

XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas
XIII Reunião Brasileira sobre Micorrizas
XI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo
VIII Reunião Brasileira de Biologia do Solo
Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010.
Centro de Convenções do SESC

Produção de matéria seca pela alfafa em função da solubilização do fósforo da rocha fosfática em mistura com zeólita

Alberto C. de Campos Bernardi⁽¹⁾; Rodrigo Donizetti Cardoso⁽²⁾

(1) Pesquisador – Bolsista do CNPq, Embrapa Pecuária Sudeste, Cx. Postal 339, São Carlos, SP, CEP: 13560-970
alberto@cppse.embrapa.br (apresentador do trabalho); (2) Graduando em Agronomia, UNICASTELO, Descalvado, SP,
r.donizetti@bol.com.br

RESUMO – Zeólitas são minerais aluminossilicatos cristalinos hidratados de ocorrência natural, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas que podem ser usados para aumentar a eficiência do uso de nutrientes para as plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de zeólita em mistura com fosfato de rocha sobre a produção de matéria seca da alfafa. O experimento foi conduzido em vasos em casa de vegetação, em vasos com 3 kg de solo. O delineamento experimental foi o composto central modificado de um fatorial 5^2 fracionado. As doses de P_2O_5 foram: 0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ e as relações de zeólita: 0, 25, 50, 100 e 200% aplicadas de uma única vez no plantio. Foram utilizados dois tipos de zeólita: clinoptilolita e estilbita e 3 fontes de fósforo: supertriplo, fosfato de rocha do Marrocos e de Cajati. Foram realizados três cortes nas plantas de alfafa. Os resultados para os 3 cortes realizados indicaram que o efeito da mistura de zeólita com rocha fosfática pode ser observado com a fonte de menor solubilidade, o fosfato de Cajati. A espécie de zeólita clinoptilolita foi mais eficiente no aumento da solubilização do fosfato de rocha de Cajati.

Palavras-chave: *Medicago sativa*, fosfato do Marrocos, fosfato de Cajati

INTRODUÇÃO - No Brasil, o fósforo é o elemento cuja falta mais frequentemente limita a produção agrícola. Este é um dos nutrientes que tem apresentado as maiores e as mais frequentes respostas quando aplicado à cultura da alfafa. De acordo com Sarmiento et al. (2001), em consequência do baixo nível de P nos solos, a longevidade da cultura e a produção são diretamente dependentes da adubação fosfatada para o estabelecimento e para a manutenção do estande.

Para suprir a necessidade deste nutriente, os fosfatos solúveis em água são as melhores fontes de adubos fosfatados, porém, são os de custo mais elevados. Existem os fosfatos de rocha nacionais que são de menor preço, mas apresentam baixa eficiência agrônoma em relação às fontes solúveis. Por isso, o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem o aumento da disponibilidade deste nutriente da rocha possa ter grande interesse agrônomo.

As zeólitas são minerais aluminossilicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalino-terrosos, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas, formadas por tetraedros de AlO_4 e SiO_4 , cujos anéis ao se unirem compõem um sistema de canais, de cavidades e de poros. Esses minerais caracterizam-se pela facilidade de reter e de liberar água e de trocar cátions sem modificar sua estrutura (Mumpton, 1999; Kithome et al., 1999). Eles apresentam propriedades de adsorção e capacidade de troca de íons, e potencialmente podem ser usados no campo, ou no cultivo com substratos (Harland et al., 1999).

