

COMPORTAMENTO DE EXTRATORES EM SOLO TRATADO COM FONTES DIVERSAS DE FÓSFORO¹

R. STEFANUTTI; T. MURAOKA; E. MALAVOLTA

Centro de Energia Nuclear na Agricultura - USP - C.P. 96 - CEP: 13400-970 - Piracicaba, SP

RESUMO: Em condições de casa-de-vegetação foram feitos sete cultivos sucessivos para avaliar o efeito direto e residual do superfosfato simples granulado e do termofosfato magnésiano (Yoorin) fornecidos em quatro doses (0, 50, 100 e 200 ppm). O fósforo disponível foi determinado depois do terceiro, quarto e último cultivos usando-se os extratores de Mehlich 1, Bray 1, resina e a técnica de diluição isotópica (valor E). De um modo geral, os coeficientes de correlação mais altos entre P disponível e matéria seca ou fósforo total absorvido, foram encontrados com os dados obtidos com resina e Mehlich 1, seguindo-se os obtidos com Bray 1 e, em último lugar, os com o valor E.

Descritores: adubos fosfatados, extratores, fósforo disponível

PERFORMANCE OF EXTRACTING PROCEDURES IN SOIL TREATED WITH SEVERAL SOURCES OF PHOSPHORUS

ABSTRACT: In order to evaluate the direct and residual effects of ordinary granulated superphosphate as compared to magnesium thermophosphate (Yoorin), supplied at four rates (0, 50, 100 and 200 ppm), seven successive croppings were carried out in the glasshouse. Available phosphorus was assessed after the third, fourth and seventh harvest by using Mehlich 1, Bray 1, anion exchange resin and isotopic dilution (E value). The highest correlation coefficients between available P and either total dry matter or total P content was found to occur with data provided by Mehlich 1 and resin. Phosphorus extracted by Bray 1 as well as that estimated by the E value showed lower "r" coefficients.

Key Words: phosphate fertilizers; extracting agents; available phosphorus

INTRODUÇÃO

É relativamente grande o número de métodos de extração do fósforo, os quais tem em comum, o objetivo de simular no laboratório o que a raiz faz no campo. Esses métodos fazem uso de soluções diluídas de ácidos minerais, salinas e de resina trocadora de íons ou do princípio da diluição isotópica (RAIJ, 1978, ANGHINONI & VOLKWEISS, 1984). O extrator de Mehlich número 1, ainda o mais usado no Brasil, é recomendado para solos ácidos, de baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e com predominância de caulinita e sesquióxidos na fração argila (KAMPRATH & WATSON, 1980). O extrator de Bray-1 contém ácido clorídrico diluído e fluoreto de amônio que complexa o cálcio, o alumínio e o ferro liberando o P (SMITH et al., 1957). Através da diluição isotópica entre o fosfato ³¹P do solo e o fosfato ³²P adicionado pode-se estimar o teor do primeiro que corresponde ao existente na solução e mais a

forma "lábil" (McAULIFFE et al., 1948). A resina deve extrair as mesmas formas (RAIJ et al., 1986).

As plantas adubadas absorvem além do fósforo nativo, produtos da transformação do P do fertilizante no solo. Tais produtos dependem dos constituintes do adubo e das características químicas do solo - pH, teores de cálcio, ferro, alumínio, principalmente. Segue-se daí que, por sua natureza, a eficiência do extrator, ou o seu poder de discriminação, poderá depender, num mesmo solo, da fonte de P empregada. É esta a hipótese do presente trabalho que compara extratores do P do solo resultante da aplicação de dois adubos fosfatados, o superfosfato simples (SPS) e o termofosfato magnésiano (TF), este em diferentes granulometrias.

MATERIAL & MÉTODOS

No ensaio foram usados vasos de polietileno contendo 2 kg de terra, um Latossolo

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor apresentada ao CENA/USP, Piracicaba, SP.

Vermelho Amarelo, fase cerrado, amostra colhida em Goiânia, GO, profundidade de 0 - 20 cm, com as seguintes características: pH (H₂O) - 4,6; C % - 1,1; P (Mehlich 1) - 1 ppm; K - 0,08 meq/100 cm³; Ca - 0,4 meq/100 cm³; Mg - 0,3 meq/100 cm³; H + Al - 3,4 meq/100 cm³; S-SO₄ - 10 ppm; V - 22%; areia 72%; limo 7% e argila 21%.

O solo foi corrigido com calcário dolomítico em dose calculada para elevar V% a 60. Em todos os cultivos as plantas receberam 150 ppm N e 150 ppm de K em três aplicações iguais, a primeira no plantio e as demais em cobertura, exceto no primeiro cultivo com feijão mungo em que se usou apenas a dose inicial.

