

**EFICIÊNCIA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS NO SUPRIMENTO DE FÓSFORO
NUMA SUCESSÃO DE CULTIVOS EM SOLOS DE DIFERENTES CARACTERÍSTICAS***

Behavior of Phosphatic Fertilizers in Supplying Phosphorus to a
Sucession of Crops on Three Soils of Different Characteristics

Ari Zago** e João Kaminski***

RESUMO

O presente trabalho foi conduzido em vasos, em sucessão de cultivos, sorgo-soja-sorgo, utilizando-se os solos Santo Ângelo (HAPLORTOX), Júlio de Castilhos (PALEHUMULT) e São Pedro (PALEUDALF), para observar a eficiência na liberação de fósforo do superfosfato triplo, fosfatos naturais (Gafsa-Tunísia e de Patos de Minas Gerais) e o fosfato de Rhenania, em doses de 0, 50, 100, 200 e 400 mg de P_2O_5 /kg de solo, do P_2O_5 solúvel em ácido cítrico 1:300.

Das quatro fontes de fertilizantes fosfatados, o superfosfato triplo foi mais eficiente no primeiro cultivo e o fosfato de Gafsa no terceiro cultivo. Para o segundo cultivo, houve uma equivalência entre o superfosfato triplo, fosfato de Gafsa e o fosfato de Rhenania. O fosfato de Patos foi o menos efetivo durante os três cultivos.

SUMMARY

This reserch was conducted as a pot experiment in the greenhouse using three crops in sucession, Sorghum-Soybeans-Sorghum, on the Soils Santo Ângelo (Haplortox), Júlio de Castilhos (Palehumult) and São Pedro (Paleudalf) in order to compare the behavior of the following sources of Phosphorus: superphosphate, two rock phosphates (Gafsa from Tunisia and Patos from Minas Gerais), and Rhenania phosphate. The levels used were 0, 50, 100, 200 and 400 mg per kgm % P_2O_5 soluble in citric acid at 1:300.

Of the sources of phosphorus triple superphosphate was the most efficient for the first crop and Gafsa phosphate for the third crop. For the second crop triple superphosphate, Gafsa phos

* Trabalho conduzido com recursos financeiros da Companhia Rio-grandense de Aduobos (CRA), através da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

** Auxiliar de Ensino do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

*** Professor Adjunto do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Pesquisador do CNPq.

phate, and Rhenania phosphate were equivalent. Patos phosphate was the least effective for all three crops.

INTRODUÇÃO

Os solos de regiões tropicais e sub-tropicais de maneira geral, são carentes em fósforo disponível para as plantas. Como consequência, existe a necessidade de adição de fertilizantes fosfatados para corrigir essa deficiência e assegurar os bons rendimentos das culturas.

Os fertilizantes fosfatados são compostos com alto teor de fósforo, de composição química variável e, basicamente, classificados em fosfatos naturais e industrializados.

Os fosfatos naturais, também chamados fosfatos de rocha, são obtidos pela extração direta dos depósitos de minérios de fosfatos ocorrentes na natureza (15, 19, 20). São fosfatos tricálcicos, cristalinos ou amorfos, de solubilidade variável mas, geralmente, insolúveis em água. Podem ser de origem ígnea e sedimentar. Os de origem ígnea possuem estrutura cristalina definida; são duros, estáveis e de baixa solubilidade (5). A ocorrência mais comum é da fluorapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, aparecendo em menor escala a cloroapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ e a hidroxiapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$. Os fosfatos sedimentares são originários de sedimentos minerais e orgânicos. São amorfos, por isso, menos estáveis, apresentando características físicas, químicas e mineralógicas variáveis, que diferem segundo a intensidade das substituições isomórficas na rede cristalina. Assim, existem as substituições de F^- por Cl^- e a do Ca^{2+} por Mg^{2+} e/ou Na^+ ; as substituições mais importantes são as que envolvem o PO_4^{3-} por $\text{CO}_3^{2-} + \text{F}^-$ ou $\text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^-$, que alteram a estrutura do cristal, diminuindo o tamanho e a estabilidade, o que contribui para o seu aumento de solubilidade. A ausência dessas substituições resultam em estruturas cristalinas fortes, o que explica maior solubilidade dos fosfatos de origem sedimentar quando comparados com fosfatos de origem ígnea (14).

