horse

Parâmetro ¹ (g/dia) Parameter ¹ (g/day)	Fontes de fósforo Phosphorus sources			
	F. Tapira	F. Patos de Minas	F. Bicálcico Dicalcium	Farinha de ossos Bone meal
Ingredientes Ingredient				
Ingestão de P (F ₀₁) Intake P	23,24±2,04	24,79±2,06	26,36±2,57	25,70±2,48
P fecal (F ₁₀) Fecal P	19,95±1,57	18,56±1,96	20,65±1,90	20,71±1,66
Purina (F ₂₀) Urinary P	0,04±0,02	0,67±0,62	0,08±0,05	0,66±0,58
P endógeno (P _p) Endogenous P	2,52±0,75	2,11±0,59	2,83±1,09	2,47±0,94
P do TGI para sangue (F ₁₂) P from gut to blood	9,20±0,25 ^b	11,32±0,96 ^{ab}	12,70±0,43 ^a	10,99±0,68 ^{ab}
P do sangue para TGI (F ₂₁) P from blood to gut	5,91±0,95	5,09±0,65	6,99±1,54	5,99±1,15
Absorção real de P (P _a) P true absorption	5,81±1,42 ^b	8,34±1,33 ^a	8,54±1,65 ^a	7,46±1,86 ^{ab}
Disponib. Biológica (%) Biological availability	25,00±4,45	33,64±5,83	32,40±4,11	29,03±4,87
P do sangue para osso e tecidos moles (F ₂₃) P from blood to bone and soft tissue	4,37±1,66	5,92±0,88	6,28±1,26	7,68±1,66
P do osso e tecidos moles para sangue (F ₃₂) P from bone and soft tissue to blood	1,09±1,09	0,35±0,29	0,65±0,65	3,35±0,72

¹ Médias seguidas de letras iguais na mesma linha, não diferem entre si (P>0,05).¹ mean, within a row, followed by different letters are different (P<0.05) by Tukey test.

parte, são similares aos observados em bovinos por Vitti et al. (2001), os quais constataram maior valor em dietas com fosfato bicálcico. Porém, quanto ao fluxo de P do sangue para o trato digestivo, não foi observada diferença entre as dietas estudadas no presente trabalho, enquanto que com bovinos, o retorno de P do fosfato bicálcico para o trato digestivo teve maior valor em relação aos fosfatos Tapira e Pato de Minas.

A absorção real do P foi menor na dieta com fosfato Tapira (P<0,05) do que com os fosfatos Patos de Minas e bicálcico (P>0,05). Já a disponibilidade biológica do P dessas fontes não diferiu entre os tratamentos, caracterizando os fosfato Patos de Minas e Tapira e a farinha de ossos, como alternativas para substituir o fosfato bicálcico em dietas de equinos, uma vez que essa fonte normalmente apresenta preço elevado, aumentando os custos com a alimentação de equinos.

No tocante à deposição (F₂₃) e solubilização (F₃₂) de P no osso e tecidos moles, tratados em conjunto, observou-se que não houve interferência das fontes de fosfato Tapira, Patos de Minas, bicálcico e farinha de ossos (P>0,05), nesses processos. Quando se relaciona a absorção de P com a incorporação

de P nos ossos e tecidos moles, observa-se que, mesmo nas dietas com fosfato bicálcico, em que a absorção e eficiência de absorção tiveram maiores valores, a maior quantidade de P disponível para o organismo não interferiu na incorporação de P nesses compartimentos. Resultados similares foram obtidos por Fernandez (1995a) e Lopes et al. (2001), em suínos na fase de crescimento, e por Vitti et al. (2001), em bovinos, ao destacarem que as fontes de fosfatos, Tapira, Patos de Minas e bicálcico não interferiram na incorporação do P nos ossos e tecidos moles.

Com relação à participação do flúor na absorção e disponibilidade dos fosfatos Tapira e Patos de Minas, acredita-se que, em função do curto período experimental, não houve interferência desse mineral no aproveitamento do P em equinos. A esse respeito, Gomes et al. (1985) e Barbosa et al. (1992), em pesquisas com suínos em crescimento e terminação, constataram que o flúor não provocou efeito prejudicial sobre o desempenho dos animais.

