

Solubilidade e Eficiência Agronômica de Fosfatos Naturais Reativos Avaliados com a Cultura da Soja em um Latossolo de Cerrado

Djalma M. Gomes de Sousa, Thomaz A. Rein, Edson Lobato (*Embrapa Cerrados, BR 020, Km 18, Caixa Postal 08223, 73010-970, Planaltina, DF, dmg Sousa@cpac.embrapa.br*)

Termos para indexação: Adubação fosfatada, fósforo, fosfato reativo, fosfato natural, efeito residual.

Introdução

O fósforo (P) é um dos nutrientes mais importantes para a produção agropecuária nos Cerrados, contudo sua disponibilidade nos solos em condições naturais é muito baixa. Portanto, é imprescindível a prática da adubação fosfatada para se obter produções satisfatórias nos diferentes sistemas de produção agrícola. Os preços dos fertilizantes têm aumentado muito nos últimos anos, com destaque para os fosfatados solúveis. Os fosfatos naturais reativos (FNR) podem ser uma alternativa com menor custo, desde que apresentem boa eficiência agronômica.

No Brasil, a importação de FNR na forma farelada (não-moída) teve início na década de 1990. Como esses produtos não sofrem moagem, apresentam granulometrias grosseiras, com a maior parte das partículas entre 0,15 mm e 0,50 mm. Eles são de origem sedimentar e apresentam elevado grau de substituições isomórficas, principalmente de PO_4^{3-} por $\text{CO}_3^{2-} + \text{F}^-$, e de Ca^{2+} por Mg^{2+} e Na^+ (McClellan e Gremillion, 1980). A solubilidade em soluções extratoras diversas (McClellan e Gremillion, 1980), a reatividade ou taxa de dissolução no solo e o aproveitamento do P pelas plantas (Chien e Hammond, 1978; Anderson et al., 1985; Smalberger et al., 2006) estão diretamente associados à taxa de substituição isomórfica. Em virtude das boas correlações entre solubilidade dos fosfatos naturais em extratores com respostas das culturas, é possível classificar estes fosfatos (Leon et al., 1986). Tisdale et al. (1993) propõem que, para classificar um fosfato natural como altamente reativo, a amostra moída deve apresentar uma solubilidade em ácido fórmico 2 % e ácido cítrico 2 % maior que 65 % e 40 %, respectivamente.

Vários trabalhos com diferentes espécies vegetais indicam que os FNR apresentam comportamento satisfatório nos solos dos Cerrados, com possibilidade de substituir

parcialmente ou totalmente os fertilizantes fosfatados solúveis tradicionais (Sousa et al., 1999).

Neste trabalho, são relatadas respostas da cultura da soja a sete FNR não-móidos, tendo como referência o superfosfato triplo granulado, como também a relação entre eficiência agrônômica e solubilidade desses fosfatos em extratores.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido nas instalações da Embrapa Cerrados em Planaltina, DF, num Latossolo Vermelho distrófico argiloso, tendo início em 1997. Antes do primeiro cultivo, foram aplicados calcário, para elevar a saturação por bases a 50 %, micronutrientes na forma de FTE BR 12 (100 kg/ha), potássio na dose de 180 kg/ha de K₂O (KCl) e enxofre na dose de 75 kg/ha S (gesso). As sementes foram inoculadas anualmente com rizobium, juntamente com aplicação de cobalto e molibdênio. Anualmente foram efetuadas adubações de manutenção com potássio e enxofre, segundo Sousa e Lobato (2002).

Foram avaliadas sete fontes de fósforo em diferentes doses por um período de 6 anos, tendo como referência o superfosfato triplo, em um total de 20 tratamentos dispostos em blocos casualizados com três repetições. Para o presente trabalho, foram utilizados os dados de nove tratamentos, sendo sete fontes de FNR (Tabela 1) aplicados a lanço na dose de 240 kg/ha P₂O₅ antes do primeiro cultivo e incorporados com arado de discos, o superfosfato triplo (ST) como fonte de referência, na mesma dose e incorporação, e um tratamento sem fósforo. O experimento foi cultivado com o sistema de preparo convencional anual do solo (uma aração e uma gradagem – arado de discos e grade niveladora).

