

EFEITO DO FOSFATO PARCIALMENTE ACIDULADO NO RENDIMENTO DE MATÉRIA
SECA E FÓSFORO ABSORVIDO NA SUCESSÃO AVEIA-MILHETO-MILHETO

Partially Acidulated Phosphate Effect on Yield and
Phosphorus Accumulation by Oat Millet

João Kaminski*, Arquimedes Miguel Calderón De León**, Hardi
René Bartz*** e Flávio Moreira Xavier***

RESUMO

O presente trabalho foi conduzido a campo, sobre o solo da unidade de mapeamento São Pedro (Podzólico Vermelho Amarelo) PALEUDALF, para avaliar a capacidade imediata e residual de suprimento do fósforo do fosfato parcialmente acidulado, em um cultivo de aveia (*Avena sativa* (L.) var. UPF-3) e dois de milho (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) estimado pelo rendimento de massa seca e fósforo absorvido.

Usou-se tratamento nas doses de 450, 150 e 50kg de P_2O_5 total/ha de fosfato parcialmente acidulado e 150kg de P_2O_5 /ha do superfosfato triplo no cultivo da aveia e subdividiu-se as parcelas em três sub-parcelas, reaplicando-se a cada cultivo de milho 60kg de P_2O_5 /ha de fosfato parcialmente acidulado e superfosfato triplo, permanecendo uma sub-parcela sem reaplicação. Determinou-se a disponibilidade de fósforo no solo pelo método da Resina de Troca saturada com bicarbonato e pelo extrator Carolina do Norte.

A disponibilidade de fósforo do fosfato parcialmente acidulado foi função da quantidade de P_2O_5 solúvel e não da quantidade total de P_2O_5 do fertilizante.

Na marcha de absorção de fósforo pelo cultivo de milho, a taxa de absorção é maior quando a fonte é superfosfato triplo do que o fosfato parcialmente acidulado, ambos adicionados antes do plantio. A Resina de Troca correlacionou-se melhor que o extrator Carolina do Norte com o fósforo absorvido pela planta.

UNITERMOS: fosfato parcialmente acidulado; marcha de absorção de fósforo; milho; aveia.

* Prof.Adj. do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria. 97.119, Santa Maria, RS, Brasil. Pesquisador do CNPq.

** Aluno do Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria.

*** Prof.Adj. do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria.

SUMMARY

This field research was conducted on a soil of the São Pedro mapping unit (Podzólico Vermelho Amarelo), PALEUDALF, aiming to evaluate the phosphorus supplying capacity of partially acidulated phosphate for the growth of oats (*Avena sativa* (L) var. UPF-3) and millet (*Pennisetum americanum* (L) Leeke). The phosphorus supplying capacity was estimated through the dry matter yield and phosphorus uptake.

The treatments used included a rates of 450, 150 and 50kg of P_2O_5 /ha of partially acidulated phosphate and 150kg of P_2O_5 /ha of triple superphosphate for the cultivation of oats, the plots were divided into three subplots replicating for each millet cultivation 60kg of P_2O_5 /ha of partially acidulated phosphate and triple superphosphate leaving one plot without reapplication. The soil phosphorus availability was determined by the exchange resin method, saturated with sodium bicarbonate, and by the North Carolina extractor.

The plants yield on partially acidulated phosphate treatments was a function of the amount of soluble P_2O_5 and not of the total amount of P_2O_5 of the fertilizer.

The millet rate of phosphorus uptake was higher having triple superphosphate as the source than with partially acidulated phosphate, both applied before planting. The exchange resin was better correlated than the North Caroline extractor with the phosphorus uptake by the plant.

KEY WORDS: partially acidulated phosphate, millet phosphorus uptake rate, millet, oat.

INTRODUÇÃO

A origem geológica das rochas fosfatadas existentes no Brasil, lhes determinaram características que inviabilizam sua utilização direta na agricultura, sendo, pois, obrigatório a sua alteração através de processos industriais (KAMINSKI, 3).

