

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATOS EM SOLO DE CERRADO¹

WENCESLAU J. GOEDERT² e EDSON LOBATO³

RESUMO - Onze fontes de fósforo foram testadas no campo, em Latossolo Vermelho-Escuro (Haplustox). Durante quatro anos, foi feita a avaliação da eficiência agronômica desses fosfatos, utilizando-se a seguinte seqüência de cultivos anuais: trigo, soja, arroz. Os resultados até o momento permitem classificar as fontes testadas em quatro categorias, de acordo com sua eficiência agronômica, em ordem decrescente: a. Superfosfato triplo, fosfato de Gafsa e termofosfato magnésiano; b. Termofosfato IPT, fosfato de Pirocaua, fosfato de Flórida/USA e fosfato de Tennessee/USA; c. Fosfato natural de Patos de Minas, de Araxá e de Abaeté; d. Fosfato natural de Catalão. Foi ainda mostrado que a eficiência dos fosfatos naturais melhora com o aumento da acidez do solo; contudo, o melhor desenvolvimento vegetal exige um equilíbrio entre os fatores: acidez do solo, disponibilidade de fósforo e adaptação de plantas.

Termos para indexação: fósforo, fosfato natural, eficiência de fosfatos, Cerrados.

AGRONOMIC EFFECTIVENESS OF PHOSPHATES IN "CERRADO" SOIL

ABSTRACT - Eleven phosphate sources were tested in a Dark Red Latosol (Haplustox). The performance of these materials was evaluated during four years, with the following crop sequence: wheat, soybean, soybean, rice. According to the results, the phosphate sources can be ordered in four groups of decreasing performances: a. Supertriple, Gafsa phosphate and Magnesian Thermalphosphate; b. IPT Thermalphosphate, Pirocaua, Florida and Tennessee phosphates; c. Patos de Minas, Araxá and Abaeté phosphate; d. Catalão phosphate. The results also indicated that the effectiveness of rock phosphates improved when the soil acidity was higher; however, crop performance depended on a balance of factors such as soil acidity, availability of phosphorus, and plant adaptation.

Index Terms: phosphorus, rock phosphate, effectiveness of phosphates, "Cerrado".

INTRODUÇÃO

A ampliação da fronteira agrícola brasileira para áreas de solos pobres, tal como a região dos cerrados, fez com que aumentasse o consumo de fertilizantes, principalmente, de fosfatos. Normalmente, nessas áreas é recomendado o uso de adubação fosfatada corretiva visando aumentar o nível de fósforo disponível em toda a camada arável do solo, principalmente se se pretende produzir cereais. Com essa prática utilizam-se quantidades elevadas de fósforo, havendo uma tendência de aumentar mais ainda, o consumo desse nutriente.

A aparente impossibilidade da indústria nacional de fabricar os fertilizantes solúveis, em quantidade suficiente para a demanda do País, a curto prazo, e a necessidade de substituir importações apontam para o uso de fosfatos naturais *in natura* como uma alternativa de suprir, parcialmente, as necessidades futuras de fósforo dos solos brasilei-

ros. Essa alternativa apresenta boas perspectivas, já que fosfatos naturais têm mostrado maior eficiência em solos ácidos e com baixo teor de fósforo.

A utilização dos fosfatos naturais tem sido feita no Brasil, principalmente nas duas últimas décadas, e as fontes mais utilizadas são os fosfatos de Olinda e de Araxá. Inúmeros trabalhos foram publicados sobre a eficiência agronômica desses fosfatos (Braga 1970, Goepfert 1975, Malavolta 1976). Os resultados experimentais sobre o uso de fosfato de Araxá mostram a sua eficiência agronômica, principalmente, para adubação de correção. Essa prática, conhecida popularmente como fosfatagem, é mais comum na formação de pastagens e na cultura de arroz de sequeiro.

As descobertas recentes de novas jazidas de rochas fosfáticas, principalmente as de Patos de Minas, MG e de Catalão, GO, coincidindo com o drástico encarecimento de fertilizantes, despertaram a necessidade de estabelecer estratégias sobre o uso mais adequado desses minerais. Em consequência, foi estabelecido o "Programa de Pesquisa e de Fertilizantes no Brasil" (Miyasaka et al. 1975). Impulsionados por esse programa, muitos trabalhos de pesquisa foram iniciados em todo o País, principalmente, nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, onde

¹ Aceito para publicação em 29 de janeiro de 1980.