No desenvolvimento do modelo, constatou-se que alguns animais apresentaram valor negativo para o P solubilizado do osso e tecidos moles (F₃₂). Isto sugere

que não houve saída de P desse compartimento para o sangue. Assim, o valor de P reabsorvido dos ossos e tecidos moles (F_{32}) foi considerado igual a zero e o valor de F_{23} foi calculado pela soma do valor absoluto observado de F_{32} mais o encontrado para o F_{23} , representando a soma a quantidade total incorporada nesse compartimento. Essa ocorrência pode estar relacionada, em parte, com a maior eficiência de absorção do P, nesses animais, permitindo que o P fique mobilizado nos ossos e tecidos moles, para utilização posterior, quando ocorrer carência ou problema metabólicos no organismo.

Conclusões

O P excretado nas fezes e na urina e o fluxo bidirecional de P dos tecidos moles e ossos para o sangue não são influenciados pelo tipo de fonte de fósforo, quando os fosfatos Tapira, Patos de Minas, bicálcico ou farinha de ossos são adicionados às dietas de eqüinos.

O fluxo de P do trato digestivo para o sangue depende do tipo de fosfato existente nas dietas, sendo maior nos fosfatos bicálcico, Patos de Minas e farinha de osso.

A disponibilidade biológica e a absorção real do fósforo nos fosfatos Patos de Minas e da farinha de ossos em dietas de eqüinos são similares às do fosfato bicálcico, constituindo esses fosfatos em fontes alternativas para suplementação dietética de fósforo em eqüinos.

Literatura Citada

- ANNENKOV, B.N. Kinetics of mineral metabolism in blood. In: GEORGIEVSKII, V.I.; ANNENKOV, B.N., SAMOKHIN, V.I. (Eds.) **Mineral nutrition of animals**. 1.ed. London: Butterworths, 1982. p.243-256.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 13. ed. Washington, D.C.: 1980. 1018p.
- AUBERT, J.P.; MILHAUD, G. Méthod de mesure des principales voies du métabolisme calcique chez l'homme. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.39, n.1, p.122-139, 1960.
- BARBOSA, H.P.; MORES, N.; FIALHO, E.T. et al. Efeito dos níveis de flúor provenientes dos fosfatos Tapira e monocálcico no desempenho e características do osso de suínos em crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.21, n.5, p.838-846, 1992.
- BASTIANELLI, D.; SAUVANT, D.; RÉRAT, A. Mathematical modeling of digestion and nutrient absorption in pigs. **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**, v.4, p.125-140, 1991.
- BROST, D.F., LEE, H.A., SPENCER, G.R. Hypercalcemia and hypophosphatemia in a mare with renal insufficiency. **J.A.V.M.A.**, v.173, n.10, p.1370-1372, 1978.
- COMAR, C.L.; MONROE, R.A.; VISEK, W.J. et al. Comparison of two isotope methods for determination of endogenous fecal calcium. **Journal Nutrition**, v.50, p.459-67, 1953.
- CYMBALUCK, N.F.; CHRISTISON, G.I. Nutrient utilization of pelleted and unpelleted forage by ponies. **Canadian Journal Animal Science**, v.66, p.237-244, 1989.
- ELFERS, R.S.; BAYLY, W.M.; BROBST, D.F. et al. Alterations in calcium, phosphorus and c-terminal parathyroid hormone levels in equine acute renal disease. **Cornell Veterinary**, v.76, n.3, p.317-329, 1986.
- 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, 1995a.
- FERNANDEZ, J.A. Calcium and phosphorus metabolism in growing pigs. III. A model resolution. **Livestock Production Science**, v.41, n.1, p.255-261, 1995b.
- FISKE, C.H.; SUBBARROW, Y. The colorimetric determination of phosphorus. **Journal Biological Chemistry**, v.66, n.2, p.375-400, 1925.
- FURTADO, C.E. **Avaliação da disponibilidade biológica e da perda endógena fecal de fósforo para eqüinos em crescimento. Efeitos de fontes e níveis de fósforo**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 1996. 146p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, 1996.
- FURTADO, C.E.; TOSI, H. Gaiolas de metabolismo para eqüinos. IN: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33., 1996, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1996. p.192.
- GODOFREY, S.L.; SHREWSBURY, C.L. Determination of fluorine in minerals and bones. **Journal Association of Official Agricultural Chemists**, v.28, p.437-443, 1945.
- GOMES, P.C.; BELLAVER, 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.
- GRACE, N.D. Phosphorus kinetics in the sheep. **British Journal of Nutrition**, v.45, p.367-374, 1981.
- HINTZ, H.F. Nutrition del caballo. In: EVANS, J.W.; BORTON, A.; HINTZ, H.F. et al. (Eds.) **El caballo**. Zaragoza: Acrfbia. 1979. p.233-275.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Laboratory training manual on the use of nuclear techniques in animal research**. Vienna: IAEA. 1979. 299p. (Technical Report Series, 193).
- KEBREAB, E.; FRANCE, J. **Biomathematical modeling guidelines for natural resources projects**. Reading: University of Reading, 1999. 9p.
- KOLBE, E. **Fisiologia veterinária**. 2.ed. Zaragoza: Acrfbia. 1979. 1115p.
- LOPES, J.B. **Cinética e metabolismo do fósforo em ruminantes e não ruminantes: modelos matemáticos**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 1999. 84p. Relatório (Pós-Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura/ Universidade de São Paulo, 1999.
- LOPES, J.B.; VITTI, D.M.S.S.; ABDALLA, A.L. et al. Modelo do fluxo do fósforo de fontes de fosfato em suínos, usando-se o ^{32}P como marcador. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.1, p.165-173, 2001.

