

Deposição óssea de cálcio e fósforo, densidade radiográfica e desenvolvimento corporal em potros alimentados com minerais orgânicos

Bone deposition of calcium and phosphorus, radiographic density and body development in foals fed with organic minerals

Alexandre Augusto de Oliveira GOBESSO¹; Alessandra SOARES¹; Rodrigo Martins RIBEIRO¹; Waleska Tobo TAMAS¹; Iaçanã Valente Ferreira GONZAGA¹

¹ Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Departamento de Nutrição e Produção Animal, Pirassununga – SP, Brasil

Resumo

Foi avaliado o efeito da inclusão de minerais orgânicos na alimentação de potros sobre a concentração óssea de cálcio e fósforo, densitometria óssea e variáveis de desempenho de desenvolvimento e crescimento corporal. Foram utilizados dez potros com peso de $240,7 \pm 30,2$ kg e idade de $10 \pm 0,15$ meses, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em dois tratamentos: dieta formulada com fonte de minerais na forma orgânica ou inorgânica. A dieta foi composta de 40% de volumoso e 60% de concentrado, à qual foi adicionada mistura mineral na forma orgânica ou inorgânica na quantidade de 3% do concentrado. Não foi observado efeito das fontes minerais sobre a deposição óssea de cálcio e fósforo. A densidade óssea foi maior em potros alimentados com fontes minerais orgânicas durante 90 dias, quando comparada aos potros alimentados com minerais em forma inorgânica. Os animais alimentados com minerais orgânicos apresentaram maior ganho de peso médio e diário em relação aos animais alimentados com minerais inorgânicos. O uso de minerais em forma orgânica aumenta a densidade óssea e o ganho de peso de potros em fase de crescimento.

Palavras-chave: Biopsia óssea. Densitometria. Equino. Minerais.

Abstract

This study examined the effect of organic minerals in foals diet evaluating the concentration of bone calcium and phosphorus, bone densitometry and growth and development performance variables. Ten horses weighing 240.7 ± 30.2 kg and 10 ± 0.15 months were used in the study, with two treatments: basal diet with minerals in organic or inorganic forms. The diet was composed of 40% forage and 60% concentrate, which was added as mineral mixture in organic or inorganic quantity of 3% of the concentrate. No effect of mineral sources was observed on bone deposition of calcium and phosphorus. At 90 days, the bone density of foals fed with minerals in organic form was higher than that observed in animals fed with minerals in the inorganic form. Animals fed with organic minerals showed greater weight increase compared to animals fed inorganic mineral. The use of minerals in organic form increases bone density and weight increase in growing foals.

Keywords: Bone biopsy. Densitometry. Equine. Minerals.

Introdução

Na criação de cavalos, a alimentação adotada nos primeiros meses de vida tem papel fundamental no desenvolvimento dos animais. As estruturas de sustentação, ossos e ligamentos têm o seu desenvolvimento impulsionado pela disponibilidade de nutrientes incluídos na dieta, principalmente os minerais. Por outro lado, o treinamento dos potros em fase de desenvolvimento pode acarretar falhas no processo de crescimento ósseo, predispondo-os à menor vida útil para o esporte. Além disso, a nutrição inadequada favorece o aparecimento de doenças ortopédicas do

desenvolvimento. Em potros, o crescimento de ossos longos é rápido e eventuais alterações na densidade e concentração de minerais, que ocorram durante o desenvolvimento, poderão influenciar a resistência óssea durante a vida adulta (BELL et al., 2001).

Correspondência para:

Alexandre Augusto de Oliveira Gobesso
Av. Duque de Caxias Norte, 225 – Jd. Elite
CEP 13630-000, Pirassununga, SP, Brasil
e-mail: gobesso.fmvz@usp.br

Recebido: 04/07/2013

Aprovado: 02/06/2014

Distúrbios nutricionais, como o desequilíbrio na relação cálcio/fósforo, podem causar alterações metabólicas levando a modificações ósseas como a osteodistrofia fibrosa (ESTEPA et al., 2006). Lawrence et al. (1994) relataram que a quantidade de minerais presentes nos ossos pode influenciar a resistência do esqueleto. Em animais em crescimento, a maior deposição e a retenção do cálcio possibilitam a maior mineralização da matriz e resistência do tecido ósseo (PORR et al., 1998).