Existem relatos de que a zeólita modificada por diferentes vias, como através da troca com cátions monovalentes (como H^+ , NH_4^+ , K^+ ou Na^+) podem solubilizar o fósforo dos fosfatos de rocha (Allen et al., 1993; Allen et al., 1995; Pickering et al., 2002; Barbarick et al., 1990; Bernardi et al., 2010). Os resultados de Tung-Ming & Dennis (1986) indicam que solubilização do fósforo da rocha fosfórica com o uso de zeólita modificada com a adição de cátions de amônio e sódio, foi três vezes superior a zeólita natural, e a forma ácida significativamente superior às outras formas. Esta característica está associada ao fato de que, quando da liberação do íon amônio adsorvido na estrutura zeolítica, a estrutura fica carregada negativamente, necessitando de um íon

positivo. Quando intimamente misturada com a rocha fosfática, a zeólita pode então capturar um íon cálcio da estrutura da apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3^+$, nas formas hidroxi-, cloro- ou fluorapatita), comum na rocha fosfática, desestruturando quimicamente o mineral e solubilizando-o (Del Pino et al., 1995; Bansiwali et al., 2006; Yusupov et al., 2006).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de zeólita em mistura com fosfato de rocha sobre a produção de matéria seca da alfafa.

MATERIAL E MÉTODOS - O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação da Embrapa Pecuária Sudeste em São Carlos - SP. A alfafa (*Medicago sativa* L.) cv. Crioula foi semeada em vasos com 3 kg de terra. Foi utilizado um Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura média.

As características químicas do solo, na camada de 0-20 cm, antes do início do experimento, foram respectivamente: $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 4,5$; $\text{M.O.} = 18 \text{ g dm}^{-3}$; $\text{P}_{\text{resina}} = 3 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K} = 0,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Ca} = 11 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{H+Al} = 39 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al}^{3+} = 4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{CTC} = 55 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{V} = 29\%$; $\text{B} = 0,16 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Cu} = 0,6 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Fe} = 15 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Mn} = 2,5 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Zn} = 0,3 \text{ mg dm}^{-3}$ e as características físicas: areia = 637 g kg^{-1} ; argila = 312 g kg^{-1} ; e silte = 51 g kg^{-1} .

Na semeadura as sementes foram inoculadas com *Rhizobium melilot*. O solo recebeu calagem com calcário dolomítico, com base nos resultados da análise de solo, para atingir as saturações por base de 80%. Os micronutrientes foram fornecidos na dose equivalente a 30 kg ha^{-1} do produto FTE-BR12.

Foi realizado um estudo de superfície de resposta baseado em desenho experimental composto central modificado de um fatorial 5^2 fracionado, de acordo com Littell & Mott (1975). Segundo esse esquema, são obtidas 13 combinações entre as doses de fósforo e relações de zeólita. As doses de P_2O_5 foram: testemunha, 50, 100, 200 e 300 kg ha^{-1} . As relações de zeólita (com base na dose de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ m/m}$) foram: 0, 25, 50, 100 e 200%. As fontes de P utilizadas foram superfosfato triplo granulado (46,0% P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio + água), fosfato de rocha do Marrocos (31,0 % P_2O_5 total) e fosfato de rocha de Cajati (Jacupiranga) (5,5 % P_2O_5 total). Foram utilizadas 2 zeólitas naturais de origem diferentes: estilbita (brasileira) e clinoptilolita (cubana). Foram feitas misturas das fontes de fósforo e as zeólitas, e as misturas foram aplicadas de uma única vez no plantio.

A colheita foi realizada quando as plantas apresentavam 10% de florescimento. Os cortes foram realizados a 5 cm do nível do solo. Este trabalho refere-se aos resultados obtidos nos primeiros 3 cortes. Para determinação da matéria

seca, as amostras foram levadas para estufa com circulação forçada ar a 65°C por um período de 72 horas.

Após análise de variância, foram ajustadas superfícies de resposta para a produção de matéria seca de alfafa em função das doses de P_2O_5 e relações de zeólita.

RESULTADOS E DISCUSSÃO - A Figura 1 ilustra a produção de matéria de seca da parte aérea da alfafa em função das doses de P_2O_5 e relações de zeólita para as combinações de fosfato do Marrocos e estilbita (A); fosfato do Marrocos e clinoptilolita (B); fosfato de Cajati e estilbita (C); fosfato de Cajati e clinoptilolita (D); superfosfato triplo e estilbita (E); superfosfato triplo e clinoptilolita (F).