² Eng^o Agr^o, Ph.D., Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. (CPAC) - EMBRAPA, Caixa Postal 07.0084, CEP 73.300 - Planaltina, DF.

³ Eng^o Agr^o, M.Sc., CPAC - EMBRAPA.

estão localizadas as maiores jazidas.

O Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados-EMBRAPA vem desenvolvendo diversos experimentos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1976 e 1978) com o objetivo de avaliar a eficiência agrônômica de fontes de fosfato, com ênfase naquelas fontes que ocorrem em jazidas localizadas dentro da região dos Cerrados.

MATERIAL E MÉTODOS

Em experimento de campo localizado na sede do CPAC, onze fontes de fósforo vêm sendo avaliadas, durante quatro cultivos sucessivos. O superfosfato triplo foi usado como fonte de referência, com níveis de até 1.600 kg/ha de P_2O_5 . Os demais fosfatos foram aplicados em apenas duas doses: 200 e 800 kg/ha de P_2O_5 total (Tabela 1). Todos os fosfatos foram aplicados a lanço e incorporados com enxada rotativa, antes do primeiro cultivo. As características dos fosfatos aparecem nas Tabelas 1 e 4.

O solo utilizado é um Latossolo Vermelho-Escuro (Haplustox), argiloso, com as seguintes características fornecidas pela análise de rotina (extrator Mehlich): pH = 4,2, Ca+Mg = 2,0 mEq/100cc, K = 25 ppm, P = 1 ppm e Al = 1,1 mEq/100cc.

O experimento teve quatro repetições e as parcelas mediam 48 m². Aos três meses antes do primeiro plantio, toda a área experimental recebeu 2,2 t de calcário dolomítico/ha (PRNT = 100%) e adubação corretiva de potássio 150 kg/ha de K_2O , na forma de KCl e de micronutrientes (40 kg/ha de FTE BR-10). Em janeiro de 1976, foi semea-

do o trigo (Var. BH 1146); em novembro de 1976 e 1977, a soja (Var. UFV-1) e em novembro de 1978, o arroz (Var. IAC-25). Para as culturas de trigo e arroz foram aplicados 30 kg/ha de N, em cobertura.

Para caracterização do efeito da acidez do solo na solubilidade dos fosfatos, foi feito um experimento complementar com os níveis de 1 e 5 t calcário/ha e duas fontes de fósforo: superfosfato triplo e fosfato de Patos de Minas. As condições experimentais foram exatamente iguais às do experimento principal, fixando-se, apenas, o nível de fósforo em 400 kg/ha de P_2O_5 total.

As observações feitas durante o período experimental, foram: análise do solo, análise do tecido vegetal e avaliação da produção de grãos. Apenas no terceiro cultivo, foi feita a avaliação da produção de matéria seca da parte aérea e a medição da área foliar da soja.

As amostras de solo foram retiradas, antes e depois de cada cultivo, da camada de 0 a 20 cm de profundidade e submetidas à análise de rotina. Para análise de fósforo foram usados dois extratores: Mehlich (0,05 N HCl + 0,025 N H_2SO_4) e Bray I (0,03 N NH_4F + 0,025 N HCl).

As amostras de tecido vegetal (folhas), coletadas na época de floração, foram secas, moídas e analisadas por via úmida, pela digestão com ácido sulfúrico concentrado e água oxigenada a 30% (120 volumes).

O teor de P_2O_5 total dos fosfatos foi extraído por digestão de um grama de fosfato de 30 ml HNO_3 e 5 ml de HCl concentrados. Mediu-se ainda o teor de fósforo solúvel em três extratores: ácido cítrico 2%, ácido fórmico 2% e citrato de amônio a pH 7,0. Essas análises foram feitas no Departamento de Química da ESALQ (Alcarde & Ponchio 1979). As determinações de fósforo foram fei-

TABELA 1. Características dos fosfatos estudados e doses de fósforo aplicadas ao solo em janeiro de 1976, antes do primeiro cultivo.