Os minerais orgânicos são passíveis de captação por vias de peptídeos ou aminoácidos ao invés de vias de captação por íons no intestino delgado, como ocorre com os minerais inorgânicos (GRAVENA et al., 2011). Desse modo, a competição entre minerais pelo mesmo transportador é evitada. Nesse sentido, Armelin et al. (2004) observaram melhor absorção dos minerais: cobre, ferro, potássio, magnésio, manganês e zinco, quando fornecidos para equinos na forma quelatada.

Embora existam poucos estudos sobre o uso de minerais orgânicos na alimentação do cavalo, Gordon et al. (2013) referiram que o fornecimento de minerais quelatados reduziu a excreção de nutrientes nas fezes, o que pode aumentar o desempenho do animal. Esses estudos podem auxiliar o desenvolvimento de produtos e programas de alimentação benéficos para os animais e para o ambiente (CALAMARI; ABENI; BERTIN, 2010). No entanto, no campo da nutrição equina são necessárias pesquisas, mais controladas, para a verificação da possível influência das fontes de nutrientes e aditivos para alimentos sobre a biodisponibilidade, digestibilidade e excreção de nutrientes.

O presente trabalho avaliou o efeito da inclusão de minerais na forma orgânica na dieta de potros em crescimento sobre a concentração óssea de cálcio e fósforo, densitometria óssea e nos parâmetros zootécnicos de desenvolvimento.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pesquisa em Alimentação e Fisiologia do Exercício

em Equinos, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, Câmpus de Pirassununga/SP.

Foram utilizados dez potros, mestiços, machos e fêmeas, com peso de $240,7 \pm 30,2$ kg e idade de $10 \pm 0,15$ meses, alojados em baias individuais de $3,5 \times 3,5$ m, com piso de concreto forrado com maravalha. Os potros tinham acesso controlado à pista de areia para diminuir os efeitos do confinamento.

A dieta foi fornecida na quantidade de 2,5% do peso vivo dos animais, com relação de volumoso e concentrado 40:60, respectivamente, dividida igualmente em duas refeições diárias, atendendo às exigências do National Research Council (2007) para essa categoria animal. Os potros foram alimentados com feno de graminha *Cynodon dactylon* (L.) Pers. cv. Coastcross-1 e concentrado experimental constituído de 12% de grão de aveia, 3,7% de melaço em pó, 51% de milho extrusado, 3% de farelo de soja, 30% de soja extrusada e 0,3% de calcita, de acordo com a composição bromatológica descrita na tabela 1.

O volumoso foi fornecido às 7h e às 15h e o concentrado, às 9h e às 17h. O consumo da dieta foi mensurado diariamente, mediante a diferença entre a quantidade fornecida e eventuais sobras. A água foi fornecida à vontade aos animais durante todo o experimento.

Ao atingirem dez meses de idade, os potros foram agrupados em duplas e cada animal da dupla recebeu aleatoriamente um dos tratamentos. O período de observação teve 90 dias de duração. Foram testadas

Tabela 1 – Composição bromatológica (%) dos componentes da dieta basal de potros em crescimento com base na matéria seca – Pirassununga – 2013

Frações	Concentrado	Volumoso
Energia digestível (mcal/kg) ¹	3,330	2,740
Matéria seca	92,08	89,70
Proteína bruta	14,26	12,84
Cálcio	0,24	0,35
Fósforo	0,22	0,16
Fibra bruta	3,53	28,57
Fibra em detergente neutro	7,42	86,12
Extrato Etéreo	5,88	2,37