Recentemente, foi descoberta, no Brasil, em Patos-MG, uma jazida de minério de fosfato. É uma rocha fosfatada de composição próxima a da fluorapatita. Os principais minerais acessórios são a muscovita e a sílica com menor quantidade de fosfato de alumínio e vavelita. São minerais fosfatados originários de rochas metamórficas de grau intermediário, possuem baixo grau de substituição de fosfato por carbonato em sua estrutura cristalina, por isso, são de pequena solubilidade. O conteúdo de P_2O_5 é baixo, em torno de 17 a 22%. São de baixa reatividade, insolúveis em água e

muito pouco solúveis em ácido cítrico*.

Entre outros fosfatos naturais usados no Brasil, para aplicação direta como fertilizante fosfatado, aparece o fosfato de Gafsa, Hiperfosfato, originário da Tunísia. É uma fosforita que apresenta alto grau de substituição isomórfica, por isso de maior reatividade, área superficial e solubilidade em ácido cítrico, quando comparado aos demais fosfatos naturais (14). São fosfatos que possuem em torno de 30% de P_2O_5 total, dos quais 40 - 50% solúveis em ácido cítrico 1:100 (15, 19, 20).

Os fosfatos industrializados são obtidos por acidulação ou calcinação da rocha fosfatada, originando os fosfatos solúveis e os termofosfatos, respectivamente. Esses processos de industrialização visam a transformação do fosfato tricálcico em fosfato mono ou dicálcico, mais solúveis que os fosfatos de rochas.

Os fertilizantes fosfatados industrializados possuem solubilidade variada, desde os totalmente solúveis em água até os somente solúveis em ácidos. KILMER & WEBBER (13) classificam-nos baseados em suas solubilidades: os solúveis em água, não solúveis em água mas solúveis em ácidos e insolúveis em ácidos. Cada grupo possui características próprias e comportamentos agrônômicos peculiares, conforme o tipo de solo e/ou cultura. Dos fosfatos solúveis, os mais comumente usados em nosso meio são os superfosfatos; desses, os mais importantes são o superfosfato simples (20% de P_2O_5) e o superfosfato triplo (45% de P_2O_5).

Os processos industriais do superfosfato simples são realizados pelo tratamento da rocha fosfatada com ácido sulfúrico. Na obtenção do superfosfato triplo, adiciona-se ácido fosfórico à rocha fosfatada.

O termofosfato é obtido, por via térmica, pelo processo de aquecimento da rocha fosfatada à temperatura que variam de 900-1400° C, com ou sem aditivos, visando aumentar a solubilidade do fosfato. Embora a estrutura da apatita seja quebrada pela alta temperatura, o fosfato resultante permanece insolúvel em água, porém, é mais solúvel em ácidos. Este processo não é muito usado na América Latina, mas comum na Europa, especialmente na Alemanha (21).

Pesquisas realizadas até o presente momento, mostram a existência de muitas variáveis envolvidas na eficiência agrônômica destes fertilizantes fosfatados, desde as características dos solos, o tipo de planta e composição do material usado.

HOWELLER & WOODRUFF (12) comparando diversos fosfatos naturais, encontraram maior eficiência na liberação de fósforo nos de origem sedimentar, quando comparados aos apatíticos de origem

* GREMILLION, R.; McCLELLAN, G.; LEHR, J. 1976. Alabama, TVA, Comunicação Pessoal.

Ígnea. Porém, os fosfatos industrializados, especialmente, o super fosfato triplo, são mais eficientes como fontes imediatas de fósforo para as plantas cultivadas, quando comparadas em diferentes solos e culturas (1, 2, 6, 7, 8, 9, 19, 20, 22).

O presente trabalho teve como objetivo observar o comportamento dos fosfatos de Patos de Minas Gerais, fosfato de Gafsa, fosfato de Rhenania e o superfosfato triplo, como fonte de fósforo para as plantas em três cultivos sucessivos usando solos de diferentes características.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido em vasos, em casa de vegetação do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, de julho a dezembro de 1976. Usou-se quatro fertilizantes fosfatados em três solos e em três cultivos: Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), soja (*Glycine max* (L.) Merril) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), denominados de primeiro, segundo e terceiro cultivos, respectivamente.

Os solos utilizados foram coletados da camada de 0 - 20 cm em locais onde os perfis se assemelham morfológicamente aos perfis modais. Pertencem as unidades de mapeamento Santo Ângelo, Júlio de Castilhos e São Pedro, classificados como Latosol Roxo Distrófico o primeiro e Podzólico Vermelho Amarelo os dois últimos, Haplortox, Palehumult e Paleudalf, respectivamente, BRASIL (3), Tabela 1.