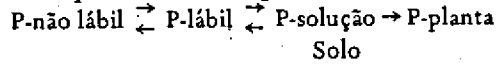
| Fonte | Teor P_2O_5 total (%) | Granulometria (mesh) | | | Doses de P_2O_5 total (kg/ha) | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|---------|-------|------------------------------------|------|------|------|------|------|
| | | > 100 | 100-120 | < 200 | 0, | 100, | 200, | 400, | 800, | 1600 |
| Superfosfato triplo | 47,4 | - (granulado) - | | | 0, | 100, | 200, | 400, | 800, | 1600 |
| Termofosfato magnesiano | 15,9 | 12,2 | 34,3 | 53,5 | | 200 | e | 800 | | |
| Termofosfato IPT* | 28,7 | 27,3 | 22,4 | 50,3 | | 200 | e | 800 | | |
| Fosfato de Pirocaua, MA** | 30,5 | 11,8 | 23,5 | 64,7 | | 200 | e | 800 | | |
| Fosfato de Gafsa-África | 28,2 | 0,4 | 16,6 | 83,0 | | 200 | e | 800 | | |
| Fosfato de Patos de Minas, MG | 24,3 | 0,5 | 28,5 | 71,0 | | 200 | e | 800 | | |
| Fosfato de Araxá, MG | 37,6 | 1,0 | 6,7 | 92,3 | | 200 | e | 800 | | |
| Fosfato de Abaeté, MG | 21,4 | 55,5 | 11,5 | 33,0 | | 200 | e | 800 | | |
| Fosfato de Catalão, GO | 37,7 | 11,0 | 27,8 | 61,2 | | 200 | e | 800 | | |
| Fosfato de Flórida, USA | 33,1 | 12,7 | 29,7 | 55,6 | | | | | 400 | |
| Fosfato de Tennessee, USA | 30,4 | 1,8 | 8,5 | 89,7 | | | | | 400 | |

* Termofosfato experimental produzido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

** Bauxita fosforosa que recebeu calcinação redutora.

tas por via colorimétrica pelo método molibdato-vanadato.

solo é esquematizado na equação seguinte:



RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Fósforo no solo

No solo, a quase totalidade do fósforo faz parte de compostos orgânicos e inorgânicos bastante insolúveis (P-sólido) e uma quantidade muito pequena encontra-se dissolvida na solução (P-solução). Parte do P-sólido mantém equilíbrio com a solução e é chamado de P-lábil; o restante não está, ou entra em equilíbrio com o P-solução muito lentamente, sendo denominado P-não lábil (Volkweiss & Van Raij 1977). A planta absorve o fósforo quase que apenas da solução do solo. O equilíbrio dessas diversas formas de fósforo no

Pode-se deduzir que o fosfato aplicado como fertilizante terá que se dissolver no solo, isto é, o P-fertilizante deverá se transformar em P-solução do solo. Assim, a eficiência de um fosfato pode ser medida pela solubilidade e pela sua capacidade em aumentar o fósforo disponível na solução do solo para as plantas. Na prática, esse fósforo é avaliado em laboratório, através da análise do solo.

No Brasil, os extratores mais comuns para fósforo, em análise de solo, são o Mehlich e o Bray. Como se pode observar na Tabela 2, pelos dados de análise periódica de amostras de solo nos vários tratamentos, o extrator de Mehlich superestima o teor de fósforo, quando usado para solos que rece-

TABELA 2. Valores de pH e de fósforo no solo, determinados pelos métodos de Mehlich (C. Norte) e Bray I, em diferentes períodos, em função de fontes e doses de fósforo incorporadas em janeiro de 1976, num Latossolo Vermelho-Escuro.