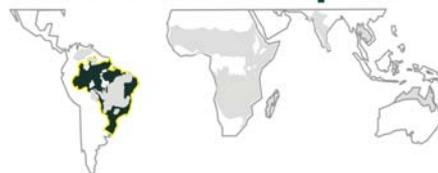


Tabela 1. Características químicas dos fertilizantes fosfatados¹.

Fonte de P	P total P ₂ O ₅	Solubilidade em relação ao P ₂ O ₅ total	
		Ac. cítrico 2 % (1:100)	Ac. fórmico 2 % (1:100)
		-----%-----	
Arad	32,3	35	58
Argélia	29,0	37	68
C. Norte	29,8	44	76
Marrocos 1	31,1	32	58
Marrocos 2	30,8	35	62
Marrocos 3	26,4	37	64
Gafsa	28,2	45	75
ST	43,8	100	100

¹ Análises efetuadas com amostras moídas (< 0,063 mm)

A soja (cv. Conquista) foi semeada anualmente no início de novembro (o primeiro cultivo foi em novembro de 1997), e o experimento irrigado por aspersão quando ocorreu veranico. As dimensões das parcelas foram de 4 m x 8 m (12 m² de área útil), com espaçamento entre linhas de 0,45 m, e, aproximadamente, 25 plantas por metro linear.

Foram avaliados anualmente os rendimentos de grãos. A palha foi devolvida às parcelas. A eficiência agronômica dos FNR foi quantificada a partir do rendimento de grãos e expressa pelo índice de eficiência agronômica (IEA).

$$IEA = \frac{\text{Rendimento com FNR} - \text{Rendimento sem fósforo}}{\text{Rendimento com ST} - \text{Rendimento sem fósforo}} \times 100$$

Resultados e Discussão

Os rendimentos de grãos de soja para as oito fontes de fósforo e o tratamento sem aplicação desse nutriente nos seis cultivos sucessivos, como também os rendimentos acumulados de todos dos cultivos, estão apresentados na Tabela 2. Foi observada resposta significativa a fósforo em todos os cultivos.

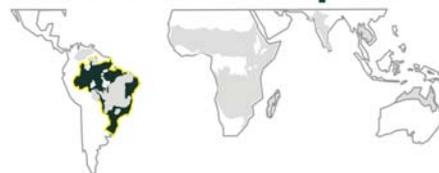


Tabela 2. Rendimentos de grãos de soja em seis cultivos sucessivos e acumulados em resposta a fontes de fósforo aplicadas a lanço, antes do primeiro cultivo, na dose de 240 kg/ha P₂O₅.

Fontes de P	Cultivos						Acumulado
	1	2	3	4	5	6	
	-----t/ha-----						
Arad	2,96	2,66	1,60	1,71	1,23	0,82	10,99
Argélia	3,03	2,76	1,86	1,60	1,10	0,56	10,92
C. Norte	3,10	3,12	2,10	1,91	1,11	0,59	11,93
Marrocos 1	2,41	2,42	1,86	2,05	1,22	0,69	10,64
Marrocos 2	3,12	2,71	1,65	2,01	1,38	0,87	11,74
Marrocos 3	2,92	2,30	1,66	1,82	1,23	0,77	10,70
Gafsa	3,10	3,32	1,97	1,89	1,05	0,58	11,92
ST	3,60	2,92	1,69	1,42	1,00	0,59	11,22
Sem P	0,17	0,10	0,16	0,36	0,22	0,05	1,05
DMS (5%)	0,54	0,55	0,38	0,50	0,26	0,23	1,67
C.V. (%)	11,6	13,8	13,3	17,5	13,2	18,6	9,5

