



FERTBIO 2012

A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola
17 a 21 de Setembro - Centro de Convenções - Maceió/Alagoas

Eficiência de fosfatos reativos em função de doses de P e índices de saturação por bases do solo e sua influência na produção de matéria seca de milho

Edilson Carvalho Brasil⁽¹⁾; Jadel Diego Barbosa Rodrigues⁽²⁾; Edwin Almeida Assunção⁽³⁾; Larissa Húrsula Neves⁽²⁾; Ana Júlia Mourão Salheb do Amaral⁽²⁾

⁽¹⁾ Pesquisador, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, Tv. Enéas Pinheiro, s/n, CEP 66095-100, brasil@cpatu.embrapa.br; ⁽²⁾ Graduando do Curso Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia, Avenida Presidente Tancredo Neves, 2501, CEP 66.077-901, Belém-PA, jardeldiego@hotmail.com; ⁽³⁾ Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/CNPq, Curso de Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia, PA, CEP, edwin.agronomo@yahoo.com.br.

RESUMO – A limitação de fósforo nos solos das regiões tropicais apresenta grande importância do ponto de vista do manejo, exigindo a aplicação de elevadas quantidades de fertilizantes fosfatados. A busca de novas fontes fertilizantes representa uma posição estratégica para o País, sendo importante o conhecimento das relações dos atributos do solo que favoreçam a maior eficiência dos fosfatos reativos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Embrapa Amazônia Oriental, utilizando-se o delineamento experimental em blocos casualizados, em arranjo fatorial $5 \times 2 \times 4 + 2$. Os tratamentos corresponderam a cinco fontes de P (Arad, Itafós, Bayovar, termofosfato de alumínio e superfosfato triplo), duas doses de P (50 e 100 mg dm⁻³ de P), quatro níveis de saturação por bases (15%, 30%, 60% e 120%) e mais dois tratamentos adicionais (sem P e 60% de saturação por bases; sem P e 15% de saturação por bases). Aos 48 dias da semeadura, os fosfatos naturais reativos foram influenciados negativamente, com o aumento dos níveis de saturação por bases no solo. Na saturação por bases de 15% os fosfatos Bayovar e Arad apresentaram maior IEA, dentre os fosfatos reativos avaliados. Os fosfatos de maior reatividade (Bayovar e Arad) apresentaram drástica redução na MSPA a partir de 60% de saturação por bases.

Palavras-chave: fósforo, Índice de eficiência agrônômica, saturação por bases.

INTRODUÇÃO – Os solos das regiões tropicais apresentam fatores que condicionam a baixa produtividade das culturas, como a baixa disponibilidade de fósforo às plantas, ocasionada pelo elevado poder de adsorção/precipitação do nutriente (Novais e Smyth, 1999). A limitação de fósforo nesses solos possui grande importância do ponto de vista do manejo, exigindo a aplicação de elevadas quantidades de fertilizantes fosfatados para atender adequadamente as necessidades nutricionais das culturas.

As fontes de fósforo mais usadas no Brasil são os fosfatos solúveis em água, que embora apresentam reconhecida eficiência em relação às fontes menos solúveis, possuem elevado custo no processo de

fabricação. Para minimizar isso, têm-se utilizado os fosfatos naturais reativos como fontes alternativas. Embora, o uso desses fosfatos ainda suscitem dúvidas quanto ao melhor manejo, há consenso na literatura de que possuem menor eficiência agrônômica inicial, em relação ao fosfatos de maior solubilidade, porém as diferenças de eficiência entre fontes tendem a diminuir, com o tempo (Horowitz & Meurer, 2003).

Diversos fatores afetam a eficiência de fosfatos, os quais estão relacionados ao fosfato propriamente dito (origem geológica, granulometria e solubilidade), aos atributos do solo (textura, mineralogia, capacidade de adsorção de ânions, pH, teores de Ca, Mg, P, etc.) e às características das espécies cultivadas, além do modo de incorporação ao solo e tempo de reação (Hammond et al., 1986; Kaminski e Mello, 1984; Goedert e Lobato, 1984; Gillespie e Pope, 1990; Kliemann, 1995; Corrêa et al., 2005; Prochnow et al., 2006).