| Fontes de fósforo | kg P ₂ O ₅ total/ha | pH em água (1 : 1) | | ppm P solo | | | | |
|---------------------|---|--------------------|----------|--------------|-----------|---------------|----------|----------|
| | | | | Mét. Mehlich | | Método Bray I | | |
| | | Agosto/76 | Maior/77 | Agosto/76 | Agosto/76 | Maior/77 | Junho/78 | Maior/79 |
| Testemunha | 0 | 4,7 | 4,9 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 |
| Superfosfato triplo | 100 | 4,8 | 5,1 | 2 | 5 | 4 | 2 | 3 |
| Superfosfato triplo | 200 | 4,9 | 5,1 | 3 | 8 | 5 | 2 | 2 |
| Superfosfato triplo | 400 | 4,8 | 5,1 | 5 | 12 | 14 | 5 | 5 |
| Superfosfato triplo | 800 | 4,8 | 5,1 | 17 | 27 | 27 | 10 | 11 |
| Superfosfato triplo | 1.600 | 4,9 | 5,2 | 36 | 34 | 50 | 32 | 27 |
| Fosfato Gafsa | 200 | 4,9 | 5,2 | 6 | 7 | 4 | 2 | 3 |
| Fosfato Gafsa | 800 | 5,1 | 5,5 | 33 | 15 | 14 | 12 | 9 |
| Termofosfato IPT | 200 | 4,8 | 5,2 | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 |
| Termofosfato IPT | 800 | 5,0 | 5,3 | 23 | 9 | 7 | 4 | 4 |
| Termof. magnesiano | 200 | 5,0 | 5,3 | 3 | 7 | 4 | 2 | 2 |
| Termof. magnesiano | 800 | 5,4 | 5,6 | 19 | 22 | 16 | 7 | 8 |
| Fosfato Catalão | 200 | 4,6 | 5,1 | 4 | 3 | 1 | 1 | 2 |
| Fosfato Catalão | 800 | 4,7 | 5,2 | 21 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| Fosfato P. Minas | 200 | 4,9 | 5,2 | 9 | 3 | 1 | 1 | 2 |
| Fosfato P. Minas | 800 | 4,8 | 5,1 | 33 | 4 | 3 | 4 | 3 |
| Fosfato Abaeté | 200 | 4,7 | 5,1 | 4 | 4 | 1 | 1 | 2 |
| Fosfato Abaeté | 800 | 4,7 | 5,2 | 20 | 4 | 2 | 2 | 3 |
| Fosfato Pirocaua | 200 | 4,8 | 5,1 | 1 | 6 | 3 | 1 | 3 |
| Fosfato Pirocaua | 800 | 4,8 | 5,1 | 2 | 20 | 17 | 8 | 8 |
| Fosfato Araxá | 200 | 4,6 | 5,1 | 6 | 4 | 2 | 1 | 2 |
| Fosfato Araxá | 800 | 4,8 | 5,1 | 31 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| Fosfato Tennessee | 400 | 4,9 | 5,2 | 16 | 5 | 3 | 4 | 4 |
| Fosfato Flórida | 400 | 5,0 | 5,2 | 18 | 7 | 5 | 3 | 4 |

beram fosfatos de rocha (apatitas). Esse fato pode causar muitos problemas, já que a maioria dos laboratórios de rotina, no Brasil, utilizam esse extrator. Os valores obtidos com o extrator Bray I parecem refletir melhor a situação de disponibilidade de fósforo. Contudo, o teor "P disponível" em amostras de parcelas que receberam fosfatos naturais, não está aumentando com o passar do tempo (Tabela 2), embora as culturas tenham melhorado na produção (Tabela 3).

Os dados da Tabela 2 mostram que os fosfatos naturais têm baixa capacidade de manter níveis adequados de fósforo em solução. Surgem daí duas hipóteses:

1. Os minerais fosfatados se dissolveram, porém, o fósforo foi fortemente absorvido pelas partículas do solo;

2. Os minerais não se dissolveram. A segunda hipótese parece mais provável visto que, em nenhum momento, foi possível detectar aumentos de P na solução do solo. Ademais, é possível que as partículas dos fosfatos naturais tenham sido recobertas por uma camada de óxidos de Fe e Al, uma vez que os fosfatos foram moídos, cri-

ando-se faces quebradas com desequilíbrio de carga. A ocorrência desse processo resulta em maior dificuldade na liberação de fósforo.

Efetividade agrônômica dos fosfatos

Tendo em vista não haver um índice de solubilidade confiável para todos os fosfatos, foi utilizado como parâmetro de medida, o teor de P_2O_5 total. O superfosfato triplo foi considerado como a fonte de referência para comparação com os demais fosfatos. Todos os fosfatos foram aplicados a lanço, não significando isso que essa seja a melhor maneira de aplicação para todas as condições.

As curvas de resposta dos quatro cultivos (trigo, soja, milho e arroz) em relação a doses de fósforo aplicadas como superfosfato triplo, antes do primeiro cultivo, são mostradas na Fig. 1. Constituem curvas de resposta típicas de solos extremamente pobres em P nativo disponível, e o máximo de produção tem sido com doses entre 400 a 800 kg/ha de P_2O_5 . Outros experimentos conduzidos no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados têm mostrado que, nesse tipo de solo, são necessários cerca de 300 kg/ha de P_2O_5 para atingir o nível crítico ou seja atingir 80% do máximo de produ-

TABELA 3. Relação percentual entre produções obtidas com diferentes fosfatos (F) e a obtida com superfosfato triplo (ST) em dois níveis de fósforo aplicados (200 e 800 kg/ha de P_2O_5 total).