As amostras tiveram sua acidez corrigida pela incubação durante 60 dias com uma mistura de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio na relação de peso de 4:1, em quantidades equivalentes às suas necessidades de calcário para elevação do pH até 5,5. Após, foram divididas em porções de 1,2 kg e acondicionados em vasos, onde receberam os tratamentos.

Nos fertilizantes usados, superfosfato triplo (SFT), fosfato natural de Gafsa (H), fosfato de Rhenania (Rh) e o fosfato natural de Patos-MG (Pa), determinou-se o P_2O_5 total, solúvel em ácido cítrico 1:300 e 1:100 pelos métodos descritos por CATANI (4), (Tabela 2). Os tratamentos para as quatro fontes se constituíram de doses de 0,50, 100, 200 e 400 mg de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico 1:300 por quilograma de solo, com três repetições para cada solo, em blocos inteiramente casualizados. Como tratamento complementar, foram adicionados 100 ppm de nitrogênio, 100 ppm de potássio, 5 ppm de zinco, 1 ppm de cobre, 0,25 ppm de molibdênio e 10 ppm de enxofre, em solução, completando-se, com água destilada, as quantidades suficientes para elevar o teor de umidade dos solos até 80% de suas capacidades de campo. Esta umidade foi mantida durante

te todo o experimento.

Tabela 2. Características dos adubos fosfatados.

| FONTES | P ₂ O ₅ | P ₂ O ₅ SOLÚVEL EM | P ₂ O ₅ SOLÚVEL EM | SOLUBILIDADE RE |
|-----------------------|-------------------------------|--|--|---|
| | TOTAL | ÁCIDO CÍTRICO | ÁCIDO CÍTRICO | LATIVA AO P ₂ O ₅ |
| | (%) | 1:300 (%) | 1:100 (%) | TOTAL* |
| Superfosfato triplo | 46,6 | 45,0 | 44,8 | 96 (96) |
| Fosfato de Gafsa (H) | 28,0 | 24,0 | 11,6 | 88 (41) |
| Fosfato de Rhenania | 21,6 | 20,5 | 19,5 | 95 (92) |
| Fosfato de Patos (MG) | 20,8 | 12,0 | 5,7 | 58 (27) |

* Números entre parênteses referem-se à solubilidade relativa em ácido cítrico 1:100.

Para o primeiro cultivo usou-se cinco plantas por vaso da variedade de sorgo "Pioneer 8308". Cinquenta dias após a germinação, procedeu-se a colheita, cortando-se as plantas rente ao solo. A seguir o solo foi secado e retiraram-se as raízes. Vinte cinco dias após, efetuou-se a sementeira do segundo cultivo, soja da variedade "Bragg", adicionou-se então, mais 100 ppm de nitrogênio e 100 ppm de potássio. Mantiveram-se três plantas por vaso, as quais foram colhidas 50 dias após a germinação, cortando-se as plantas rente ao solo.

O terceiro cultivo foi efetuado seis dias antes da colheita da soja. Utilizou-se sorgo da mesma variedade do primeiro. Quando a soja foi colhida, o sorgo completava a germinação. Adicionou-se então adubação suplementar nas mesmas doses utilizadas no primeiro cultivo. Este último foi colhido 40 dias após a germinação.

Os materiais colhidos foram secados em estufa a 60°C, até peso constante. A seguir foram pesados, triturados e passados em peneira de 20 malhas/polegada, nesses extraiu-se o fósforo por digestão nitro-perclórica, analisando o extrato com solução vanodomolibdica, conforme método descrito por SARRUGE & HAAG (17).

Nos solos São Pedro e Santo Ângelo, após o terceiro cultivo, extraiu-se o fosfato com NaOH 0,5M, na testemunha, e no tratamento 200 mg de P₂O₅/kg de solo, para os quais pesou-se uma grama de solo, adicionaram-se 30 ml de NH₄Cl 1N, agitou-se por 30 minutos e centrifugou-se, descartando o sobrenadante. A seguir adicionaram-se 30 ml de NaOH 0,5 M, agitou-se por 17 horas, centrifugou-se e recolheu-se o sobrenadante, no qual se determinou o fósforo.

Estudaram-se os efeitos dos níveis, fontes, solos, suas interações, pela análise da variância. Comparou-se as médias pelo teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante dos resultados de rendimentos de massa seca e fósforo absorvido, apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5, verifica-se que os tipos de fertilizantes fosfatados comportaram-se diferentemente durante a sucessão de cultivos. Mas, para as quatro fontes de fósforo, houve um acréscimo no rendimento de massa seca e fósforo absorvido com o aumento da quantidade de P_2O_5 aplicada nos três solos, indicando que essas fontes liberaram fósforo para a planta, embora isso fosse feito em proporções variáveis segundo o tipo de solo (Tabela 6).