- McDOWELL, L.R. **Mineral in animal and human nutrition**. San Diego, Califórnia: Academic Press, 1992. 524p.
- NASCIMENTO FILHO, V.F.; LOBÃO, A.O. **Deteção de P-32 em amostras de origem animal e vegetal por efeito Cerenkov, cintilação líquida e detector GM**. Piracicaba: CENA. 1977. 25p. (Boletim Científico, 48)
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Requirements of domestic animals. Nutrient requirements of horses**. 5.rev.ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1989. 100p.
- OTT, E.A. dietary nutrient allowances for horses. **Feedstuffs**, v.64, n.29, p.77-80, 1995.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1974. 56p.
- SAUVANT, D.; BAUMONT, R.; FAVERDIN, P. Development of a mechanistic model of intake and chewing activities of sheep. **Journal of Animal Science**, v.74, n.12, p.1785-2802, 1996.
- SCHNEIDER, K.N.; TERNOUTH, J.H.; SEVILLA, C.C. et al. A short-term study of calcium and phosphorus absorption in sheep fed on diets high and low in calcium and phosphorus. **Australian Journal Agricultural Research**, v.36, p.91-105, 1985.
- SCHRYVER, H.F.; HINTZ, H.F.; CRAIG, P.H. Phosphorus metabolism in ponies fed varying levels of phosphorus. **Journal Nutrition**, v.101, n.10, p.1257-1264, 1971.
- STATISTICAL ANALYSIS SySTEM - SAS. **System for linear models**. Cary: 1986. 211p.
- THOMPSON JR., W.R. Phosphorus in animal nutrition. In: **Phosphorus for agriculture: a situation analysis**. Atlanta: Potash/Phosphate Institute, 1978. p.126-158.
- 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 da diluição isotópica**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares, 1989. 87p. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares / Universidade de São Paulo, 1989.
- 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.
- VITTI, D.M.S.S.; LOPES, J.B.; ABDALLA, A.L. et al. Fluxo de fósforo (P) de diferentes fontes de fosfato em bovinos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.53, n.2, p.218-223. 2001.
- WOLTER, R. **Alimentacion del caballo**. 2.ed. Zaragoza: Acríbia, 1977. 172p.
- ZAGATTO, E.A.G.; KRUG, F.J.; BERGAMIN FILHO, H. et al. Merzing in flow injection analysis. Part 2. Determination of calcium, magnesium and potassium in plant material by flow injection atomic and flame emission spectrometry. **Analytica Chimica Acta**, v.104, p.279-284, 1979.

Recebido em: 05/10/01

Aceito em: 28/04/03