| Fosfatos (F) | 100. F 200 P_2O_5 /ST 200 P_2O_5 | | | 100. F 800 P_2O_5 /ST 800 P_2O_5 | | |
|------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------|
| | 1º cult. (Trigo) | 3º cult. (Soja) | 4º cult. (Arroz) | 1º cult. (Trigo) | 3º cult. (Soja) | 4º cult. (Arroz) |
| Termo magnésiano | 96 | 89 | 82 | 95 | 129 | 112 |
| Termo IPT | 50 | 35 | 41 | 51 | 90 | 103 |
| Pirocaug | 51 | 67 | 84 | 38 | 91 | 100 |
| Gafsa | 132 | 94 | 75 | 95 | 101 | 104 |
| Patos | 17 | 22 | 45 | 11 | 46 | 79 |
| Araxá | 20 | 22 | 38 | 23 | 48 | 43 |
| Abaeté | 7 | 9 | 34 | 8 | 46 | 57 |
| Catalão | 3 | 9 | 27 | 5 | 28 | 33 |
| Tennessee | — | — | — | — | — | — |
| Flórida | — | — | — | — | — | — |

O índice 100 F/ST ao nível de 400 kg/ha de P_2O_5 foi, para os três cultivos em seqüência, igual a 39, 98 e 104 para o fosfato de Tennessee e 61, 108 e 110 para o fosfato da Flórida.

O índice 100. ST₂₀₀ P_2O_5 /ST₁₆₀₀ P_2O_5 , foi, respectivamente, 55, 54 e 50 para os três cultivos.

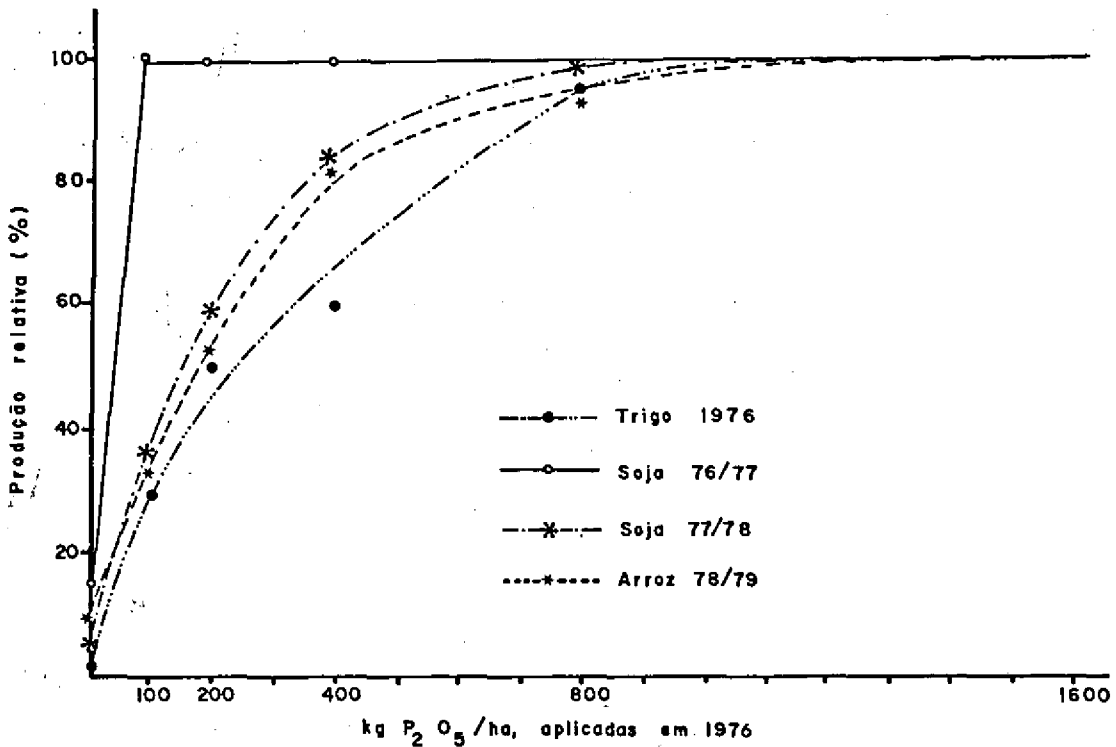


FIG. 1. Curvas da resposta de várias culturas à aplicação, a lanço, de diversas doses de fósforo, na forma de superfosfato triplo (100% = 1.678, 844, 1.882 e 2.072 kg/ha, respectivamente, para o trigo, a soja, a soja e o arroz).