¹ Energia digestível mcal/kg foi calculada de acordo com NRC (2007)

duas fontes de minerais na dieta: a) fonte orgânica de minerais (Kromium, Tortuga Companhia Zootécnica Agrária, São Paulo, Brasil); b) fonte inorgânica de minerais (Coequi Plus, Tortuga Companhia Zootécnica Agrária, São Paulo, Brasil). A mistura mineral em forma orgânica ou inorgânica, e de acordo com o tratamento, foi adicionada diretamente ao comedouro, misturada ao concentrado, na quantidade de 3% da MS do concentrado. Os níveis de garantia das misturas minerais são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Composição das misturas minerais na forma orgânica e inorgânica para dietas de potros em crescimento – Pirassununga – 2013

Níveis de Garantia	Orgânico ¹	Inorgânico ²
Ca (%)	13	13
P (%)	7,5	7,5
Zn (mg/kg)	3.700	3.500
Cu (mg/kg)	1.000	1.000
Mn (mg/kg)	2.000	2.000
I (mg/kg)*	90,28	90,28
Co (mg/kg)	14	14
Se (mg/kg)	11	11
Na (%)*	15	15
Cl (%)*	23,07	23,07
S (%)	0,5	0,5
Fe (mg/kg)	2.238	2.570

* Minerais na forma inorgânica em ambas as misturas minerais

¹ Kromium, Tortuga Companhia Zootécnica Agrária, São Paulo, Brasil

² Coequi Plus, Tortuga Companhia Zootécnica Agrária, São Paulo, Brasil

A avaliação do desempenho de crescimento e do desenvolvimento corporal dos potros foi efetuada com os registros quinzenais: altura da cernelha (AC) e da garupa (AG), perímetro torácico (PT), perímetro do joelho (PJ) e da canela (PC) (CABRAL et al., 2004). Os animais foram submetidos às mensurações sempre no mesmo local, em solo plano, contidos por cabresto, as medidas foram tomadas sempre no membro torácico esquerdo.

A estimativa da concentração de Ca e P nos ossos foi obtida por biópsias realizadas a cada trinta dias na tuberosidade sacral do ílio, na área mais acessível, alternando-se os lados (direito e esquerdo) a cada vez, de modo a reduzir efeitos decorrentes da cicatrização. Previamente à realização das biópsias, foram realizadas a sedação (detomidina), a tricotomia e a antis-

sepsia da região, e a anestesia local com lidocaína. O procedimento consistiu em incisão na pele de aproximadamente três centímetros, divulsão do tecido subcutâneo e retirada do fragmento ósseo com um *punch* de 8 mm de diâmetro desenvolvido para realização deste procedimento, acoplado à furadeira de baixa rotação. A sutura de pele foi realizada com fio de poliamida (náilon) agulhado nº 0 padrão festonado.

Os fragmentos ósseos foram acondicionados em álcool 70% para posterior análise. No momento da determinação das concentrações de cálcio (Ca) e fósforo (P), as amostras secas e desengorduradas foram submetidas à temperatura de 600°C por seis horas, em mufla. As cinzas foram solubilizadas a quente, utilizando-se solução de ácido clorídrico 50%. O teor de cálcio foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica e o fósforo pelo método colorimétrico simplificado do ácido molibdovanadofosfórico (BRASIL, 1988).

A avaliação da densidade mineral óssea (DMO) foi efetuada com a técnica de densitometria por imagem radiográfica do terceiro osso metacarpiano (MCIII) direito a cada 30 dias (MEAKIM et al., 1981). A técnica é baseada na comparação da imagem radiográfica da epífise óssea com uma escala de alumínio em forma de trapézio (denominada penetrômetro), e os resultados obtidos são referidos como equivalentes em peso linear de alumínio (peso linear kg/m) (VULCANO et al., 2006). As radiografias foram realizadas com o aparelho de raios-X portátil modelo FNX Jockey 90, com chassi Konex de tamanho 24 x 30cm, contendo filme radiográfico de marca Kodak MXG 24 x 30cm. O Écran Kodak Lanex Regular foi inserido no chassi radiográfico, no qual foi fixado o penetrômetro, composto por 22 degraus de 1 mm cada, tendo medidas de: 80 mm na base menor, 260 mm na base maior e 185 mm de profundidade. Os fatores de exposição utilizados foram 46 kV e 0,8 mAs, com distância foco-filme de 60 cm. A projeção radiográfica utilizada foi a latero-medial e dorso-palmar, que proporcionou imagem da articulação metacarpo-falangeana, juntamente com o penetrômetro. Os filmes radiográficos