Houve aumento significativo de produção de MS da alfafa devido à adubação fosfatada nos três primeiros cortes avaliados (Figura 1). O efeito favorável da adição de P na produção de alfafa foi também observado por Sarmento et al. (2001) e Moreira & Malavolta (2001). O uso das zeólitas foi mais marcante com a fonte menos solúvel (fosfato de Cajati).

As doses que proporcionaram as produções máximas estimadas de matéria seca (31,1, e 35,9 g por vaso) da parte aérea da alfafa (Figura 1) foram obtidas com as doses máximas utilizadas, equivalentes a 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de fosfato do Marrocos e, com o uso de 0 e 5% de estilbita e clinoptilolita, respectivamente. Para a fonte superfosfato triplo, as doses que proporcionaram as produções máximas de MS (26,2 e 23,8 g por vaso) foram obtidas com as doses de 300 e 280 kg ha^{-1} P_2O_5 e com 0 e 142% de estilbita e clinoptilolita, respectivamente. Já as produções máximas obtidas com o fosfato de Cajati foram 12,2 e 14,8 g por vaso, obtidas, respectivamente, com as doses de 289 e 300 kg ha^{-1} P_2O_5 associada às doses de 200 e 85% de estilbita e clinoptilolita. Em experimento conduzido em vasos com fontes e doses de P em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, Moreira & Malavolta (2001) verificaram que a dose estimada para obtenção da produção máxima foi de $179,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de P.

O fosfato de rocha de Cajati ou Jacupiranga, uma apatita de origem ígnea de complexo alcalino-carbonatítico, faz parte do grupo de rochas fosfáticas de muito baixa eficiência, como as de Tapira e Catalão (León et al., 1986). Os resultados confirmam os estudos de Lehr & McClellan (1972), segundo o qual o fosfato do Marrocos apresenta eficiência de 100% comparada ao super triplo.

O superfosfato triplo por ser solúvel em água, geralmente, supera os fosfatos naturais no início dos ciclos de cultivo. No entanto, os resultados de matéria seca produzida nos 3 cortes do experimento,

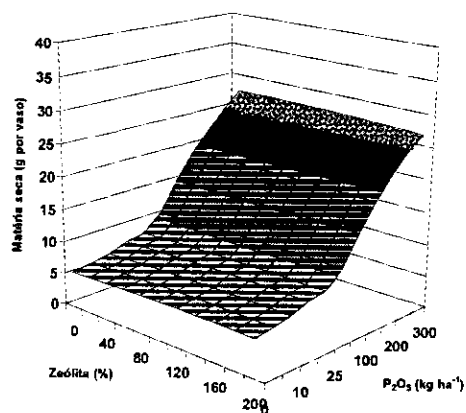
pelo superfosfato triplo foram 16 e 34% inferiores às obtidas com o fosfato do Marrocos, utilizando as zeólitas estilbita e clinoptilolita.

CONCLUSÕES – Os resultados para os 3 cortes realizados indicaram que o efeito da mistura de zeólita com rocha fosfática pode ser observado com a fonte de menor solubilidade, o fosfato de Cajati. A espécie de zeólita clinoptilolita foi mais eficiente no aumento da solubilização do fosfato de rocha de Cajati.

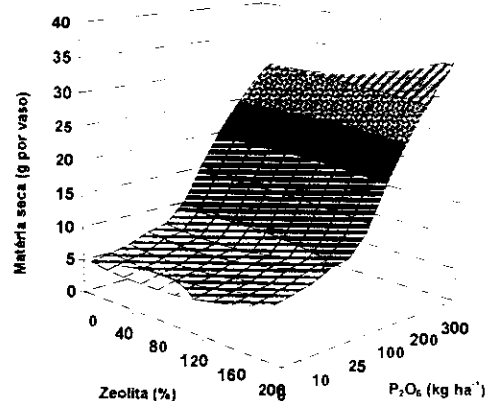
AGRADECIMENTOS – Ao CNPq pelo apoio financeiro no desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