ção potencial (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1976 e 1978). É interessante ainda notar o excelente efeito residual do fósforo aplicado, nas culturas subseqüentes (Fig. 1), o que mostra que parte da adsorção desse elemento é reversível.

Na Fig. 1, está evidente que a primeira cultura de soja sofreu graves reduções na produção, atingindo o máximo de resposta com a aplicação de apenas 100 kg/ha de P_2O_5 . Esse rebaixamento do teto de produção se deu em virtude da ocorrência de uma estiagem de 42 dias no estágio de florescimento da cultura. Esse fato limita a validade de qualquer comparação entre fontes de fósforo e, por isso, esse cultivo não será considerado nas comparações de produção de grãos.

Para se caracterizar a eficiência agrônômica das diversas fontes de fósforo calculou-se para cada cultivo, a relação percentual entre a produção

obtida com cada fonte comparada com a obtida com superfosfato triplo, na mesma dose de P_2O_5 . Esses índices, mostrados na Tabela 3, indicam a tendência de solubilização das várias fontes e podem ser considerados válidos, já que o efeito residual do superfosfato triplo não variou com o tempo, isto é, o índice $ST\ 200\ P_2O_5 / ST\ 1600\ P_2O_5$ foi similar para os três cultivos (Tabela 3). O termofosfato magnésiano (Yoorin) e o fosfato de Gafsa (Hiperfosfato) se comportaram de modo equivalente ao superfosfato triplo. A alta eficiência agrônômica do fosfato de Gafsa já é bem conhecida, principalmente, no sul do País (Goepfert 1975). O termofosfato magnésiano mostra um efeito corretivo da acidez do solo, provavelmente, em virtude do seu conteúdo de silicato de magnésio (Tabela 2). O termofosfato IPT (fosfato experimental) e o fosfato de Pirocaua (com tratamento térmico) mostraram um comportamento intermediário, porém, diferenciado, já que o termofosfato

IPT diminuiu sua eficiência, com o decorrer do tempo, no nível de 200 kg/ha de P_2O_5 . Isso pode indicar que o tratamento feito na preparação de fosfato tenha afetado, apenas, a camada externa dos minerais. Os fosfatos naturais brasileiros (Patos, Araxá, Abaeté e Catalão) se comportaram de modo semelhante quanto à tendência. Todos mostraram uma baixíssima eficiência no primeiro cultivo, mas melhoraram, sensivelmente, com o tempo. A reação dos fosfatos de Catalão e Abaeté tem sido mais lenta do que dos demais, contudo, esses fosfatos apresentavam maior percentagem de partículas mais grosseiras (Tabela 1).

O fosfato de Patos de Minas se comporta de modo muito semelhante ao fosfato de Araxá. Esse fato tem importante significado já que o fosfato de Araxá tem sido muito estudado em todo o País (Braga 1970). Assim, em princípio, todas as conclusões no que concerne à eficiência agrônômica, obtidas com o fosfato de Araxá, podem ser extrapoladas para o fosfato de Patos de Minas. Os fosfatos de Flórida e Tennessee tiveram comportamento superior aos fosfatos naturais brasileiros, porém, inferiores às fontes solúveis (Tabela 3).

A relativa solubilidade lenta dos fosfatos naturais brasileiros mostra que esses materiais devem ser recomendados, apenas, para adubação corretiva, visando elevar o nível de fósforo no solo. Essa adubação corretiva deve ser suplementada com adubação de manutenção no sulco de plantio dos cultivos anuais, utilizando-se uma fonte de fósforo solúvel. Somente assim, poder-se-ia garantir uma boa produção, desde o início. Esse tipo de associação vem igualmente sendo avaliado nos Cerrados. Os dados reportados no Relatório Anual do CPAC (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1979) mostraram a validade dessa estratégia.

Por outro lado, por ser de lenta solubilização, é de se esperar que esses fosfatos naturais sejam mais eficientes para cultivos perenes e para pastagens. Essa hipótese tem igualmente sido comprovada pela pesquisa no mesmo tipo de solo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1976, 1978 e 1979). Utilizando-se a *Brachiaria decumbens* como planta indicadora, tem-se verificado que, após o terceiro ano, a eficiência do fosfato de Araxá é equivalente à do efeito residual do superfosfato

simples, ambos aplicados no mesmo nível, no início do experimento.