foram revelados em processadora automática. Reichmann, Moure e Gamba (2004) referem que a escolha da articulação metacarpo-falangeana para radiografia deve-se à presença do osso terceiro metacarpiano, de fácil acesso e livre de estruturas que possam interferir com a medição das interfaces fisárias.

As imagens foram digitalizadas usando-se *scanner* de mesa Hewlett-Packard (HP), modelo Scanjet 6300C, e convertidas em escala em tons de cinza em programa HP Precision Scan Pro, sendo processadas e analisadas com o auxílio do programa ImageLab (Softium, Sistemas de Informática).

A Densidade Mineral Óssea (DMO) foi efetuada com a digitalização das imagens radiográficas em aparelho de *scanner*, com posterior determinação e análise das imagens digitalizadas e do penetrômetro, utilizando-se o programa computacional IMAGEJ.

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos e cinco repetições por tratamento. As variáveis de posição de cálcio, fósforo, altura de cernelha, garupa, perímetro torácico, perímetro de joelho e canela foram analisadas como medidas repetidas no tempo, observando-se o efeito de tratamento, tempo e interação entre tratamento e tempo. Os resultados foram analisados com o programa computacional Statistical Analysis System (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2004), verificando-se a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk. As variâncias foram comparadas pelo teste de Hartley. Os dados de ganho de peso médio e diário, deposição óssea de Ca e P, alturas de cernelha e garupa, perímetros torácico, joelho e canela foram submetidos à análise de variância, e os efeitos foram avaliados com o modelo geral linear (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2004). Os dados de densitometria óssea foram submetidos à análise de variância.

Resultados

Não foi observado efeito da fonte de minerais sobre o consumo médio diário do volumoso e do concentrado (Tabela 3).

Tabela 3 – Efeito da fonte de mineral na dieta (orgânica e inorgânica) sobre o consumo de feno e mineral (kg MS/dia) de potros em crescimento – Pirassununga – 2013

	Inorgânico	Orgânico	Coef. Var.	Prob.
Feno	1,96	2,07	8,82	0,357
Concentrado	1,53	1,64	14,99	0,451
Mistura mineral	0,045	0,048	18,92	0,547

Da mesma maneira, não houve efeito da fonte mineral sobre as variáveis de desenvolvimento corporal: perímetros de canela (PC), joelho (PJ) e torácico (PT), alturas de garupa (AG) e de cernelha (AC) (Tabela 4). No entanto, o ganho de peso médio por quilo (GPM/kg) e ganho de peso diário por quilo (GPD/kg) foram maiores nos animais alimentados com minerais em forma orgânica.

Os procedimentos cirúrgicos empregados para coleta de amostras destinadas à avaliação de deposição mineral no ílio não apresentaram qualquer tipo de complicação. Não foi observado efeito das fontes minerais da dieta sobre a deposição óssea de Ca e P (Tabela 5).

O resultado da densitometria óssea é apresentado na figura 1. Quando se considerada o período total do experimento (90 dias), observa-se que os animais tratados com minerais na forma orgânica apresentaram um incremento significativo em sua densidade óssea ($p = 0,011$).