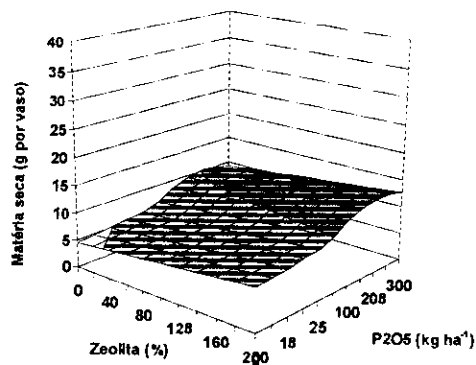
- ALLEN, E.; HOSSNER, L.; MING, D.; HENNINGER, D. Solubility and cation exchange in phosphate rock and saturated clinoptilolite mixtures. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 1368–1374, 1993.
- ALLEN, E.; MING, D.; HOSSNER, L.; HENNINGER, D.; GALINDO, C. Growth and nutrient uptake of wheat in a clinoptilolite-phosphate rock substrate. *Agron. J.*, 87: 1052-1059, 1995.
- BANSIWAL, A.; RAYALU, S.; LABHASETWAR, N.; JUWARKAR, A.; DEVOTTA, S. Surfactant-modified zeolite as a slow release fertilizer for phosphorus. *J. Agric. Food Chem.*, v.54, p.4773-4779, 2006.
- BARBARICK, K. A.; LAI, T. M.; EBERL, D. D. Exchange fertilizer (phosphate rock plus ammonium-zeolite) effects on sorghum-sudangrass. *Soil Sci Soc Am J*, 54: 911-916, 1990.
- BERNARDI, A.C.C. et al. Dry matter production and nutrient accumulation after successive crops of lettuce, tomato, rice, and andropogongrass in a substrate with zeolite. *R. Bras. Ci. Solo*, 34: 435-442, 2010.
- DEL PINO, J. S. N.; ARTEAGA PADRON, I. J.; GONZALEZ MARTIN, M. M.; GARCIA HERNANDEZ, J. E. Phosphorus and potassium release from phillipsite-based slow-release fertilizers. *J. Controlled Release*, 34:25-29, 1995.
- HARLAND, J.; LANE, S.; PRICE, D. Further experiences with recycled zeolite as a substrate for the sweet pepper crop. *Acta Horticulturae*, 481:187-194, 1999.
- KITHOME, M.; PAUL, J. W.; LAVKULICH, L. M.; BOMKE, A. A. Effect of pH on ammonium adsorption by natural zeolite clinoptilolite. *Communications on Soil Science and Plant Analysis*, 30: 1417-1430, 1999.
- LEHR, J. R. & G. H. MCCLELLAN. 1972. A revised laboratory reactivity for evaluating phosphate rocks for direct application. Muscle shoals. National Fertilizer Development Center, Alabama. 36p. (Bulletin, Y-43).
- LEÓN, L. A.; FENSTER, W. E.; HAMMOND, L. L. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Perú and Venezuela. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 : 780-02, 1986.
- LITTELL, R.C.; MOTT, G.O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. *Soil Crop Soc Florida Proc*, 34: 94-97, 1975.
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Fontes e doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. *Pesq. Agrop. Bras.*, 36: 1519-1527, 2001.
- MUMPTON, F. A. La roca magica: uses of natural previous zeolites in agriculture and industry. *Proc National Academy Sci United States of America*, 96: 3463-3470, 1999.
- PICKERING, H. W.; MENZIES, N.W.; HUNTER, M.N. Zeolite/rock phosphate—a novel slow release phosphorus fertiliser for potted plant production. *Scientia Horticulturae*, 1768: 1–11, 2002.
- SARMENTO, P.; CORSI, M.; CAMPOS, F. P. Resposta da alfafa a fontes de fósforo associadas ao gesso e à calagem. *Scientia Agricola*, 58: 81-390, 2001.
- TUNG-MING, L.; DENNIS, D. Controlled and renewable release of phosphorous in soils from mixtures of phosphate rock and NH₄-enchanged clinoptilolite. *Zeolites*, 6:129-132, 1986.
- YUSUPOV, T.; SHUMSKAYA, L.; KIRILLOVA, E.; BOLDYREV, V. Reactivity of mechanically activated apatite and its interaction with zeolites. *J Mining Sc*, 42:189-194, 2006.