No primeiro cultivo, os FNR de Arad, Argélia, Marrocos 1 e Marrocos 3 tiveram rendimento de grãos inferiores significativamente em relação ao ST, e os demais FNR não diferiram significativamente da fonte de referência. No segundo cultivo, apenas o rendimento de grãos obtido com o FNR Marrocos 3 foi significativamente inferior em relação ao ST. No terceiro cultivo, o rendimento de grãos com o FNR de Carolina do Norte foi significativamente superior em relação ao ST. No quarto cultivo, os rendimentos de grãos dos tratamentos onde foram aplicados os FNR Marrocos 1 e Marrocos 2 foram significativamente superiores em relação ao ST. No quinto cultivo, os tratamentos em que foram utilizados os FNR de Arad, Marrocos 2 e Marrocos 3 apresentaram rendimentos de grãos de soja significativamente superiores em relação ao ST, observando-se o mesmo comportamento para o FNR Marrocos 2 no sexto cultivo. De uma maneira geral, após o terceiro cultivo, o rendimento de grãos de soja dos tratamentos com FNR foram iguais ou superiores ao ST. Considerando-se a soma de todos os cultivos, não há diferenças significativas entre os FNR e o ST.

A eficiência agrônômica dos FNR foi quantificada pelo índice de eficiência agrônômica (IEA) e está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Índice de eficiência agrônômica (IEA) de fontes de fósforo, avaliados com a cultura da soja, em seis cultivos sucessivos e acumulados, na dose de 240 kg/ha de P₂O₅ aplicada a lanço antes do primeiro cultivo.

Fontes de P	IEA						Acumulado
	1	2	3	4	5	6	
	-----%-----						
Arad	82	91	94	128	130	143	98
Argélia	83	94	111	117	114	94	97
C. Norte	86	107	126	146	115	99	107
Marrocos 1	65	82	111	160	129	118	94
Marrocos 2	86	93	97	156	149	151	105
Marrocos 3	80	78	98	137	130	132	95
Gafsa	86	114	118	145	107	97	107
ST	100	100	100	100	100	100	100

Considerando-se como boa eficiência relativa o IEA maior ou igual a 80 %, apenas os FNR Marrocos 1 e Marrocos 3 foram inferiores a esse valor no primeiro e segundo cultivos, respectivamente (Tabela 3). De uma maneira geral, após o segundo cultivo, todas as fontes de fósforo tiveram comportamento semelhante e em alguns casos até mesmo superior em relação ao ST. Considerando os seis cultivos, pode-se destacar o comportamento dos FNR de Carolina do Norte, Marrocos 2 e Gafsa. Isso evidencia o alto potencial desses fosfatos naturais reativos como fonte alternativa de fósforo.

Na Fig. 1, está apresentada a relação entre os IEA nos seis cultivos e a solubilidade dos FNR em ácido cítrico 2 %. Nos três primeiros cultivos, o IEA foi diretamente associado à solubilidade em ácido cítrico. No quarto cultivo, não houve relação entre o IEA e a solubilidade em ácido cítrico. No quinto e sexto cultivos, houve um comportamento inverso em relação aos três primeiros cultivos, evidenciando o maior efeito residual dos fosfatos de menor solubilidade. As mesmas tendências foram observadas em relação à solubilidade em ácido fórmico.