Tabela 4 – Efeito da fonte de mineral na dieta (orgânica e inorgânica) sobre as avaliações morfométricas, ganho de peso médio por quilo (GPM/kg) e ganho de peso diário por quilo (GPD/kg) de potros em crescimento – Pirassununga – 2013

	Fontes Minerais			
	Orgânico	Inorgânico	CV	P
PC (cm)	1,5	1,7	0,9944	0,77
PJ (cm)	1,7	1,7	0,6749	1,00
PT (cm)	13,8	15,6	4,0565	0,51
AG (cm)	7,8	6,8	1,9465	0,44
AC (cm)	9,2	8,2	1,2526	0,22
GPM (kg)	92,8 ^a	78 ^b	10,11	0,02*
GPD (kg)	1,007 ^a	0,845 ^b	10,38	0,02*

* Letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$)

Perímetro de canela (PC), perímetro de joelho (PJ), perímetro torácico (PT), altura de garupa (AG), altura de cernelha (AC) e resultados para ganho de peso médio por quilo (GPM/kg) e ganho de peso diário por quilo (GPD/kg)

Tabela 5 – Efeito da fonte de mineral na dieta (orgânica e inorgânica) sobre a deposição mineral óssea (%) de cálcio e fósforo, em potros em crescimento, durante o período experimental de 90 dias – Pirassununga – 2013

	Fonte de Minerais			P
	Orgânico	Inorgânico	CV	
Cálcio, dia 0	6,38	7,73	28,07	0,3125
Cálcio, dia 90	12,63	10,90	33,79	0,5105
Fósforo, dia 0	3,09	3,63	26,12	0,3622
Fósforo, dia 90	6,17	5,17	33,58	0,4293

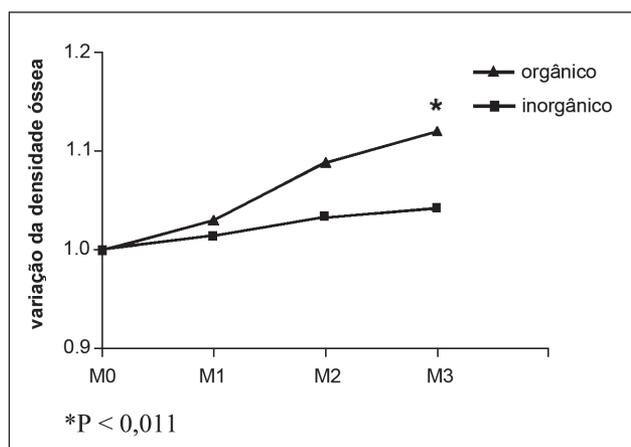


Figura 1 – Efeito da fonte de mineral na dieta (orgânica e inorgânica) sobre a variação da densitometria óssea (1 = 100) de potros em crescimento, de acordo com o tempo de inclusão na dieta, 0, 30, 60 e 90 dias

Fonte: (GOBESSO et al., 2014)

Discussão

No presente trabalho, o ganho de peso médio e diário nos animais alimentados com os minerais orgânicos foi maior que o dos alimentados com minerais inorgânicos. Esses resultados diferem dos obtidos por Ott e Johnson (2001), que descreveram ausência de efeito da fonte mineral sobre o ganho de peso. Esse aumento no ganho de peso pode estar relacionado à maior disponibilidade dos minerais orgânicos para as numerosas reações metabólicas importantes para o crescimento e desenvolvimento animal, uma vez que o peso corporal é diretamente influenciado pela alimentação fornecida para o animal. Por outro lado, os valores encontrados para os parâmetros zootécnicos avaliados estão de acordo com as observações de Gor-

don et al. (2013), e não observaram efeito da adição de minerais orgânicos na digestibilidade dos nutrientes empregados na dieta de equinos.

No presente trabalho, em animais inativos fisicamente, ao final dos 90 dias de experimento, o fornecimento de cálcio na forma orgânica proporcionou maior densidade óssea. Contudo, Porr et al. (1998) não correlacionaram a diferença na densidade óssea com a dieta fornecida, mas, sim, a ausência ou presença da atividade física, uma vez que não foram verificadas alterações na densidade óssea nos diferentes grupos suplementados com minerais orgânicos ou inorgânicos, enquanto essa densidade foi reduzida em potros inativos fisicamente quando comparados aos ativos. Esses autores concluíram que a dieta com cálcio em conjunto com o correto nível de recomendação não previne as perdas minerais ósseas.