A dependência do país em enxofre, insumo indispensável para industrialização dos fosfatos, tem preocupado pesquisadores e indústrias na busca de alternativas para reduzir ou substituir este insumo. A utilização de fosfatos acidulados parcialmente, uma variante do superfosfato simples onde se utiliza 50% do ácido sulfúrico necessário para obtenção do superfosfato, foi a escolha que mais reuniu adeptos. Assim, o fosfato parcialmente acidulado seria um adubo mais barato e de características fertilizantes intermediárias entre o superfosfato simples e

a rocha fosfatada, onde a fração acidulada viria a suprir a necessidade imediata da planta e a não acidulada seria utilizada residualmente. Tais propriedades garantiriam o suprimento contínuo de fósforo para as plantas adubadas. Porém, é necessário avaliar o valor fertilizante destes fosfatos, pois se a fração não acidulada do fosfato natural permanecer com suas características originais, o efeito residual será tão baixo quanto o do fosfato natural que lhe deu origem e, sua ação fertilizante se resumirá a da fração solúvel do produto (KAMINSKI, 3; KHA-SAWEHAN & DOLL, 4).

Nos solos onde são aplicados fosfatos, o fósforo disponível para as plantas é uma resultante das reações solo-fertilizante. Uma vez completada essa reação, a disponibilidade independe do fosfato utilizado (RAIJ & DIEST, 9). Se a reação com o solo for incompleta, a porção que não reagiu, ainda pode contribuir com fósforo para a solução, porém, com taxas de dissolução menores que a taxa de consumo pela planta, mas esta porção também fará parte do efeito residual do fosfato. SAUCHELLI (12) relatou que este efeito residual pode variar de 40% a 65% no primeiro ano, até 20% no terceiro ano. RODRIGUES et alii (10) estimaram em 50% e 20% o efeito residual do superfosfato triplo aos 11 e 18 meses após a aplicação, quando comparado ao efeito imediato do fertilizante.

PALMA & FASSBENDER (7) e RAIJ (8), sugeriram que o suprimento de fósforo para as plantas depende de quatro fatores primários: quantidade de fósforo no solo, fósforo na solução do solo, taxa de dissolução dos fosfatos formados e da difusividade do elemento solo. Tais parâmetros podem ser estimados, porém a metodologia é de difícil adaptação para o uso rotineiro em análise de terras. Por isso, a maioria dos métodos baseiam-se em determinações que refletem o fator quantidade ou intensidade do fósforo do solo. Obviamente, o método mais adequado para estimar a disponibilidade de fósforo para as plantas, é conduzir experimentos a campo planejados com esta finalidade, o que é impraticável para ser usado rotineiramente. Em vista disto, tem sido desenvolvidos métodos de laboratório para estimar a disponibilidade de fósforo para as plantas (VÖLKEISS & RAIJ, 15).

Para avaliar a capacidade dos métodos medirem a quantidade de fósforo disponível, ou de fornecer um índice relativo desta quantidade, são feitos estudos envolvendo correlações entre a absorção de fósforo pelas plantas e os valores de fósforo extraído por diferentes extratores (GALRÃO, 2). Porém, experimentos de calibração conduzidos a campo, são necessários para determinar as relações entre valores de fósforo

extraível pelos métodos e as respostas das culturas à adubação (MIELNICZUK et alii, 5; MIRANDA, 6).

Este experimento objetivou estimar o efeito imediato e residual do fosfato parcialmente acidulado comparado ao do superfosfato triplo, e avaliar a disponibilidade de fósforo pelos extratores Carolina do Norte e Resina de Troca Aniônica.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho instalado em 1982 a campo, num solo da Unidade de Mapeamento São Pedro (Podzólico Vermelho Amarelo) PALEUDALF, arenoso (bem drenado). O solo foi preparado convencionalmente com anterior aplicação de calcário para elevação do pH a 6.0 (ROLAS, 1981).