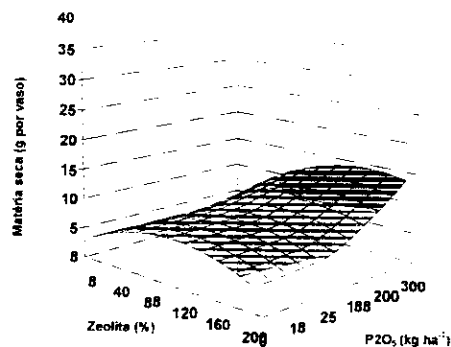
$$Y = -0,0001P^2 + 0,106P - 0,00002Z^2 + 0,007Z - 0,00002PZ + 5,539 \quad R^2 = 0,963^{***}$$



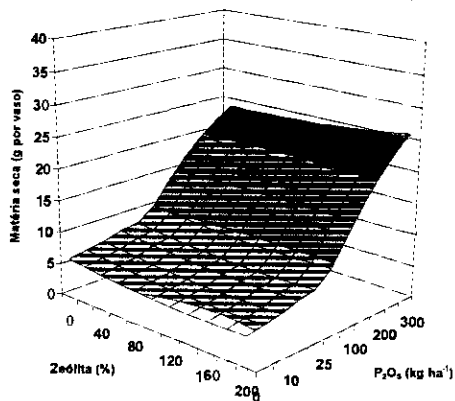
$$Y = -0,0001P^2 + 0,12P - 0,0002Z^2 + 0,023Z - 0,00004PZ + 5,009 \quad R^2 = 0,991^{***}$$



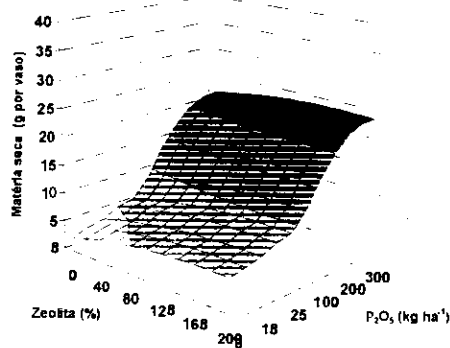
$$Y = -0,0001P^2 + 0,052P - 0,000003Z^2 + 0,017Z + 0,000003PZ + 4,454 \quad R^2 = 0,786^*$$



$$Y = 0,00003P^2 - 0,006P - 0,0004Z^2 + 0,074Z + 0,00014PZ + 3,723 \quad R^2 = 0,62^*$$



$$Y = -0,0001P^2 + 0,085P + 0,0001Z^2 - 0,02Z + 0,0001PZ + 6,266 \quad R^2 = 0,947^{**}$$



$$Y = -0,0003P^2 + 0,132P - 0,0001Z^2 + 0,0402Z - 0,00003PZ + 2,419 \quad R^2 = 0,923^{**}$$

Figura 1. Produção de matéria de seca da parte aérea da alfafa em função das doses de P_2O_5 e relações de zeólita: (A) fosfato do Marrocos e estilbita; (B) fosfato do Marrocos e clinoptilolita; (C) Fosfato de Cajati e estilbita; (D) fosfato de Cajati e clinoptilolita; (E) superfosfato triplo e estilbita; (F) superfosfato triplo e clinoptilolita. Resultados de 3 cortes.