Empregou-se o termofosfato magnésiano (Yoorin) em três granulometrias: pó (100% passando por peneira de malha de 0,84 mm), grosso (75% passando por peneira de malha de 0,15 mm), e granulado (entre 1 e 3 mm de diâmetro). O superfosfato simples, SPS, foi fornecido apenas na forma granulada (entre 1 e 3 mm de diâmetro). As doses aplicadas foram 50, 100 e 200 ppm, com base no teor total de fósforo dos produtos (8,2% de P para as duas fontes).

Foram feitos 7 (sete) cultivos sucessivos: feijão mungo, milho, milho, trigo, milho, milho e trigo. Os períodos de cultivo foram os seguintes, em dias, respectivamente: 15, 56, 56, 150, 56, 56, e 150. As plantas (3 por vaso) foram colhidas quando eram visíveis as diferenças entre tratamentos.

Determinou-se a matéria seca produzida e o conteúdo do P nas plantas após cada cultivo (MALAVOLTA et al., 1989).

Amostras de solo foram coletadas dos vasos depois do terceiro, quarto e sétimo cultivos e nelas determinou-se o P disponível mediante o cálculo do valor E (VOSE, 1980), extração por Mehlich 1 e Bray-1 (OLSEN & DEAN, 1976) e resina (RAIJ & QUAGGIO, 1983).

RESULTADOS & DISCUSSÃO

A TABELA 1 mostra os dados de produção de matéria seca nos vários cultivos. A resposta ao P é evidente e bem assim a diferença entre fontes e doses, o que será discutido em outra publicação. A TABELA 2, que dá o conteúdo de fósforo nas plantas, está de acordo com a TABELA 1: a produção de matéria seca guarda proporcionalidade com o P absorvido.

A variação nos teores de P disponível avaliados pelos quatro métodos está resumida na TABELA 3. Considerando-se as médias dos teores encontrados em cada extrator e em cada cultivo, independentemente da fonte e da dose, obtém-se os seguintes valores em ppm, respectivamente para o 3º, 4º e 7º; Bray: 27, 27 e 27; Mehlich-1: 19, 19 e 28; resina: 30, 26 e 12; valor E: 87, 83 e 27. Somente a resina e o valor E, portanto, mostraram um comportamento de acordo com o esperado, isto é, diminuição no teor com o cultivo devido ao consumo do P do adubo.

Note-se ainda que os valores fornecidos pelo valor E, que supostamente mede apenas o H₂PO₄⁻ trocável, excedem os demais. Com o aumento no tempo de incubação de fontes de P₂O₅ com o solo em geral nota-se uma diminuição rápida no P disponível no início e depois uma tendência assintótica (BARROW, 1974; NOVAIS et al., 1990). No presente experimento, devido ao efeito combinado dos cultivos e das reações de fixação, dever-se-ia esperar redução ainda maior o que, entretanto, foi evidenciado somente no caso de dois extratores, a resina e o valor E. Pode-se pensar que tenham se formado no solo fosfatos de Al e Fe que os dois extratores ácidos não conseguiram solubilizar devido ao seu pH baixo.

A TABELA 4 mostra a correlação existente entre os teores de P disponível ou extraível, como preferem THOMAS & PEASLEE (1973), segundo pares de extratores. Pode-se ver que somente quando o valor E é uma das variáveis aparecem coeficientes de correlação não significativos, particularmente quando se usaram dados obtidos depois do 4º cultivo. As correlações encontradas devem refletir a semelhança entre as formas de P extraídas. A alta correlação dos dados obtidos pela técnica da diluição isotópica e a extração pela resina relatada por ROCHE (1983) não foi encontrada no presente trabalho.

Os teores obtidos com os diferentes extratores se correlacionaram com a produção de matéria seca e com as quantidades de P absorvido conforme se vê na TABELA 5. Entre matéria seca e P absorvido foi encontrada correlação positiva e significativa a 0,01, com os coeficientes (r) iguais a 0,87, 0,99 e 0,93, respectivamente para o 3º, 4º e 7º cultivos. As equações de regressão correspondentes foram: $y = -3,79 + 2,39 x$, $y = -0,10 + 1,00 x$ e $y = 0,056 + 1,09 x$. Segue-se daí que é válido comparar-se os extratores usando os dados de matéria seca ou os do conteúdo de P das plantas.

TABELA 1 - Produção de matéria seca em 7 cultivos, com aplicação de fontes e doses de fósforo em um Latossolo.