A acidez do solo favorece a solubilização dos fosfatos reativos, aumentando sua eficiência, porém o inverso se verifica para os fosfatos solúveis em água que tornam-se indisponíveis para a planta, com o passar do tempo, devido à adsorção pelo solo (Sarmiento et al., 2002).

A busca de novas fontes fertilizantes representa uma posição estratégica para o País, torna-se necessário aprimorar técnicas que aumentem a eficiência desses fertilizantes. Neste sentido, é imprescindível o conhecimento das relações dos atributos do solo que favoreçam a maior eficiência dos fosfatos reativos.

O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência de fosfatos reativos em doses e níveis de saturação por bases na cultura do milho.

MATERIAL E MÉTODOS – O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação da Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA, utilizando-se amostra da camada superficial (0-20 cm) de um Latossolo Amarelo distrófico, textura média. A características químicas e físicas da amostra foram: 4,5 de pH em água; 2 mg dm⁻³ de P (Mehlich 1); 18 mg dm⁻³ de K⁺ (Mehlich 1); 0,4 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 0,3 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 1,3

cmol_c dm⁻³ de Al³⁺; V% igual a 14,4%; 607, 183, 90 e 120 g.kg⁻¹ de areia grossa, areia fina, silte e argila, respectivamente.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em três repetições, em arranjo fatorial 5x2x4+2, correspondendo a cinco fontes de P (Arad, Itafós, Bayovar, termofosfato de alumínio e superfosfato triplo), duas doses de P (50 e 100 mg dm⁻³ de P, com base no teor de P₂O₅ total), quatro níveis de saturação por bases (15%, 30%, 60% e 120%) e mais dois tratamentos adicionais (sem P em 15% de saturação por bases; sem P em 60% de saturação por bases).

Para elevar os índices de saturação por bases do solo, utilizou-se um calcário dolomítico com 91% de PRNT, 32% de CaO e 15% de MgO. As quantidades do corretivo, foram calculadas pelo critério de saturação por bases, a partir dos dados da análise química inicial do solo.

Foram utilizados vasos de plástico com capacidade de 5 dm³, que receberam 3,5 dm³ de terra. Após a aplicação dos corretivos, o solo ficou em incubação por um período de 20 dias, com a umidade mantida próximo à capacidade máxima de retenção de água. Após a incubação, procedeu-se a aplicação dos tratamentos com fósforo e todos os vasos receberam aplicação de adubação básica com N, K e micronutrientes. As quantidades foram: 150 mg dm⁻³ de N, na forma de uréia; 100 mg dm⁻³ de K₂O, na forma de KCl; 5 mg dm⁻³ de Zn, na forma de ZnSO₄.7H₂O; 0,5 mg dm⁻³ de B, na forma de H₃BO₃; 1,0 mg dm⁻³ de Cu, na forma de CuSO₄.5H₂O. A aplicação do N e do K foi dividida em 3 parcelas, sendo a primeira aplicada aos sete dias da semeadura e o restante a cada 15 dias. Os demais nutrientes foram aplicados na ocasião da semeadura. Os nutrientes foram solubilizados em água e aplicados em solução na quantidade de 20 ml por vaso.

Após a aplicação dos tratamentos nas amostras de terra, cada vaso recebeu quantidade de água suficiente para manter a umidade em aproximadamente 70% da capacidade máxima de retenção de água do solo, por meio de regas diárias.

Como planta indicadora foi utilizada a cultura do milho (variedade AG 1051), efetuando-se a semeadura direta nos vasos com cinco sementes por vaso e deixando-se apenas duas plantas após o desbaste.

Aos 48 dias da semeadura, efetuou-se a colheita do experimento, realizando-se avaliações das variáveis biológicas, indicativas do desenvolvimento da planta, tais como: altura, diâmetro do caule e a massa seca da parte aérea. A eficiência dos fosfatos foi avaliada pelo Índice de Eficiência Agrônômica (IEA), calculada segundo Goedert et al. (1986), empregando-se a relação percentual entre a produção de matéria seca da parte aérea propiciada pelos fosfatos reativos e pelo superfosfato triplo, aplicados na mesma dose, subtraindo-se de ambos a produção de matéria seca do tratamento sem adubação (testemunha), sendo calculada pela seguinte fórmula:

IEA (%) = (Y₂ - Y₁ / Y₃ - Y₁) x 100, em que Y₁ = Produção obtida pelo tratamento no qual não houve aplicação de fósforo; Y₂ = Produção obtida pela fonte que

está sendo testada e Y₃ = Produção obtida pela fonte de referência (ST) na mesma dose de P aplicada.