Contudo, a decisão do produtor de utilizar uma determinada fonte de fósforo, não vai depender somente do tipo de cultivo, mas, principalmente, do preço do P_2O_5 , a nível de lavoura. Os índices de eficiência dos fosfatos naturais brasileiros testados (Tabela 3) mostram que é necessário usar maior quantidade de P_2O_5 total na forma desses fosfatos para se ter um efeito similar ao dos fosfatos solúveis. Desse modo, acredita-se que os fosfatos naturais serão competitivos no mercado somente nas áreas próximas às jazidas, já que o preço do transporte incide de maneira substancial no preço final do produto.

Eficiência agrônômica comparada com Índices de solubilidade

Tendo em vista a dificuldade em se testar a eficiência dos fertilizantes no campo, durante período longo, têm sido largamente utilizados diversos índices de solubilidade obtidos em laboratórios. A "solubilidade" é determinada em função da quantidade de fósforo extraída por uma solução durante um determinado tempo. Na Tabela 4, são mostrados esses índices obtidos por três extractores. Se comparados os dados das Tabelas 3 e 4, verifica-se que para os fosfatos naturais brasileiros as soluções ácidas parecem refletir bem a sua eficiência, a curto prazo, mas, não a longo prazo.

O fosfato Pirocaua, por ser um fosfato de alumínio, não pode ser avaliado com essas soluções ácidas.

Esses fatos caracterizam, uma vez mais, as limitações do uso desses índices obtidos em laboratório, que é prático, mas válido somente quando, na sua interpretação, são levadas em consideração as limitações inerentes e quando esses índices são embasados com pesquisa a nível de campo.

Acidez do solo e eficiência dos fosfatos

À semelhança do processo industrial de transformação dos fosfatos, é de se esperar que a acidez do solo favoreça a solubilização desses materiais.

Os resultados obtidos (Fig. 2) confirmam essa hipótese, pois a eficiência do fosfato de Patos de Minas diminuiu com aumento de pH. O superfosfato triplo se comportou de maneira inversa. Considerando-se que no experimento, onde se

TABELA 4. Teor de fósforo extraído pelas soluções de ácido cítrico a 2% (AC), ácido fórmico a 2% (AF) e citrato neutro de amônio (CA), na relação sólido/solução de 1:100.*

| Fosfatos | P_2O_5 total | P_2O_5 solúvel em relação ao total (%) | | |
|-------------------------|----------------|--|------|------|
| | % | AC | AF | CA |
| Superfosfato triplo** | 45,8 | 85,5 | 81,5 | 20,4 |
| Termofosfato magnesiano | 17,7 | 91,7 | 63,5 | 75,7 |
| Termofosfato IPT | 27,8 | 30,1 | 28,0 | 28,3 |
| Fosfato Pirocaua | 30,0 | 3,3 | 4,3 | 86,9 |
| Fosfato Gafsa | 27,4 | 43,7 | 75,5 | 22,0 |
| Fosfato P. de Minas | 24,2 | 19,7 | 17,8 | 7,3 |
| Fosfato Araxá | 36,5 | 12,4 | 10,8 | 5,1 |
| Fosfato Abaeté | 23,9 | 17,3 | 17,7 | 4,4 |
| Fosfato Catalão | 37,3 | 6,7 | 6,0 | 0,3 |

* Análises realizadas no Departamento de Química/ESALQ (Alcarde & Ponchio 1979).

**Solúvel 100% em água.

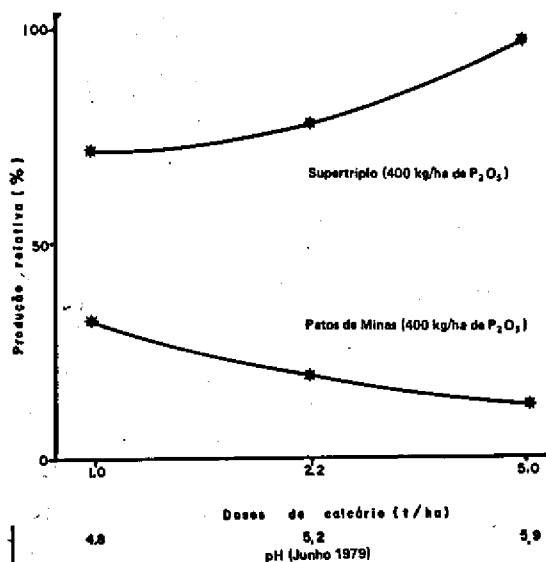


FIG. 2. Efeito da acidez do solo na solubilidade de fosfatos, com o cultivo de soja (100% = 1.880 kg/ha de grãos de soja).

procura definir a eficiência dos vários fosfatos naturais em relação ao superfosfato triplo, foi aplicada a metade da necessidade de calcário para aquele solo, concluiu-se que esta calagem não é a mais adequada nem para os fosfatos naturais, nem para o superfosfato triplo.