A suplementação com minerais na forma orgânica proporcionou maior densidade óssea, quando comparada à forma inorgânica. Esse resultado pode estar relacionado à maior biodisponibilidade das fontes orgânicas de minerais; de fato, para Gravena et al. (2011), a ligação dos minerais às moléculas orgânicas (aminoácidos e peptídeos) facilitaria a absorção e acesso do mineral aos órgãos ou sistema que dele necessitam, aumentando-se, assim, a sua biodisponibilidade.

O aumento na retenção de minerais nos ossos promove benefícios no processo de remodelação óssea em todo o sistema esquelético. Entretanto, quando equinos em treinamento foram suplementados com maior quantidade de Cálcio (34,9 g/dia) e Fósforo (26,4 g/dia), grupo controle Cálcio (28,3 g/dia) e Fósforo (21,9 g/dia), não foram observadas diferenças na deposição óssea entre os tratamentos, porém houve uma tendência de maior deposição no grupo suplementado com maiores quantidades de minerais (NIELSEN et al., 1998).

No presente trabalho, potros suplementados com minerais orgânicos nas mesmas quantidades que os inorgânicos apresentaram melhor resposta na reten-

ção de minerais nos ossos, sem que fosse aumentada a quantidade de suplementação dos minerais. Buchholz-Bryant et al. (2001) relataram maior retenção de cálcio e fósforo em equinos suplementados com quantidades 275% superiores à recomendação do National Research Council (1989), considerado o controle como 100%.

Novos estudos envolvendo o uso de minerais orgânicos na alimentação de equinos precisam ser realizados para obtenção de maiores informações relativas à absorção e metabolismo, de modo a ser obtida uma compreensão mais adequada dos efeitos de tais substâncias no desenvolvimento dos animais.

Referências

- ARMELIN, M. J. A.; ÁVILA, R. L.; PIASENTIN, R. M.; SAIKI, M. Effect of chelated mineral supplementation on the absorption of Cu, Fe, K, Mn and Zn in horse hair. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 258, n. 2, p. 449-451, 2004. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1026278914222>>. Acesso em: 16 jun. 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1026278914222>.
- BELL, R. A.; NIELSEN, B. D.; WAITE, K.; ROSENSTEIN, D.; ORTH, M. Daily access to pasture turnout prevents loss of mineral in the third metacarpus of Arabian Weanlings. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 5, p. 1142-1150, 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Métodos oficiais**. [S.l.]: SNAD-LANARD, 1988. 104 p.
- BUCHHOLZ-BRYANT, M. A.; BAKER, L. A.; PIPKIN, J. L.; MANSELL, B. J.; HALIBURTON, J. C.; BACKMAN, R. C. The effect of calcium and phosphorus supplementation, inactivity, and subsequent aerobic training and mineral balance in young, mature, and age horses. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 21, n. 2, p. 71-77, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0737080601700962>>. Acesso em: 14 maio 2013. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0737-0806\(01\)70096-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0737-0806(01)70096-2).
- CALAMARI, L.; ABENI, F.; BERTIN, G. Metabolic and hematological profiles in mature horses supplemented with different selenium sources and doses. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 2, p. 650-659, 2010. Disponível em: <<http://www.journalofanimalscience.org/content/88/2/650.full>>. Acesso em: 13 jun. 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2009-1855>.
- CABRAL, G. C.; ALMEIDA, F. Q.; QUIRINO, C. R.; AZEVEDO, P. C. N.; PINTO, L. F. B.; SANTOS, E. M. Avaliação morfológica de equinos da raça Mangalarga: índices de conformação e proporções corporais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1798-1805, 2004.
- ESTEPA, J. C.; AGUILERA-TEJERO, E.; ZAFRA, R.; MAYERVALOR, R.; RODRIGUEZ, M.; PEREZ, J. An unusual case of generalized soft-tissue mineralization in a suckling foal. **Veterinary Pathology**, v. 43, p. 64-67, 2006.
- GORDON, M. E.; EDWARDS, M. S.; SWEENEY, C. R.; JERINA, M. L. Effects of added chelated trace minerals, organic selenium, yeast culture, direct-fed microbials, and *Yucca schidigera* extract

Conclusão

Potros alimentados com minerais na forma orgânica apresentaram maior ganho de peso e maior estimativa da densidade óssea que o registrado em animais alimentados com minerais na forma inorgânica. Contudo, os parâmetros de desenvolvimento dos animais foram idênticos para as duas formas de apresentação dos minerais.