As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância, (teste F), ao nível de 5% de probabilidade. De acordo com a significância dos resultados, as médias das fontes e doses de P foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, enquanto, que os níveis de saturação por bases foram submetidos à análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO – De acordo com a análise de variância, os resultados de altura de plantas foram influenciados pelas interações “Fontes versus V%” e “Dose P versus V%”. Nas saturações por bases de 15% e 30%, as plantas de milho apresentaram maior altura quando receberam aplicação do fosfato Bayovar e superfosfato triplo (Tabela 1), enquanto que as menores alturas foram verificadas nas plantas que receberam aplicação do fosfato de Itafós e termofosfato de alumínio. Nas maiores saturações por bases (60% e 120%) a adubação com superfosfato triplo promoveu os maior crescimentos em alturas das plantas, em relação aos demais fosfatos.

Tabela 1 – Altura de plantas de milho (cm) em resposta à aplicação de fosfatos reativos e solúvel em diferentes níveis de saturação por bases.

Tratamento	Saturação por bases (%)			
	15	30	60	120
Fontes de P				
Supertriplo	63,8 a	70,5 a	76,0 a	75,0 a
Bayovar	64,8 a	68,3 a	56,5 b	26,8 b
Arad	53,3 b	54,5 b	43,7 c	25,8 b
Termofosfato Al	35,7 c	33,7 c	30,3 d	28,3 b
Itafós	33,2 c	33,3 c	33,0 d	26,6 b
Dose P (mg dm ⁻³)				
Sem P	28,0	--	31,2	--
50	46,4 b	46,6 b	46,3 a	36,6 a
100	54,8 a	57,5 a	50,6 a	37,1 a

* médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam fontes e doses de P, separadamente, e não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

As fontes de P promoveram um comportamento diferenciado na altura das plantas de milho, em função dos níveis de saturação por bases do solo. O fosfato de Itafós e o termofosfato de alumínio não promoveram diferença significativa em altura, com o aumento dos níveis de saturação por bases (Tabela 1). Porém, as plantas que receberam aplicação dos fosfatos de Arad e Bayovar apresentaram maior crescimento em altura nos menores níveis de saturação por bases no solo. No entanto, a aplicação do fosfato solúvel promoveu um comportamento inverso, observando-se maior altura das plantas, a medida que houve aumento dos níveis de saturação por bases.

Em termos médios, o aumento da dose de P somente favoreceu o maior desenvolvimento em alturas, quando as

plantas foram crescidas nos menores valores de saturação por bases (15% e 30%). No entanto, nos maiores valores de V%, as plantas não diferiram significativamente em altura (Tabela 1). Esses resultados foram influenciados pelos fosfatos reativos que disponibilizam menores quantidades de P, a medida que aumentam os valores de V% no solo.

O diâmetro de colmo das plantas de milho foi influenciado pela interação tripla de fontes, V% e dose de P. As melhores respostas em diâmetro foram obtidas com a aplicação do fosfato solúvel (superfosfato triplo), independentemente da dose e nível de saturação por bases (Tabela 2).

Tabela 2 – Diâmetro de colmo de milho (mm) em resposta à aplicação de fosfatos reativos e solúvel em duas doses de P e níveis crescentes de saturação por bases.

Fonte	Saturação por bases (%)			
	15	30	60	120
Sem P	2,9		3,2	
	50 mg dm ⁻³ P ₂ O ₅			
Supertriplo	10,6 a	11,2 a	11,5 a	12,4 a
Bayovar	10,1 a	10,4 a	8,7 b	4,2 b
Arad	8,0 b	7,4 b	7,8 b	3,8 b
Itafós	4,5 c	3,8 c	3,8 c	4,0 b
Termofosfato Al	4,4 c	4,9 c	3,5 c	3,9 b
	100 mg dm ⁻³ P ₂ O ₅			
Supertriplo	11,9 a	12,3 a	14,0 a	12,8 a
Bayovar	12,5 a	12,9 a	9,9 b	3,9 b
Arad	11,3 a	11,6 a	6,1 c	4,6 b
Itafós	7,3 b	7,6 b	5,2 c	3,5 b
Termofosfato Al	6,9 b	6,7 b	7,0 c	6,1 b

* médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam fontes dentro de doses de P e não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Dentre os fosfatos reativos, o uso de Bayovar e de Arad favoreceu a obtenção dos maiores diâmetros de colmo de milho, somente nos menores índices de saturação por bases (Tabela 2). Porém, no tratamento com saturação por bases igual a 120%, não houve diferença significativa entre esses fosfatos, indicando uma forte influência na redução da eficiência desses fertilizantes.

Com relação à produção de massa seca da parte aérea (MSPA), verificou-se efeito significativo da interação tripla de fontes, V% e dose de P. Nas plantas que receberam aplicação dos fosfatos reativos, com exceção do termofosfato de alumínio, a MSPA diminuiu à medida que houve aumento dos níveis de saturação por bases do solo, independentemente das quantidades de P (Tabela 3). Resultado inverso foi obtido com a aplicação do fosfato solúvel (supertriplo). Esses resultados indicam a melhor eficiência dos fosfatos reativos em condições de acidez mais elevada.

Considerando-se os níveis de 15, 30 e 60% de saturação por bases, houve diferença significativa entre os fosfatos reativos na produção de MSPA, observando-se

que a produção obtida com a aplicação de Bayovar foi superior ao Arad e estes foram superiores ao Itafós e Termofosfato de alumínio, na maioria dos tratamentos. Goedert, Sousa e Rei (1986) afirmam que, devido à sua origem geológica, o Arad libera o fósforo de sua estrutura cristalográfica em um menor tempo que os fosfatos de rochas nacionais. Em determinadas condições, como V%=15 na menor doses de P e V%=30% na maior dose, a MSPA obtida com Bayovar não diferiu da fonte solúvel, indicando a excelente reatividade deste produto. Esses resultados podem estar relacionados ao tipo de material de origem desses fosfatos, já que o Bayovar e Arad possuem origem sedimentar e elevada reatividade no solo (Néon et al., 1986). Com 120% de saturação por bases, não houve diferença na produção de MSPA entre os fosfatos reativos avaliados, mas apresentaram produções de MSPA inferiores ao super fosfato triplo, indicando que nessa condição de solo a eficiência desses é bastante reduzida.

Tabela 3 – Massa seca (g) da parte aérea plantas de milho em função da aplicação de fosfatos reativos e solúvel em duas doses de P e níveis crescentes de saturação por bases.

Fonte	Saturação por bases (%)			
	15	30	60	120
Sem P	0,3		0,5	
	50 mg dm ⁻³ P ₂ O ₅			
Supertriplo	6,2 a	8,1 a	9,5 a	10,8 a
Bayovar	5,2 a	5,3 b	2,7 b	0,7 b
Arad	2,5 b	2,3 c	2,0 b	0,6 b
Itafós	0,9 c	0,8 c	0,8 c	0,7 b
Termofosfato Al	0,7 c	0,9 c	0,7 c	0,8 b
	100 mg dm ⁻³ P ₂ O ₅			
Supertriplo	8,0 b	11,7 a	13,7 a	13,0 a
Bayovar	9,5 a	11,1 a	4,4 b	0,6 b
Arad	7,4 b	6,7 b	1,3 c	0,8 b
Itafós	1,8 c	2,4 c	1,0 c	0,5 b
Termofosfato Al	1,6 c	1,8 c	1,7 c	1,4 b

* médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam fontes dentro de doses de P e não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Em geral, a partir do índice de 60% de saturação por bases, a MSPA obtida com a aplicação dos fosfatos Bayovar e Arad sofreu drástica redução, passando a apresentar valores inferiores a 50% daqueles observados nos índices de 15% e 30%.

Para a maioria dos fosfatos, a aplicação de 50 e 100 mg dm⁻³ de P promoveu aumento significativo da MSPA de milho, com exceção dos fosfatos de Itafós e termofosfato de alumínio que não diferiram da testemunha (sem P), quando usados na menor dose de P e V% igual a 60%.