O delineamento experimental foi de Blocos ao Acaso com parcelas de dimensões de 18 X 4 metros, onde os tratamentos, baseados no teor total de P_2O_5 do fertilizante (SFT) foram:

- 150kg de P_2O_5 /ha do superfosfato triplo (SFT), (solúvel).
- 450kg de P_2O_5 /ha do fosfato parcialmente acidulado (FPA). (270kg de P_2O_5 /ha solúvel).
- 150kg de P_2O_5 /ha do fosfato parcialmente acidulado (90kg de P_2O_5 /ha solúvel).
- 50kg de P_2O_5 /ha do fosfato parcialmente acidulado (FPA). (30kg de P_2O_5 /ha solúvel).
- Testemunha.

Os fosfatos foram espalhados na superfície do solo e incorporados com enxada rotativa. Os demais nutrientes, quantidades e formas foram usados como preconiza a tabela de adubações da Rede Oficial de Análise de Solos R.S. (ROLAS, 1981).

No primeiro ano, verão 82/83 foi plantada soja (*Glycine max* (L.) Merrill) para uniformização da área experimental. A cultura da aveia (*Avena sativa* (L.) var. UPF-3) foi semeada no inverno de 1983. No florescimento foram coletados 5 plantas sem raiz por parcela para análise de fósforo. Após a colheita, o solo foi amostrado na profundidade de 0-10cm para análise de fósforo. Então, as parcelas principais foram subdivididas em três subparcelas de 6 X 4, que receberam os seguintes tratamentos complementares de fosfato: uma recebeu 60kg de P_2O_5 /ha do SFT; a segunda 60kg de P_2O_5 /ha do FPA e a terceira não recebeu adubação fosfatada; nas três subparcelas foi aplicada adubação complementar de 100 kg de K_2O /ha. Os fertilizantes foram aplicados à lanço e incorporados com enxada rotativa. Semeou-se milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leake)

no dia 23/12/83, em linha com distância de 30cm entre linhas e densidade de sementeira de 20kg/ha. Colheu-se massa verde, cortada rente ao solo e fez-se amostragem para análise de fósforo absorvido pela planta. Após a colheita, o solo foi novamente amostrado à profundidade de 0 a 10cm para avaliar a disponibilidade de fósforo.

Em 11/01/84 reaplicou-se os fosfatos, nas subparcelas e semeou-se novamente milho (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). Vinte e cinco dias após a sementeira fez-se um corte da parte aérea, a mais ou menos 10cm da superfície do solo, para uniformizar o crescimento das plantas, pois as condições climáticas (temperaturas de 40°C e falta de chuva) provocaram desuniformidade na germinação e desenvolvimento inicial. Dez dias após o corte de uniformização, efetuaram-se coletas de amostras de plantas, com intervalo de 15 dias. As amostras foram separadas em folha, caule e espiga e secadas em estufa até o peso constante, moídas e usadas para análise de fósforo. Após a colheita o solo foi amostrado a profundidade de 0 a 10cm para análise de fósforo.

O fósforo da planta foi analisado pelo método da extração simultânea por digestão com H_2O_2 e H_2SO_4 (TEDESCO, 14). O fósforo do solo pelos métodos da Resina de Troca Aniônica base forte, saturada com bicarbonato de sódio (KAMINSKI, 3) e o extrator Carolina do Norte (MIELNICZUK et alii, 5).

Os resultados foram avaliados usando análise de variância e o teste Duncan para comparação de médias. A associação entre fósforo extraído pelos métodos e acumulado pelas plantas foi estimada por correlação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de produção de massa seca da aveia e fósforo absorvido são apresentados na Tabela 1. Pela comparação das médias pelo teste de Duncan, observa-se que os rendimentos cresceram com aumento da dose de fosfato, podendo-se inferir que os rendimentos parecem função do P_2O_5 solúvel em ácido cítrico ao invés do P_2O_5 total do fertilizante. A quantidade de fósforo absorvido pela aveia acompanhou, praticamente, a mesma tendência da massa seca. Estes resultados concordam com os dados de KAMINSKI (3) e RODRIGUES et alii (10) onde os aumentos de rendimentos acompanharam o crescimento das doses de P_2O_5 solúvel.