Em média, durante o primeiro cultivo, o superfosfato triplo foi o fosfato que forneceu mais fósforo para a planta, seguido do fosfato de Rhenania, Hiperfosfato e fosfato de Patos, obedecendo a sequência da solubilidade relativa dos fertilizantes em ácido cítrico 1:300 (Tabela 2). Essa maior capacidade de suprimento inicial de fósforo do superfosfato triplo, quando comparada a outras fontes de fósforo, também foi observada por BARRETO (1), FERREIRA (7), GOEPFERT & MOURA (10), McLEAN (16), SIQUEIRA et alii (18), VIEGAS et alii (19, 20).

Para o segundo cultivo, o fosfato foi absorvido em maior quantidade nos tratamentos com fosfato Rhenania. Houve manutenção no fornecimento de fósforo pelo superfosfato triplo e um aumento na disponibilidade de fósforo pelos fosfatos naturais, embora ainda se mostrassem significativamente inferiores aos demais (Tabela 6).

No terceiro cultivo, o Hiperfosfato mostrou-se significativamente superior ao suprimento de fósforo para a planta, seguido do fosfato Rhenania, do superfosfato triplo e fosfato de Patos, sendo que os dois últimos não foram diferentes estatisticamente entre si (Tabela 6). Esse aumento da disponibilidade de fósforo pelos fosfatos naturais, especialmente de Hiperfosfato (Figura 1), também foram observados por BARRETO (1), DYNIA (6), GOEPFERT & MOURA (10), GOEPFERT et alii (11) e McLEAN (16).

Tomando-se a eficiência relativa à testemunha de cada fonte sobre o fósforo absorvido, verifica-se que o tratamento 400 mg de P_2O_5 do superfosfato triplo, no solo Santo Ângelo, equivale a 38 vezes o fósforo absorvido pela testemunha. O nível do Patos, no solo São Pedro, equivale a 16 vezes a testemunha e o nível 200 mg de P_2O_5 do Rhenania, no solo Júlio de Castilhos, equivale a 20 vezes o teor de fósforo pela testemunha. Por outro lado, comparando-se o mesmo nível (200 mg de P_2O_5 /kg de solo), nesses três solos, destas mesmas fontes, verifica-se que, no solo Santo Ângelo, o superfosfato triplo equivale a 12 vezes o teor de fósforo absorvido pela testemunha. O Patos, no solo São Pedro, equivale a 6 vezes a testemu

Tabela 3. Efeito da aplicação do superfosfato triplo (SFT), fosfato de Gafsa (H), fosfato de Patos (Pa) e do fosfato de Rhenania (Rh) sobre o rendimento de matéria seca (g/vaso) e fósforo absorvido (mg/vaso), em três cultivos, no solo São Pedro*.

| DOSES DE P | FONTES | PESO DE MASSA SECA (g/vaso) | | | P ABSORVIDO (mg/vaso) | | |
|---------------|--------|--------------------------------|------|-------|--------------------------|------|-------|
| | | CULTIVOS | | | CULTIVOS | | |
| | | Sorgo | Soja | Sorgo | Sorgo | Soja | Sorgo |
| 0 | | 0,72 | 4,33 | 4,10 | 0,5 | 3,4 | 2,5 |
| 50 | | 2,70 | 5,86 | 7,60 | 2,7 | 5,3 | 5,3 |
| 100 | SFT | 5,90 | 5,87 | 7,13 | 8,3 | 7,0 | 6,4 |
| 200 | | 6,76 | 7,11 | 11,83 | 6,9 | 10,0 | 13,0 |
| 400 | | 7,56 | 6,27 | 12,93 | 8,0 | 14,4 | 24,6 |
| 50 | | 2,03 | 6,09 | 9,77 | 2,0 | 5,5 | 8,8 |
| 100 | H | 1,81 | 6,48 | 12,47 | 2,0 | 7,1 | 15,0 |
| 200 | | 3,68 | 6,73 | 15,40 | 4,4 | 8,1 | 26,2 |
| 400 | | 3,49 | 6,39 | 14,23 | 4,5 | 9,6 | 28,5 |
| 50 | | 2,29 | 6,33 | 9,90 | 2,5 | 6,3 | 7,9 |
| 100 | Rh | 4,18 | 6,15 | 9,07 | 5,9 | 6,8 | 8,2 |
| 200 | | 5,98 | 6,18 | 12,03 | 13,8 | 9,9 | 13,2 |
| 400 | | 5,24 | 6,72 | 13,86 | 9,4 | 23,5 | 27,7 |
| 50 | | 1,19 | 5,19 | 5,40 | 1,2 | 4,7 | 3,8 |
| 100 | Pa | 2,25 | 4,96 | 8,17 | 2,3 | 5,0 | 6,5 |
| 200 | | 2,73 | 8,89 | 9,87 | 3,0 | 11,6 | 9,9 |
| 400 | | 5,22 | 5,34 | 11,47 | 7,8 | 6,9 | 13,8 |