Agradecimentos

À Tortuga Companhia Zootécnica Agrária, pelo fornecimento do material necessário para condução do experimento.

in horses. Part I: Blood nutrient concentration and digestibility. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 8, p. 3899-3908, 2013. Disponível em: <<http://www.journalofanimalscience.org/content/91/8/3899.full>>. Acesso em: 15 abr. 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2013-6122>.

GRAVENA, R. A.; MARQUES, R. H.; PICARELLI, J.; SILVA, J. D. T.; ROCCON, J.; HADA, F. H.; QUEIROZ, S. A.; MORAES, V. M. B. Suplementação da dieta de codornas com minerais nas formas orgânicas sobre o desempenho e a qualidade dos ovos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 6, p. 1453-1460, 2011.

LAWRENCE, L. A.; OTT, E. A.; MILLER, G. J.; POULOS, P. W.; PIOTROWSKI G.; ASQUITH, R. L. The mechanical properties of equine metacarpals as affected by age. **Journal of Animal Science**, v. 72, n. 10, p. 2617-2623, 1994.

MEAKIM, D. W.; OTT, E. A.; ASQUITH, R. L.; FEASTER, J. P. Estimation of mineral content of the equine third metacarpal by radiographic photometry. **Journal of Animal Science**, v. 53, n. 4, p. 1019-1026, 1981.

NATIONAL RESEARCH CONCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES – NRC. **Nutrient requirements of horses**. 5th ed. Washington, DC: The National Academies Press, 1989. 100 p.

NATIONAL RESEARCH CONCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES – NRC. **Nutrient requirements of horses**. 6th ed. Washington, DC: The National Academies Press, 2007. 341 p.

NIELSEN, B. D.; POTTER, G. D.; GREENE, L. W.; MORRI, E. L.; MURRAY-GERZIK, M.; SMITH, W. B.; MARTIN, M. P. Characterization of changes related to mineral balance and bone metabolism in the young racing quarter horse. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 18, n. 3, p. 190-200, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0737080698803742>>. Acesso em: 28 maio 2013. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0737-0806\(98\)80374-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0737-0806(98)80374-2).

OTT, E. A.; JOHNSON, E. L. Effect of trace mineral proteinates on growth and skeletal and hoof development in yearling horses. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 21, n. 6, p. 287-291, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0737080601700597>>. Acesso em: 11 abr. 2013. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0737-0806\(01\)70059-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0737-0806(01)70059-7).

PORR, C. A.; KRONFELD, D. S.; LAWRENCE, L. A.; PLEASANT, R. S.; HARRIS, P. A. Deconditioning reduces mineral content of the third metacarpal bone in horses. **Journal of Animal Science**, v. 76, n. 7, p. 1875-1879, 1998.

REICHMANN, P.; MOURE, A.; GAMBA, H. R. Bone mineral content of the third metacarpal bone in quarter horse foals from birth to one year of age. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 24, n. 9, p. 391-396, 2004.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **SAS user's guide: statistics**. Version 9.1 Cary: SAS Institute Inc., 2004. 1040 p.

VULCANO, L. C.; MENDES, R. G.; GODOY, C. L. B.; MACHADO, V. M. V.; BICUDO, A. L. C. Padronização da densidade mineral óssea (DMO) do acessório do carpo em equinos atletas da raça Quarto de Milha. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 520-524, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782006000200024&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 25 maio 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000200024>.