A produção de massa seca e fósforo absorvido pelo milho no verão 83/84, Tabela 2. e verão 84/85, Tabela 3, mostram, praticamente, a mesma tendência, embora os valores não foram coincidentes. Assim, as quantidades de fósforo absorvido pelo milho foram menores nas subpar-

TABELA 1. Rendimento de massa seca e fósforo absorvido pela cultura da aveia (média de três repetições).

Treatamento	P ₂ O ₅ solúvel ac.citr.	Rend. Massa Seca (kg/ha)	P ₂ O ₅ /ha (kg/ha)
FPA 450kg de P ₂ O ₅ /ha	270	2250 a	12,00
FPA 150kg de P ₂ O ₅ /ha	90	1708 c	7,63
FPA 50kg de P ₂ O ₅ /ha	30	1388 d	7,51
Super 150kg de P ₂ O ₅ /ha	150	2049 b	10,67
Testemunha	0	1235 e	6,85

CV = 11%

TABELA 2. Produção de massa seca e fósforo absorvido pelo milho cultivado no verão 83/84 (média de três repetições).

Treatamento Principal	Subparcelas Reaplicação	P ₂ O ₅ abs. (kg/ha)	C.V. %	Prod. massa seca (t/ha)	C.V. %
FPA 450 ^{1/}	0 ^{1/}	16,8	-	11,4	-
	60 FPA	17,0 ns	-	12,6 ns	-
	60 ST	17,7	13	12,9	12
FPA 150	0	8,4	-	9,0	-
	60 FPA	9,9 ns	-	7,3 ns	-
	60 ST	13,2	38	10,7	36
FPA 50	0	7,9	-	8,9	-
	60 FPA	11,9 ns	-	10,9 ns	-
	60 ST	9,8	27	9,4	28
ST 150	0	14,1	-	11,2	-
	60 FPA	15,6 ns	-	11,3 ns	-
	60 ST	15,7	31	10,8	19
Testemunha	0	3,4 *	-	8,6 *	-
	60 FPA	11,4 ns	-	11,1	-
	60 ST	13,7 ns	33	12,4 ns	11

^{1/} O numeral se refere a quantidade de P₂O₅ total/ha aplicados usando fontes de FPA (fosfato parcialmente acidulado) e ST (superfosfato triplo).

* Significativo ao nível de 5%.

TABELA 3. Produção de massa seca e fósforo absorvido pelo segundo cultivo de milho - Verão 84/85 (média de três repetições).

Tratamento Principal	Subparcelas Reaplicação	P ₂ O ₅ abs. (kg/ha)	C.V. %	Prod. massa seca (t/ha)	C.V. %
FPA 450 ^{1/}	0 ^{2/}	30,6 ns	-	10,0 ns	-
	R	38,3 ns	49	10,4 ns	11
FPA 150	0	18,2 ns	-	8,8 ns	-
	R	18,8 ns	38	9,4 ns	13
FPA 50	0	12,6 ns	-	8,1 ns	-
	R	17,0 ns	45	9,5 ns	10
ST 150	0	25,3 ns	-	8,1 ns	-
	R	35,5 ns	47	9,1 ns	21
Testemunha	0	9,2 ns	-	9,2 ns	-
	R	20,2 ns	42	9,2 ns	21

^{1/} O numeral se refere a quantidade de P₂O₅ total/ha aplicados na parcela principal usando FPA e ST como fontes.