* Podzólico Vermelho Amarelo (PALEUDALF).

Tabela 4. Efeito da aplicação do superfosfato triplo (SFT), fosfato de Gafsa (H), fosfato de Patos (Pa) e do fosfato de Rhenania (Rh) sobre o rendimento de matéria seca (g/vaso) e fósforo absorvido (mg/vaso), em três cultivos, no solo Júlio de Castilhos*.

| DOSES DE P | FONTES | PESO DE MASSA SECA (g/vaso) | | | P ABSORVIDO (mg/vaso) | | |
|---------------|--------|--------------------------------|------|-------|--------------------------|------|-------|
| | | CULTIVOS | | | CULTIVOS | | |
| | | Sorgo | Soja | Sorgo | Sorgo | Soja | Sorgo |
| 0 | | 0,47 | 1,70 | 4,50 | 0,3 | 1,5 | 3,2 |
| 50 | | 1,09 | 2,67 | 5,27 | 1,4 | 2,7 | 3,7 |
| 100 | SFT | 3,00 | 4,46 | 10,23 | 5,4 | 4,5 | 8,2 |
| 200 | | 6,18 | 4,67 | 12,00 | 5,6 | 4,7 | 12,0 |
| 400 | | 2,97 | 4,67 | 13,47 | 12,4 | 6,5 | 13,5 |
| 50 | | 1,02 | 3,69 | 7,33 | 1,2 | 3,0 | 5,9 |
| 100 | | 2,40 | 4,86 | 9,43 | 3,1 | 4,9 | 8,5 |
| 200 | H | 1,98 | 5,34 | 12,87 | 3,2 | 5,9 | 12,9 |
| 400 | | 3,13 | 4,85 | 13,00 | 5,3 | 6,8 | 15,6 |
| 50 | | 1,12 | 2,97 | 7,50 | 1,5 | 2,7 | 6,0 |
| 100 | | 2,69 | 5,23 | 10,03 | 4,8 | 5,8 | 9,0 |
| 200 | Rh | 2,97 | 4,43 | 10,40 | 5,9 | 5,3 | 11,4 |
| 400 | | 4,94 | 4,56 | 13,27 | 9,9 | 7,3 | 16,0 |
| 50 | | 0,76 | 3,22 | 7,53 | 0,8 | 2,9 | 6,0 |
| 100 | | 0,90 | 3,00 | 6,90 | 1,2 | 3,0 | 6,2 |
| 200 | Pa | 1,57 | 3,23 | 9,20 | 2,2 | 3,6 | 8,3 |
| 400 | | 2,48 | 4,41 | 10,43 | 3,5 | 5,7 | 11,5 |

* Podzólico Vermelho Amarelo (PALEHUMULT).

Tabela 5. Efeito da aplicação do superfosfato triplo (SFT), fosfato de Gafsa (H), fosfato de Patos (Pa) e do fosfato de Rhenania (Rh) sobre o rendimento de matéria seca (g/vaso) e fósforo absorvido (mg/vaso), em três cultivos, no solo Santo Ângelo*.