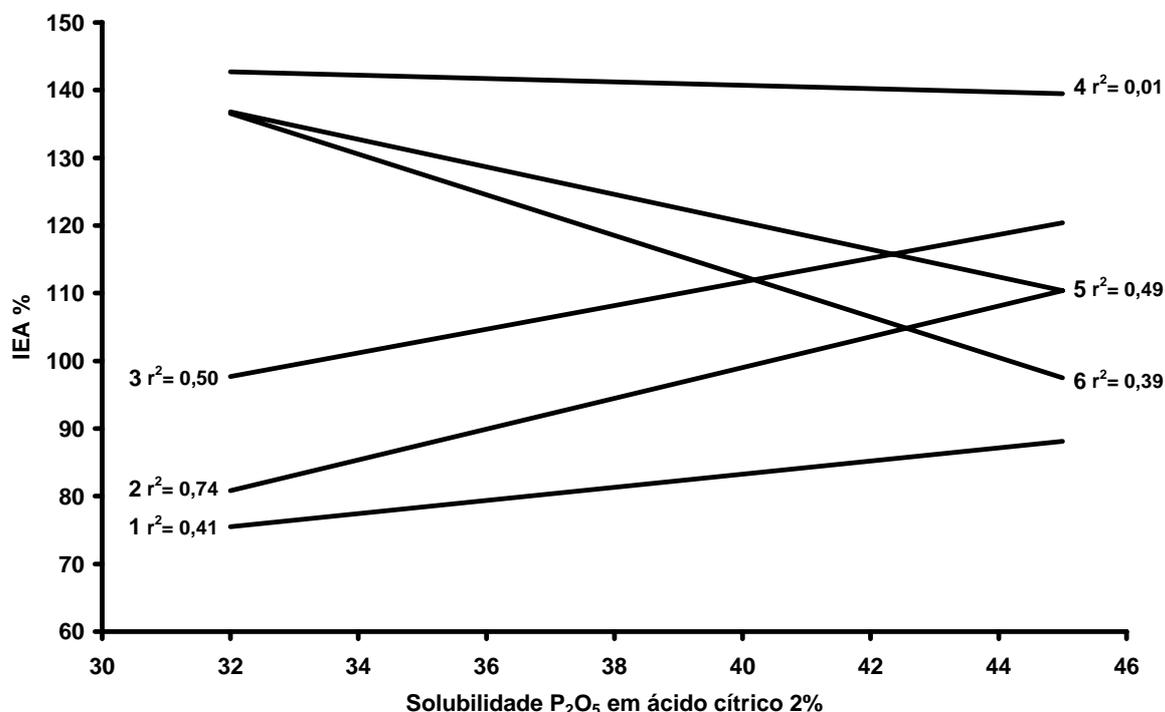
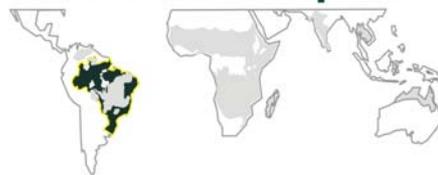


Fig. 1. Relação entre o índice de eficiência agrônômica (IEA) e a solubilidade em ácido cítrico dos fosfatos naturais reativos avaliados durante seis anos (1 - 6).

Devido a esse comportamento diferenciado entre o IEA e solubilidade dos FNR em função dos cultivos, é possível utilizar os extratores para inferir sobre a velocidade de reação desses fosfatos com o solo. Assim, foi calculado o IEA com a soma dos rendimentos de soja nos três primeiros cultivos, relacionando-o com a solubilidade nos extratores ácido cítrico e ácido fórmico (Fig. 2). Em virtude da boa relação observada, a utilização de qualquer um desses extratores pode ser utilizada como um indicativo do comportamento inicial dos diferentes FNR nos primeiros anos. De uma maneira geral, quanto maior a solubilidade em ácido cítrico ou fórmico do FNR, maior seu IEA.