Fonte	Dose de	Cultivo ⁽¹⁾						
	P	1	2	3	4	5	6	7
	ppm	g/vaso ⁽²⁾						
Yoorin	0	1,2	6,60	2,89	0,24	8,49	8,93	0,52
pó	50	1,1	15,21	11,41	2,63	22,45	15,77	0,64
	100	1,5	22,72	22,76	2,77	27,64	27,60	0,76
	200	1,4	25,57	29,14	3,83	35,99	35,56	1,34
Yoorin	50	1,3	13,38	15,20	2,58	17,82	14,17	0,68
grosso	100	1,2	19,20	19,33	4,35	27,33	23,54	0,66
	200	1,4	2,51	26,64	3,98	37,70	34,43	3,02
Yoorin	50	1,1	6,02	5,03	1,57	14,10	18,55	0,86
granu- lado	100	1,1	10,86	9,95	1,84	29,17	30,89	1,30
	200	1,2	16,90	23,91	3,36	32,50	36,46	3,07
SPS	50	1,5	22,09	17,35	1,89	26,76	21,78	0,77
	100	1,4	28,39	22,89	3,15	21,45	16,60	0,80
	200	1,4	35,06	37,55	3,56	38,15	14,75	1,09

¹⁾Cultivos sucessivos de 1 a 7 = feijão mungo, milho, milho, trigo, milho, milho e trigo.

²⁾Média de três repetições.

O exame dos valores dos coeficientes de correlação mostra que os valores mais altos aparecem quando se usou resina ou Mehlich 1 como extrator, vindo depois Bray 1 e finalmente o valor E. RAIJ (1978) fez um levantamento exaustivo da relação existente entre teor de P no solo de acordo com diferentes métodos de extração e a resposta à adubação fosfatada. Os coeficientes de determinação mais altos (R^2), para citar apenas os métodos usados no presente trabalho foram encontrados, em ordem decrescente, com a resina, Mehlich 1, Bray 1 e o valor E.

Os dados reunidos por KAMPRATH & WATSON (1980) revelaram coeficientes de correlação praticamente iguais quando se comparou a extração por Mehlich e Bray 1 com o conteúdo de P da planta.

ROCHE (1983), trabalhando com solos franceses mostrou que a resina dava valores de r maiores que Bray-1 (Mehlich e valor E não entraram na comparação) quando o conjunto de solos era considerado.

Entretanto, ao separar os solos segundo o seu tipo, os valores obtidos com a resina podiam

TABELA 2. Fósforo em 7 cultivos, com aplicação de fontes e doses de fósforo em um Latossolo.

Fonte	Dose de	Cultivo ⁽¹⁾						
	P	1	2	3	4	5	6	7
	ppm g/vaso ⁽²⁾						
Yoorin	0	2,5	5,0	2,9	1,6	8,4	9,9	0,5
pó	50	3,2	15,2	12,5	12,5	22,4	15,5	0,6
	100	5,0	31,8	27,2	11,3	27,6	29,6	0,7
	200	7,6	53,7	52,4	23,9	36,0	41,0	1,8
Yoorin	50	2,9	14,7	22,8	7,8	17,8	15,2	0,7
grosso	100	3,2	17,3	25,1	17,8	27,3	26,9	0,6
	200	3,9	27,9	37,3	13,2	37,7	45,9	2,8
Yoorin	50	2,6	3,6	4,5	3,7	14,0	21,8	0,9
granulado	100	2,6	9,8	9,9	8,5	29,2	35,7	1,6
	200	3,3	15,2	31,1	15,2	32,5	40,9	2,6
SPS	50	5,3	30,9	20,8	6,5	26,7	22,4	0,8
	100	5,7	53,9	25,1	7,3	21,4	14,0	1,0
	200	9,1	87,6	83,0	20,2	38,2	19,3	1,7

¹⁾Cultivos sucessivos de 1 a 7 = feijão mungo, milho, milho, trigo, milho, milho e trigo.

²⁾Média de três repetições.

ser inferiores aos conseguidos com Bray-1 o que, deve refletir as formas de P predominantes em cada um. Resultado semelhante foi relatado por GOEDERT (1981); o extrator de Mehlich 1, por sua alta acidez, solubiliza P ligado a Ca e por isso superestima o fósforo disponível em solo tratado com apatita; nessas condições Bray 1 se comportou melhor.