| DOSES DE P | FONTES | PESO DE MASSA SECA (g/vaso) | | | P ABSORVIDO (mg/vaso) | | |
|---------------|--------|--------------------------------|------|-------|--------------------------|------|-------|
| | | CULTIVOS | | | CULTIVOS | | |
| | | Sorgo | Soja | Sorgo | Sorgo | Soja | Sorgo |
| 0 | | 0,33 | 1,64 | 0,68 | 0,2 | 1,1 | 0,3 |
| 50 | | 0,65 | 1,81 | 2,03 | 0,4 | 1,3 | 1,2 |
| 100 | SFT | 1,27 | 2,51 | 4,23 | 1,0 | 1,8 | 3,0 |
| 200 | | 2,84 | 3,43 | 9,30 | 2,3 | 2,4 | 7,4 |
| 400 | | 5,44 | 4,22 | 8,07 | 7,6 | 3,0 | 6,5 |
| 50 | | 0,47 | 1,86 | 3,20 | 0,3 | 1,3 | 1,9 |
| 100 | H | 1,06 | 2,14 | 4,07 | 0,6 | 1,7 | 2,4 |
| 200 | | 1,49 | 3,04 | 8,00 | 0,9 | 2,1 | 5,6 |
| 400 | | 1,70 | 3,41 | 9,70 | 1,4 | 2,7 | 7,8 |
| 50 | | 0,67 | 2,00 | 3,03 | 0,5 | 1,4 | 2,1 |
| 100 | Rh | 1,47 | 2,73 | 5,03 | 1,0 | 2,2 | 4,0 |
| 200 | | 2,96 | 3,58 | 7,93 | 2,7 | 2,1 | 6,3 |
| 400 | | 4,20 | 5,30 | 14,13 | 5,9 | 4,2 | 11,3 |
| 50 | | 0,49 | 1,17 | 1,75 | 0,3 | 1,2 | 1,1 |
| 100 | Pa | 0,92 | 2,04 | 2,98 | 0,6 | 1,4 | 2,1 |
| 200 | | 1,12 | 1,62 | 4,93 | 0,9 | 1,3 | 3,5 |
| 400 | | 1,74 | 2,80 | 7,53 | 1,6 | 2,2 | 5,3 |

* Latossolo Roxo Distrôfico (HAPLORTOX).

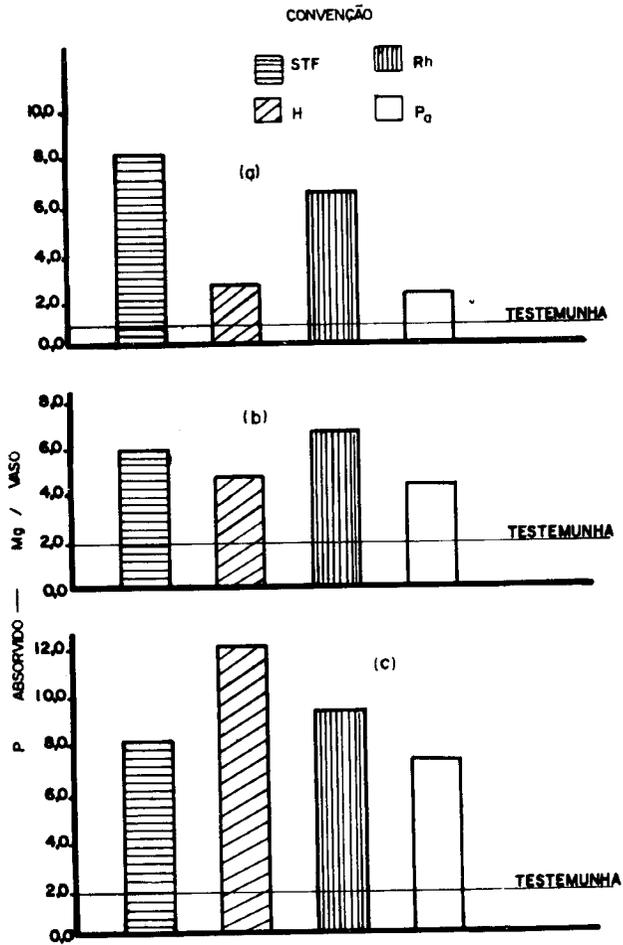


Figura 1. Fósforo absorvido (mg/vaso) do superfosfato triplo (SFT), fosfato de Gafsa (H), fosfato de Rhenania (Rh) e fosfato de Patos (Pa); média de três repetições e nos três cultivos: (a) primeiro cultivo, (b) segundo cultivo e (c) terceiro cultivo, média dos três solos.

nha e o Rhenania, no solo Júlio de Castilhos, 20 vezes a testemunha (Tabelas 3, 4, 5).

A absorção de fósforo pelas plantas, considerando todos os níveis e fontes, foi decrescente segundo o tipo de solo, obedecendo a ordem arenoso, franco e argiloso (Tabela 6).