Os índices de eficiência agrônômica (IEA) dos fosfatos obtidos a partir da MSPA variaram em função das doses de P e do nível de saturação por bases (Tabela 4). Em ambas as doses de P, os maiores IEA foram

obtidos no menor nível de saturação por bases (15%), observando-se que o Bayovar e Arad destacaram-se dos demais. Na maior dose de P (100 mg dm⁻³ P₂O₅) ambos os fosfatos apresentaram elevado IEA, porém o Bayovar foi superior ao fosfato solúvel (super fosfato triplo), evidenciando a boa qualidade deste fertilizante.

Tabela 4 – Índice de eficiência agrônômica de fosfatos reativos em duas doses de P e dois níveis de saturação por bases na cultura de milho.

Fonte	Saturação por bases (%)	
	15	60
50 mg dm ⁻³ P ₂ O ₅		
Arad	34,4	15,9
Bayovar	77,8	26,0
Itafós	9,6	3,4
Termofosfato Al	5,3	2,7
100 mg dm ⁻³ P ₂ O ₅		
Arad	94,5	6,3
Bayovar	120,4	29,4
Itafós	18,0	4,4
Termofosfato Al	18,0	9,4

O menor IEA dos fosfatos naturais, na maior saturação por base, pode ser devido à fatores como o maior pH e quantidade de cálcio no solo, comparado com a condição de menor saturação por bases, o que interferiu negativamente na dissolução desses fosfatos naturais (Khasawneh & Doll, 1978; Sousa et al., 1999).

CONCLUSÕES – Os fosfatos naturais reativos são influenciados negativamente pelo aumento dos níveis de saturação por bases no solo. Na saturação por bases de 15%, os fosfatos Bayovar e Arad apresentam maior IEA, dentre os fosfatos reativos avaliados. A partir de 60% de saturação por bases, as plantas de milho apresentam drástica redução na MSPA, quando os fosfatos de maior reatividade (Bayovar e Arad) são aplicados.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A. do; SOUZA, S. K. de S.; FREIRE, F. J.; SILVA, G. B. da. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and P uptake by corn. *Sci. Agric.*, 62(2):159-164, 2005.

GILLESPIE, A.R.; POPE, P.E. Rhizosphere Acidification Increases Phosphorus Recovery of Black Locust: I. Induced Acidification and Soil Response. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54: 533-537, 1990.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de Cerrado. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 8(1):97-102, 1984.

GOEDERT, W.J; SOUSA, M.G de ; REIN, T.A. **Princípios metodológicos para avaliação agrônômica de fontes de fósforos**. Planaltina:Embrapa CPAC, 1986. 23p.

HAMMOND, L. L.; CHIEN, S. H.; MOKWUNIE, A. U. Agronomic value of unacidulated and partilly adiculated phosphate rocks indiginous to the tropics. *Adv. Agron.*, 40:89-40, 1986.

KAMINSKI, J. e MELLO, F. A. F. Épocas de aplicação de fosfatos em relação ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 8(3):297-00, 1984. KHASAWNEH, F.E.; DOLL, E.C. The use phosphate rock for direct application to soils. *Adv. Agron.*, 30:159-206, 1978.

KLIEMANN, H. J. Efeitos da calagem e de fontes de fósforo no rendimento da soja em dois solos de Cerrado. *Anais... Esc. Agron. e Vet.*, 25(2):129-39, 1995.

LÉON, L.A.; FENSTER, W.E.; HAMMOND, L.L. Agronomic Potencial of Eleven Phosphate Rocks from Brazil, Colombia, Perú and Venezuela. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:798-802, 1986.

PROCHNOW, L. I.; QUISPE, J. F. S.; FRANCISCO, E. A. B.; BRAGA, G.. Effectiveness of phosphate fertilizers of diffrent water solubilities in relation to soil phophorus adsorption. *Sci. Agric.*, 63(4):333-340, 2006.

SARMENTO, P.; CORSI, M.; CAMPOS, F.P. de. Eficiência do fosfato natural de Gafsa associado à calagem e gesso e sintomas nutricionais da alfafa, Medicago sativa L. *Acta Sci.*, 24(4):1155-1161, 2002.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; LOBATO, E.; SOARES, W.V. Eficiência agrônômica do fosfatos naturais na região dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. *Anais... Brasília: SBCS*, 1999. 1 CD-ROM.