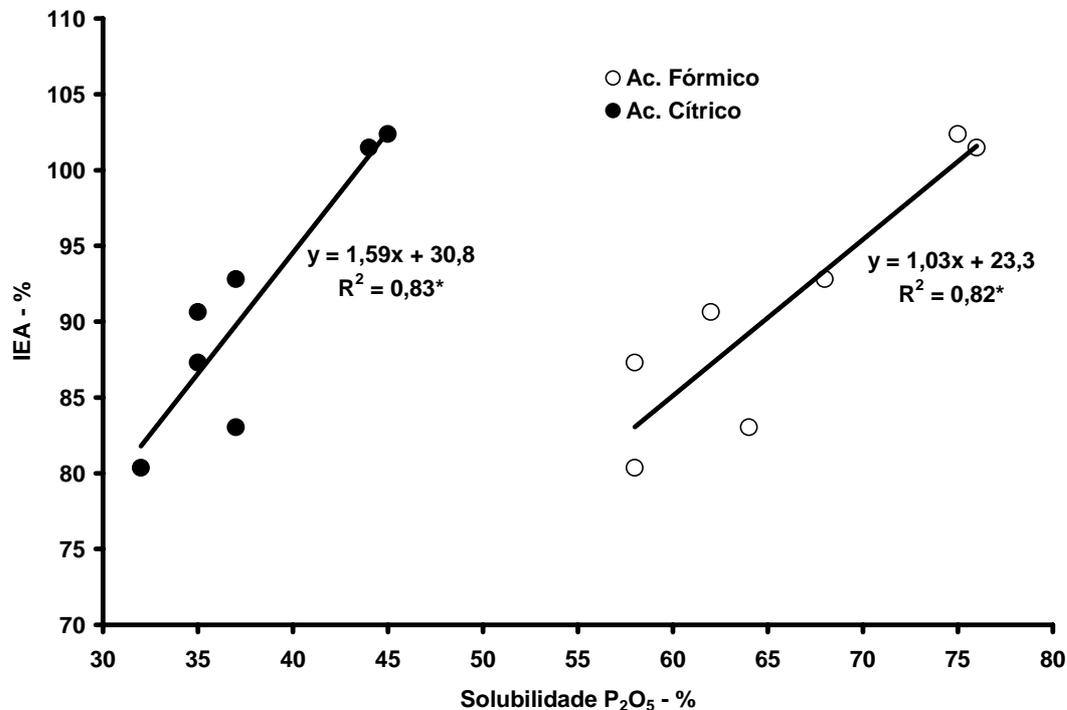


Fig. 2. Relação entre a solubilidade do fósforo dos fosfatos naturais reativos nos extratores ácido cítrico 2 % e ácido fórmico 2 % e o índice de eficiência agrônômica (IEA) computados a partir dos rendimentos de grãos acumulados durante os três anos iniciais.

Conclusões

Os resultados confirmam a capacidade preditiva dos índices de solubilidade dos fosfatos naturais reativos, diretamente associados à eficiência agrônômica inicial desses produtos utilizados na adubação corretiva de Latossolo argiloso de Cerrado. Em meio prazo (> 3 anos), o efeito residual dos fosfatos naturais reativos de menor solubilidade foi equivalente ou mesmo um pouco superior em relação ao superfosfato triplo e aos fosfatos reativos de maior solubilidade.

Referências

ANDERSON, D.L.; KUSSOW, W.R. & COREY, R.B. Phosphate rock dissolution in soil: Indications from plant growth studies. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, 49:918-25, 1985.

CHIEN, S.H.; HAMMOND, L.L. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.42, p.935-939, 1978.



Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais

12 a 17 de outubro de 2008
ParlaMundi, Brasília, DF



LEON, L.A.; FENSTER, W.E. & HAMMOND, L.L. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Perú and Venezuela. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, v.50, p.798-802, 1986.

McCLELLAN, G.H.; GREMILLION, L.R. Evaluation of phosphatic raw materials. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J. (Ed.). *The Role of Phosphorus in agriculture*. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1980. p.43-80.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. *Soil Fertility and Fertilizers*, 5th ed. New York: Mucmillan, 1993. 634p.

SMALBERGER, S.A.; SINGH, U.; CHIEN, S.H.; HENAO, J.; WILKENS, P.W. Development and validation of a phosphate rock decision support system. *Agron. J.*, v.a8, p.471-483, 2006.

SOUSA, D.M.G. de; REIN, T. A.; Lobato, E.; Soares, W. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na região dos cerrados. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 27, 1999, Brasília, DF. [Ciência do solo e qualidade de vida: anais]. [Planaltina: EMBRAPA CERRADOS, 1999]. CD-ROM.

SOUSA, D.M.G de, LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D.M.G de, LOBATO, E. (Ed). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. p. 283-316.