Tabela 6. Comportamento dos fertilizantes fosfatados e dos solos na liberação de fósforo em sucessão de cultivos*.

| | SORGO** | SOJA** | SORGO** |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | P absorvido (mg/vaso) | P absorvido (mg/vaso) | P absorvido (mg/vaso) |
| FONTE | | | |
| SFT | 7,7 a | 5,7 b | 7,7 c |
| Rh | 6,1 b | 6,4 a | 9,0 b |
| H | 2,4 c | 4,6 c | 11,7 a |
| Pa | 2,0 c | 4,2 c | 7,0 c |
| SOLOS | | | |
| SP | 7,7 a | 8,8 a | 12,7 a |
| JC | 4,1 b | 4,7 b | 9,0 b |
| SA | 1,8 c | 2,2 c | 4,9 c |

* Média dos três solos e três repetições.

** Valores com a mesma letra não possuem diferença significativa entre si, no rendimento de fósforo absorvido.

Tomando-se o fósforo extraído com NaOH 0,5 M, como a quantidade de fósforo do fertilizante que reagiu com o solo, observa-se, na Tabela 7, que existe similaridade no comportamento dos fertilizantes como supridores do fósforo com o seu grau de reação no solo. O fosfato natural de Patos, que se mostrou menos eficiente que as demais fontes, foi o que apresentou menor grau de dissolução no solo, cerca de 25% no solo arenoso, quando comparado aos demais fosfatos, e aproximadamente 60% no solo argiloso. Essa comparação relativa concorda com DYNIA (6) quando este relata que existe maior solubilidade de fosfatos naturais em solos argilosos que em arenosos.

Observando-se valores de fósforo extraído com NaOH, apresenta-se na Tabela 7, nota-se que o solo Santo Ângelo apresentou menor reação solo-fertilizante que o solo São Pedro, o que concorda com VIEGAS et alii (19,20). Esses autores incluem a variável carência

de fósforo no solo como um dos fatores de aumento de eficiência dos fosfatos no suprimento de fósforo, pois o solo Santo Ângelo possui quatro vezes mais fósforo nativo que o solo São Pedro.

Tabela 7. Fósforo extraído com NaOH 0,5N nos solos São Pedro e Santo Ângelo das diferentes fontes de fertilizantes fosfatados (SFT, H. Rh e Pa), no nível de 200 mg/kg de fósforo adicionado e da testemunha*.

| P ADICIONADO (mg/kg) | ppm DE P NOS SOLOS** | | | | |
|-----------------------------|----------------------|------|------|------|------|
| | Testemunha | SFT | H | Rh | Pa |
|Solo São Pedro..... | | | | | |
| Testemunha | 6,0 | - | - | - | - |
| 200 | - | 38,0 | 37,0 | 43,0 | 14,0 |
|Solo Santo Ângelo..... | | | | | |
| Testemunha | 25,0 | - | - | - | - |
| 200 | - | 52,0 | 51,0 | 55,0 | 42,0 |

* Média de três repetições.

** Extração de NaOH 0,5N.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nas condições do presente trabalho, pode-se concluir que:

1. Durante o primeiro cultivo (sorgo), o superfosfato triplo e o fosfato de Rhenania foram as melhores fontes de fósforo para os três solos.

2. O acréscimo dos níveis de P_2O_5 até 400 mg de P_2O_5 /kg de solo aumentou o rendimento de massa seca e fósforo absorvido, para todas as fontes, nos três solos.

3. A resposta das plantas à aplicação de fertilizantes fosfatados foi decrescente, segundo o tipo de solo, na ordem arenoso, franco e argiloso.

4. O efeito residual das fontes de fósforo variou com o tipo de solo. As melhores fontes de fósforo foram; no solo arenoso o fosfato de Rhenania e fosfato de Gafsa. No solo franco fosfato Rhenania e fosfato de Gafsa e no solo argiloso, superfosfato triplo e fosfato Rhenania. O fosfato natural de Patos-MG, foi a fonte menos eficiente durante os três cultivos e nos três solos.