CONCLUSÕES

A aplicação de superfosfato simples e de termofosfato magnésiano em vasos com amostra de um Latossolo Vermelho Amarelo fase cerrado pro-

vocou elevação no teor de P disponível ou extraível (avaliado com diferentes extratores) que, por sua vez, causaram variações na matéria seca e no conteúdo do elemento nas plantas cultivadas em sucessão. A análise dos dados obtidos permitiu tirar outras conclusões a saber:

(1) a produção de matéria seca ou conteúdo de P mostraram-se variáveis igualmente adequadas para a avaliação da disponibilidade do elemento;

(2) o comportamento dos extratores, resina, Mehlich 1, Bray 1 e o valor E não foi influenciado pelas fontes de P₂O₅ usadas;

TABELA 3 - Teores de fósforo em amostras de um Latossolo, determinados por vários métodos, depois de diferentes cultivos, com aplicação de doses e fontes de fósforo.

Fonte	Dose de P	3º cultivo				4º cultivo				7º cultivo			
		Bra	Meh	Res	E ⁽¹⁾	Bra	Meh	Res	E ⁽¹⁾	Bra	Meh	Res	E ⁽¹⁾
Yoorin	0	13	8	11	44	9	6	10	38	12	10	4	25
pó	50	18	12	21	43	13	8	11	35	14	12	5	26
	100	27	17	33	106	33	15	20	94	19	15	7	23
	200	56	39	73	113	43	32	51	90	37	29	16	28
Yoorin	50	18	14	24	104	16	12	15	94	17	15	7	28
grosso	100	24	22	36	108	21	20	22	96	20	20	8	20
	200	28	36	63	119	36	47	47	94	35	47	22	29
Yoorin	50	14	9	14	40	16	13	11	96	16	24	4	22
granulado	100	16	12	19	71	18	11	21	88	16	42	7	29
	200	20	15	24	97	24	29	26	87	27	57	24	26
SPS	50	23	14	22	97	24	14	19	93	18	14	8	23
	100	39	21	37	97	36	20	31	80	40	33	18	34
	200	63	38	24	100	63	39	58	94	78	60	36	38

⁽¹⁾ Bra - Bray-1; Meh - Mehlich-1; Res - Resina; E - valor "E"

Resina: conversão de mg/dm³ para ppm com base na densidade aparente

TABELA 4. Correlação entre os teores de P disponível avaliados por diferentes extratores.

Extratores	Equações de regressão	r	Significância
.....3º cultivo.....			
Mehlich x Resina	$y = - 4,49 + 1,94 x$	0,98	0,01
Bray x Resina	$y = 0,73 + 1,22 x$	0,90	0,01
Mehlich x Bray	$y = 3,30 + 0,60 x$	0,86	0,01
E x Mehlich	$y = 53,3 + 1,72 x$	0,67	0,05
E x Resina	$y = 57,9 + 0,86 x$	0,66	0,05
E x Bray	$y = 62,8 + 0,92 x$	0,51	n.s.
.....4º cultivo.....			
Mehlich x Resina	$y = 2,73 + 1,13 x$	0,90	0,01
Bray x Resina	$y = - 1,24 + 1,0 x$	0,92	0,01
Mehlich x Bray	$y = 2,08 + 0,67 x$	0,78	0,01
E x Mehlich	$y = 67,0 + 0,78 x$	0,46	n.s.
E x Resina	$y = 69,0 + 0,54 x$	0,40	n.s.
E x Bray	$y = 65,4 + 0,65 x$	0,44	n.s.
.....7º cultivo.....			
Mehlich x Resina	$y = - 1,27 + 0,48 x$	0,86	0,01
Bray x Resina	$y = 0,47 + 0,49 x$	0,91	0,01
Mehlich x Bray	$y = 5,88 + 0,72 x$	0,69	0,01
E x Mehlich	$y = -31,25 + 2,21 x$	0,64	0,05
E x Resina	$y = -26,2 + 1,43 x$	0,73	0,01
E x Bray	$y = -53,6 + 2,96 x$	0,81	0,01

TABELA 5 - Correlações entre P disponível depois do 3º, 4º e 7º cultivos com a produção de matéria seca e absorvido, respectivamente no 4º, 5º e 7º cultivos.