Esses fatos caracterizam as dificuldades experimentais em avaliar fontes diferentes de fósforo e mostram a conveniência em aplicar fosfatos natu-

rais em solos mais ácidos. Na prática, isso pode ser feito com a utilização de plantas mais tolerantes à acidez (por exemplo, arroz de sequeiro, braquiária, etc.). Nesse caso, se faria apenas a fosfatagem. A calagem seria processada somente quando outra cultura mais exigente, por exemplo a soja, for utilizada. Contudo, essa alternativa somente é válida, quando o nível de cálcio e magnésio disponível no solo for satisfatório.

Em resumo, a estratégia de aproveitar a acidez natural do solo para acelerar a solubilidade do fósforo dos fosfatos naturais, depende da cultura e das condições do solo. Contudo, deve-se frisar que, mesmo em condições de alta acidez do solo, a eficiência agronômica desses fosfatos naturais é baixa (Fig. 2).

CONCLUSÕES

Apesar de que o efeito residual da aplicação a longo prazo dos fosfatos ainda não foi estudado, pode-se ordená-los nas seguintes categorias quanto à eficiência agronômica, em ordem decrescente, para cultivos anuais:

1. Superfosfato triplo, termofosfato magnesiano, e fosfato de Gafsa;
2. Termofosfato IPT, fosfato de Pirocaua, e fosfatos naturais de Flórida e de Tennessee;
3. Fosfatos naturais de Patos de Minas, Araxá e Abaeté;
4. Fosfato natural de Catalão.

A acidez do solo auxilia na dissolução dos fosfatos naturais, porém esse fato não faz com que os fosfatos mudem de categoria, na classificação acima. A fosfatagem sem calagem é válida para culturas tolerantes à acidez e quando cálcio e magnésio não são nutrientes limitantes no solo.

Tudo indica que os fosfatos naturais brasileiros apresentam grande potencial para uso como fertilizantes de aplicação direta, desde que sejam utilizados na adubação corretiva e associados com adubações de manutenção, realizadas com fertilizantes solúveis. A decisão final de utilizar uma ou outra fonte de fósforo vai depender muito do preço relativo, a nível de lavoura, do quilograma de P_2O_5 total de cada fonte e da sua eficiência agrônômica, considerando-se, também, seu efeito residual.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao pesquisador Osni Correa de Souza e ao técnico agrícola Tarcísio Pereira da Silva pela participação na instalação e condução do experimento.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J.C. & PONCHIO, C.O. Caracterização da so-

lubilidade das rochas fosfatadas brasileiras e termofosfatos nos diferentes extratores químicos. Rev. Bras. ci. solo, 1979. Prelo.

BRAGA, J.N. Resultados experimentais com o uso de fosfato de Araxá e outras fontes de fósforo. Viçosa, UFV, 1970. 61 p. (UFV. Boletim, 21). Revisão de Literatura.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Planaltina, DF. Relatório Técnico anual, Brasília, 1976. 183 p.

_____. Relatório técnico anual. Brasília, 1978. 183p.

_____. Relatório técnico anual. Brasília, 1979. 185p. Prelo.

GOEPFERT, C.F. A eficiência de diversos fertilizantes fosfatados na cultura da soja. Rio Grande do Sul, 1975. 38 p. Revisão Bibliográfica.

MALAVOLTA, E.; ALCARDE, J.C. & PONCHIO, C.O. Em torno da solubilidade dos fosfatos naturais. Brasília, Ministério da Agricultura, 1976. 39 p. Trabalho apresentado na mesa redonda sobre fosfatos naturais. Mimeografado.

MIYASAKA, S.; ROCHA, A.A.; LEAL FILHO, A.H.; CHAVES, M.M. & NOVAIS, P.C.V. Programa de pesquisa e desenvolvimento de fertilizantes no Brasil. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1975. 78p.

WOLKWEISS, S.J. & VAN RAIJ, B. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 4., Brasília, 1976. Bases para utilização agropecuária. Belo Horizonte, Ed. Itatiaia, 1977. p. 317-32.