5. A baixa eficiência do fosfato natural de Patos-MG pode ser atribuída a sua lenta dissolução no solo.

LITERATURA CITADA

1. BARRETO, A.C. - Efeito de acidulação parcial, de misturas com superfosfato triplo e enxôfre e da granulação na eficiência de fosfatos naturais. Porto Alegre, Fac. Agron. UFRGS, 1977. 64p. (Tese Mestrado - Mimeografado).
2. BLANCO, H.G.; VENTURINI, W.R.; GARGANTINI, H. - Comportamento de fertilizantes fosfatados em diferentes condições de acidez do solo, para trigo, com estudo do efeito para a soja. *Bragantia*, 24:261-279, 1965.
3. BRASIL, Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica - Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).
4. CATANI, R.A. - Manual de controle de qualidade de fertilizantes. Rio de Janeiro, ANDA. 1973. 68p.
5. COOKE, G.W. - Phosphate fertilizers. In: _____ *The Control of soil Fertility*. London, Crosby Lockwood & Son. 1967. p.122-138.
6. DYNIA, J.F. - Efeito do pH e de capacidade de retenção de fósforo dos solos na eficiência de adubos fosfatados. Porto Alegre, Fac. Agron., UFRGS, 1977. 61p. (Tese Mestrado - Mimeografado).
7. FERREIRA, T.N. - Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais de Patos de Minas e Gafsa puros, em misturas com superfosfato triplo e modificados por acidulação e calcinação. Santa Maria, UFSM, 1978. 64p. (Tese de Mestrado).
8. GARGANTINI, H.; FEITOSA, C.T.; IGUE, T. - Efeito de diferentes fertilizantes fosfatados, em diversas condições de acidez do solo, na produção do trigo em vasos. *Bragantia*, 31(9):109-116, 1972.
9. GARGANTINI, H. & SOARES, E. - Efeito de diversos fertilizantes fosfatados na produção de trigo cultivado em vasos. *Bragantia*, 32(9):193-201, 1973.
10. GOEPFERT, C.F. & MOURA, R.L. - Informe preliminar sobre o efeito de superfosfato triplo, fosfato de Rhenania e fosfato de Gafsa aplicados em seis níveis de P_2O_5 , sobre a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em solo Bom Retiro. In: REUNIÃO CONJUNTA DE PESQUISA DA SOJA IV. Porto Alegre. Ata... 1976 p.1-7.

11. GOEPFERT, C.F.; HILGERT, E.; GONÇALVES, H.; MOURA, R.L. de; TEDESCO, A.; SALIM, O. - Avaliação da eficiência de cinco adubos fosfatados em três solos ácidos do Rio Grande do Sul. *Agronomia Sulriograndense*, 12(2):179-188, 1976.
12. HOWELLER, R.H. & WOODRUFF, C.M. - Dissolution and availability to plants of phosphorus as igneous and sedimentary origins. *Soil Science Society of America Proceedings*, 32(1):79-82, 1968.
13. KILMER, J.V. & WEBBER, J. - Agronomic effectiveness on different fertilizer. In: _____ *Changing Patterns in Fertilizer Use*. Madison, Soil Science Society of America. 1968. cap.2, p.35-37.
14. LEHR, J.R. & McCLELLAN, G.H. - A revised laboratory reactivity scale evaluating phosphate rocks for direct application. Muscle Shoals, Alabama, National Fertilizer Development Center. 1972. 36p. (Bulletin, Y-43).
15. MACEDO, W.S.L. de. - Respostas à aplicação de calcário e diferentes fontes de fósforo de misturas forrageiras em dois tipos de solos. Porto Alegre, UFRGS, 1975. 116p. (Tese Mestrado - Mimeografado).
16. McLEAN, E.O. - Factors affecting yields and uptake of phosphorus by different crops: II. Rock phosphate and super phosphate, separate and in combinations under extended cropping. *Soil Science*, 82(3):181-192, 1956.
17. SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. - Análises químicas em plantas. Piracicaba, Universidade de São Paulo, ESALQ. 1974. 56p.
18. SIQUEIRA, O.J.F. de.; BARTZ, H.R.; SCHOLLES, D. - Avaliação do comportamento de fosfato de Patos de Minas e Fosfato de Araxá, em relação ao Superfosfato Triplo, sobre o desenvolvimento da cultura do Trigo. Trabalho apresentado na IX Reunião Anual Conjunta de Pesquisa de Trigo, Londrina, PR. 1977. 8p. (Mimeografado).
19. VIEGAS, G.P.; FREIRE, E.S.; CONAGIN, A. - Adubação do milho. XVIII. Ensaio com diversos fosfatos (4ª série). *Bragantia*, 20(2):15-34, 1960.
20. VIEGAS, G.P.; SMITH, E.; FREIRE, E.S. - XVII Ensaio com diversos fosfatos (3ª série). *Bragantia*, 20(1):1-13, 1961.
21. WHITNEY, W.T. & HOLLINGSWORTH, C.A. - Calcined, fused and defluorinated phosphates. In: WAGGAMAN, W.H. *Phosphoric acid, phosphates and phosphatic fertilizers*. New York, Hafner, 1969. cap. 20, p.376-406.
22. WOLKWEISS, S.J. - Fatores que afetam a eficiência agrônômica de adubos fosfatados. Porto Alegre, UFRGS, 1977. 18p. (Resumos dos trabalhos do Departamento de Solos - Mimeografado).