^{2/} 0 = sem reaplicação do fósforo; R = fósforo reaplicado.

cejas onde não houve reaplicação de fosfatos, mas não diferiram significativamente entre si, exceção à testemunha. Na testemunha onde reaplicou-se o fósforo, a quantidade de fósforo absorvido foi significativamente maior daquela que não recebeu fertilização, confirmando a baixa disponibilidade de fósforo do solo estudado. Porém, qualquer dos fosfatos testados, ST ou FPA, forneceram quantidades de fósforo suficientes para a necessidade da planta no período do experimento. Duas são as possíveis causas para tal comportamento, (a) as quantidades de fósforo solúvel contida no FPA seriam suficiente para o milho, ou (b) as condições experimentais, que causaram altos coeficientes de variação, não foram adequadas para o tipo de avaliação pretendida. Desta mesma forma podem ser explicadas as diferenças não significativas para produção de massa seca, pois devido a data de plantio, associadas às deficiências hídricas e altas temperaturas ocorridas no período de cultivo, maximizam os efeitos do fotoperíodo e temperatura (BURTON, 1) e reduziram os efeitos dos tratamentos com os fertilizantes (SMITH & CLARK, 13).

A utilização da marcha de absorção de fósforo pelo milho, como tentativa de estimar a solubilização do fosfato parcialmente acidulado,

comparado ao superfosfato triplo, assumido como curva padrão, parece viável sob condições de baixa disponibilidade inicial no solo. (Figura 1A), pois quando houve adição anterior de fosfatos, a marcha de absorção mostra a mesma tendência, com curvas de coeficientes angulares semelhantes (Figura 1B e 1C), embora as taxas mais altas de fósforo absorvido aconteceram nos tratamentos com superfosfato.

A avaliação da disponibilidade do fósforo por extratores, correlacionando o fósforo absorvido pelo milheto e o extraído com resina de troca aniônica saturada com bicarbonato e pelo extrator Carolina do Norte, apresenta coeficientes de correlação mais altos para a resina de troca (Tabela 4).

Resultados similares foram obtidos por PALMA & FASSBENDER (7) e KAMINSKI (3), onde foi alegado que os ácidos fortes usados no extrator Carolina do Norte solubilizam fosfatos de cálcio básicos, como dos fosfatos naturais remanescentes da acidulação parcial, superestimando o fósforo disponível, além de prejudicar a repetibilidade.

TABELA 4. Correlação do fósforo absorvido pelo milheto com o extraído pelos métodos Carolina do Norte e Resina de Troca Aniônica Base Forte no solo São Pedro.

	Métodos utilizados	
	Carolina do Norte	Resina de Troca Aniônica
	--- Coeficientes de correlação ---	
1ª cultura (milheto 83/84)	0,6183	0,7343
2ª cultura (milheto 84/85)	0,5544	0,6978

LITERATURA CITADA

- BURTON, G.W. *Photoperiodism in pearl millet, Pennisetum typhoides*. *Crop Sci.*, 5:333-5, 1965.
- GALRÃO, E.Z. *Avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande, do Sul, Faculdade de Agronomia, 1976. 67p. Tese (Mestr. Agron.-Solos).
- KAMINSKI, J. *Efeito de cinco fosfatos, Pré-, Co- e Pós-aplicados ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo, (Sorghum bicolor(L) Moench - CV. Contribrasil), em três solos ácidos*. Piracicaba.