Extratores	Equações de regressão	r	Significância
.....3º cultivo.....			
Resina x m. seca	$y = 3,2 + 0,09 x$	0,81	0,01
Mehlich x m. seca	$y = 2,9 + 0,17 x$	0,80	0,01
E x m. seca	$y = 0,77 + 0,06 x$	0,75	0,01
Bray x m. seca	$y = 3,40 + 0,10 x$	0,72	0,05
Resina x P. abs.	$y = 3,15 + 0,24 x$	0,80	0,01
Mehlich x P. abs.	$y = 2,13 + 0,46 x$	0,78	0,01
E x P. abs.	$y = 0,49 + 0,13 x$	0,58	0,05
Bray x P. abs.	$y = 3,28 + 0,29 x$	0,72	0,01
.....4º cultivo.....			
Resina x m. seca	$y = 13,9 + 0,46 x$	0,81	0,01
Mehlich x m. seca	$y = 14,1 + 0,57 x$	0,81	0,01
E x m. seca	$y = 8,4 + 0,21 x$	0,48	n.s.
Bray x m. seca	$y = 13,4 + 0,46 x$	0,74	0,01
Resina x P. abs.	$y = 13,8 + 0,46 x$	0,81	0,01
Mehlich x P. abs.	$y = 14,0 + 0,58 x$	0,81	0,01
E x P. abs.	$y = 8,3 + 0,21 x$	0,81	0,01
Bray x P. abs.	$y = 13,4 + 0,46 x$	0,74	0,01
.....7º cultivo.....			
Resina x m. seca	$y = 0,54 + 0,05 x$	0,56	0,05
Mehlich x m. seca	$y = 0,13 + 0,03 x$	0,72	0,01
E x m. seca	$y = 0,44 + 0,02 x$	0,14	n.s.
Bray x m. seca	$y = 0,90 + 0,01 x$	0,20	n.s.
Resina x P. abs.	$y = 0,49 + 0,06 x$	0,64	0,05
Mehlich x P. abs.	$y = 0,06 + 0,04 x$	0,75	0,01
E x P. abs.	$y = - 0,51 + 0,06 x$	0,33	n.s.
Bray x P. abs.	$y = 0,75 + 0,02 x$	0,40	n.s.

(3) as correlações mais altas entre P disponível e matéria seca produzida ou fósforo absorvido foram verificadas com os dados obtidos quando se usou os extratores resina, Mehlich 1, vindo depois Bray 1 e, por último, o valor E.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGHINONI, I.; VOLKWEISS, S.J. Recomendações de uso de fertilizantes no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. Anais... Brasília: EMBRAPA/DEP, 1984. p. 179-204.
- BARROW, N.J. The slow reactions between soil anions. I. Effect of time, temperature and water content of a soil on the decrease in effectiveness of phosphate for plant growth. *Soil Science*, Baltimore, v.118, p.380-386. 1974.
- GOEDERT, W. Resposta agrônômica do cerrado ao uso do fosfato. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 2., 1981. Brasília, São Paulo: IBRAFOS. 1981. p.262-274.
- KAMPRATH, E.J.; WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J., ed. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, 1980, cap.16, p.433-470.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafós, 1989. 201p.
- MCAULIFFE, C.D.; HALL, N.S.; DEAN, L.A.; HENDRICKS, S.B. Exchange reaction between phosphate and soil minerals. *Soil Science Society of America Proceeding*, Baltimore v.12., p.119-123. 1948.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Aspectos físico-químicos envolvidos na fixação do fósforo no solo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 5., 1990, São Paulo. São Paulo: IBRAFOS. 1990. p.132-164.
- OLSEN, S.R.; DEAN, L.A. Phosphorus. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*, Part 2, Chemical and Microbiological properties. Madison: American Society of Agronomy, 1976. cap.3, p.1035-1049.
- RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.2, p.1-9, jan/abr. 1978.
- RAIJ, B. Van; QUAGGIO, J.A.; SILVA, N.M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.17, p.547-556. 1986.
- RAIJ, B. Van; QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).
- ROCHE, P. Les methodes d'appréciation du statut phosphorique des sols. Leur application à l'estimation des besoins en engrais phosphatés. In: CONGRES INTERNATIONAL SUR LES COMPOSÉS PHOSPHORÉS, 3., 1983. Bruxelas. Actes... Casablanca: Institut du Phosphate, 1984. p.165-194.
- SMITH, F.W.; ELLIS, B.G.; GRAVA, J. Use of acid-fluoride solutions for the extraction of available phosphorus in calcareous soils and in soils to which rock phosphate has been added. *Soil Science Society of American Proceedings*, Baltimore, v.21, p.400-404. 1957.
- THOMAS, G.W.; PEASLLE, D.E. Testing soil for phosphorus. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D., ed. *Soil Testing and Plant Analysis*. Madison: SSSA, 1973, p.115-32.
- VOSE, P.B. *Introduction to nuclear techniques in agronomy and plant biology*. Oxford: Pergamon Press, 1980. 391 p.

Enviado para publicação em 03.06.93

Aceito para publicação em 13.12.93