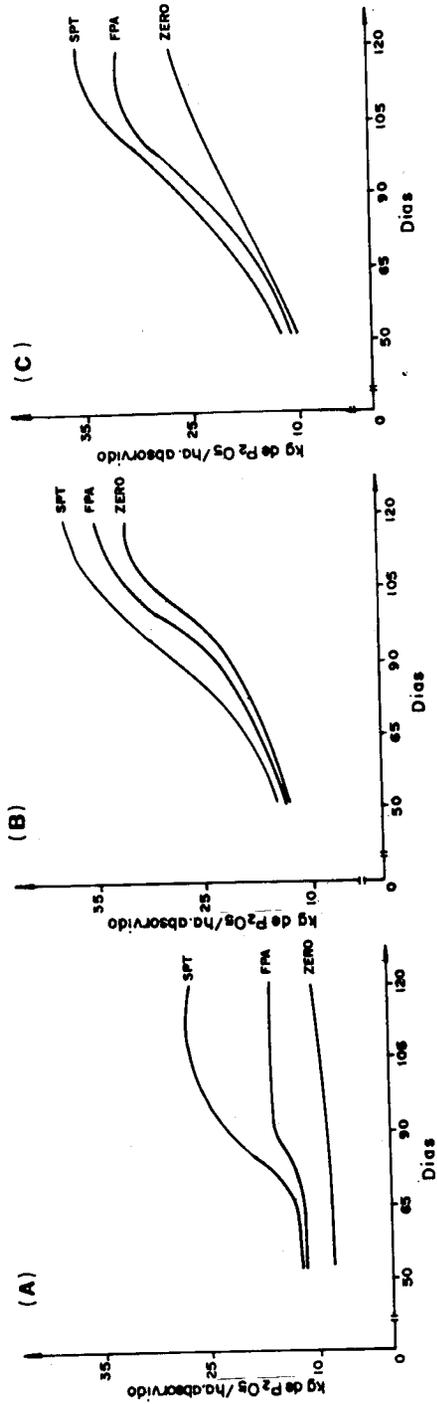


FIGURA 1. Marcha de absorção de fósforo pelo milho com reaplicação de ST e FPA, a partir de tratamento inicial. (A) testemunha; (B) 450kg P₂O₅/ha FPA; (C) 150kg P₂O₅/ha ST.

- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 1983. 126p. (Tese de Doutorado).
4. KHASAWNEH, F.E. & DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Advances in Agronomy*, New York, 30:159-206, 1978.
 5. MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A. & BOHNEN, H. *Recomendações de adubo e calcário para os solos e culturas do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1969. 38p. (Boletim Técnico, 2).
 6. MIRANDA, L.N. *Relações entre a resposta da soja à adubação fosfatada e alguns parâmetros de solo*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia, 1976. 68p. (Tese Mestr. Agr. Solos).
 7. PALMA, G. & FASSBENDER, H.W. Estado del fósforo en suelo de América Central. V. Uso de resinas de intercambio para avaliar la disponibilidad de fósforo. *Turrialba*, 20:279-87, 1970.
 8. RAIJ, B. Van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. *R.Bras.Ci.Solo*. 2:1-9, 1978.
 9. RAIJ, B. Van. & DIEST, A. Van. Phosphate supplying power of rock Phosphate in an Oxisol. *Pl.Soil*, 55:97-104, 1980.
 10. RODRIGUES, A.N.A.; VOLKWEISS, S.J. & ANGHINONI, I. Efeitos imediatos e residuais do superfosfato simples sobre o rendimento de matéria seca e absorção de fósforo por aveia forrageira em solo podzólico vermelho-escuro. *R.Bras.Ci.Solo*. 9:219-24, 1985.
 11. ROLAS. Manual de adubação e calagem para cultivos agrícolas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. *Trigo e Soja*. Porto Alegre, (56):3-34, 1981.
 12. SAUCHELLI, V. *Química y Tecnología de los fertilizantes*. 1ª ed. México, 1966. 828p.
 13. SMITH, D. & CLARK, N.A. Effect of soil nutrients and pH on nitrate nitrogen and growth of pearl millet and sudongrass. *Agron. J.*, 60(1):38-40, 1968.
 14. TEDESCO, M.J. *Extração Simultânea de N, P, K, Ca, Mg em tecido de plantas por digestão por H₂O - H₂SO₄*. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1982. 23p. (Informativo interno nº 01-82).
 15. VOLKWEISS, S.J. & RAIJ, B. Van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4º, Brasília, 21-25/junho/1976. *Simpósio...* Belo Horizonte, Itatiaia, 1977. p.317 -32.