

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO PARA A CULTURA DO MILHO¹

GERSON ROBERTO MIOLA², MARINO JOSÉ TEDESCO³, CARLOS ALBERTO BISSANI⁴, CLESIO GIANELLO e FLÁVIO A. DE OLIVEIRA CAMARGO⁵

RESUMO - Conduziu-se um experimento, em 1994, em casa de vegetação com seis solos do Estado do Rio Grande do Sul, com o objetivo de avaliar a disponibilidade de fósforo no solo extraído pelos métodos duplo ácido (Mehlich-1), resinas em esferas (RE), em cápsulas (RC) e em membrana (RM) e papéis de filtro impregnados com óxido de ferro em solo umedecido a 75% da capacidade de campo (D1) e solo saturado (D2). Os solos foram previamente incubados com quatro doses de fósforo, e cultivados com milho durante 28 dias. Os coeficientes de determinação obtidos entre o fósforo absorvido pelas plantas de milho e o fósforo extraído foram: 0,85 para o Mehlich-1; 0,82 para o RE; 0,84 para o RC; 0,89 para o RM; 0,75 para o D1 e 0,70 para o D2. As quantidades de fósforo extraídas pelos métodos das resinas foram altamente correlacionadas entre si ($r=0,98$) e com as extraídas pelo método D1 ($r=0,89$). Os resultados permitiram concluir que os métodos testados foram igualmente eficientes na extração do fósforo do solo e para avaliar a disponibilidade deste elemento para a cultura do milho.

Termos para indexação: resina, membrana, papéis de filtro, métodos de análise do solo.

ASSESSMENT OF SOIL PHOSPHORUS AVAILABILITY TO CORN

ABSTRACT - In order to evaluate soil phosphorus availability to plants, the extraction methods: Mehlich-1, exchange resins in beads (RE), encapsulated (RC) and as membrane (RM) and iron oxide impregnated filter papers with 75% field capacity (D1) and waterlogged conditions (D2) were studied in Rio Grande do Sul State, Brazil, in 1994, in a greenhouse experiment with six soils fertilized with four phosphate rates and cultivated with corn (*Zea mays* L.) for 28 days. Determination coefficients between plant absorbed phosphorus and the amounts determined by the extraction methods were: 0.85 (Mehlich-1), 0.82 (RE), 0.84 (RC), 0.89 (RM), 0.75 (D1) and 0.70 (D2). Soil phosphorus contents extracted by the exchange resin methods were highly correlated ($r=0.98$), as well as with the amounts extracted by the D-1 method ($r = 0.89$). The results indicated that the studied methods are equally effective for predicting P availability to the corn plants.

Index terms: resin, membrane, filter paper, methods of soil analysis.

INTRODUÇÃO

A aplicação prática do conhecimento da dinâmica do P no solo nas recomendações de adubação fosfatada tem sido pouco utilizada. Deve-se isto,

em parte, ao fato de que o método Mehlich-1 (extrator duplo ácido: H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} + HCl 0,05 mol L^{-1}), proposto na década de 50 e atualmente utilizado em muitos laboratórios de diagnóstico de fertilidade do solo no Brasil, extrai uma fração solúvel em ácido fraco do elemento presente no solo (Rein, 1991). Pode-se acrescentar, ainda, a baixa capacidade de extração de P em solos argilosos e a ação dissolutiva do ácido sobre formas de P de baixa solubilidade, superestimando com isso os teores de P disponível (Anghinoni & Volkweiss, 1984; Raij et al., 1986; Corey, 1987; Raij, 1992).

Desde a década de 50, tem sido proposta a utilização de métodos não dissolutivos da fração sólida do solo para a extração do P. Neste sentido, o uso de

¹ Aceito para publicação em 15 de setembro de 1998.

² Eng. Agr., M.Sc., Dep. de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre, RS. E-mail: labsolos@datacontrol.com.br

³ Eng. Agr., Ph.D., Prof. Titular, Dep. de Solos, UFRGS.

⁴ Eng. Agr., M.Sc., Prof. Assistente, Dep. de Solos, UFRGS.

⁵ Eng. Agr., Ph.D., Prof. Adjunto, Dep. de Solos, UFRGS.

métodos baseados no princípio de troca iônica por resinas (Amer et al., 1955) e papéis de filtro impregnados com óxido de ferro (Zee et al., 1987), permite a adsorção do P presente na solução do solo, criando um gradiente de concentração entre a fase sólida e o meio líquido.

A remoção de P da solução do solo é feita de forma gradual e contínua pelas resinas trocadoras de íons (Schoenau & Huang, 1991; Braidá et al., 1996) e pelos papéis impregnados com óxido de ferro (Rein, 1991; Gjorup et al., 1993), diferentemente do que ocorre com os extratores ácidos. Entretanto, o uso destes métodos nos laboratórios de diagnóstico da fertilidade do solo tem sido restrito, em face das dificuldades operacionais dos procedimentos analíticos, até o desenvolvimento de equipamentos e técnicas adequadas à utilização das resinas, na década de 80 (Raij et al., 1987). A extração de P do solo por papéis de filtro impregnados com óxido de ferro foi estudada por vários pesquisadores (Zee et al., 1987; Menon et al., 1988, 1991; Rein, 1991; Gjorup et al., 1993). Sua utilização em laboratórios de diagnóstico de fertilidade do solo não foi ainda proposta.

Com o objetivo de avaliar a disponibilidade, para a cultura do milho, do P extraído do solo pelos métodos da resina de troca iônica (resina em esfera, em cápsula e em membrana), do papel de filtro impregnado com óxido de ferro (solo a 75% capacidade de campo e saturado) e do duplo ácido (Mehlich-1), foi conduzido o presente trabalho com seis solos do Estado do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se um ensaio na casa de vegetação do Departamento de Solos da UFRGS, utilizando seis solos com diferentes características físicas e químicas (Tabela 1) de um experimento inicialmente conduzido por Rein (1991), no período de 1989 a 1991. Cada solo foi incubado durante quatro meses com quatro doses (Tabela 2) de P na forma de superfosfato triplo em pó (passado em peneira de 0,297 mm) e misturado até a homogeneização visual. Nestes solos foi cultivado trigo (*Triticum aestivum* L.) durante 32 dias após a germinação, e ao término do experimento, os solos foram mantidos secos, nos vasos de plástico, por 24 meses. Em outubro de 1993, os solos foram retirados dos vasos e homogeneizados.

Retirou-se uma amostra de 0,4 L de cada solo, para determinação do teor de P. O restante do solo (5,5 L) foi

devolvido para o respectivo vaso. A planta-teste utilizada foi o híbrido de milho (*Zea mays* L.) Cargil 484-A, cultivado em casa de vegetação, no período de 18/11/93 a 15/12/93. Foram semeadas oito sementes de milho por vaso. Cinco dias após a emergência, foi realizado o desbaste, deixando-se quatro plantas por vaso, e foram aplicadas em solução: 5,0 mg L⁻¹ de S (MgSO₄.7H₂O), 0,1 mg L⁻¹ de Mo ((NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O), 2,0 mg L⁻¹ de Zn (ZnSO₄.7H₂O), 150,0 mg L⁻¹ de K (KCl) e 100,0 mg L⁻¹ de N (uréia).

A umidade dos solos foi controlada por pesagens periódicas, adicionando-se água destilada para manter a umidade do solo próxima a 75% da capacidade de campo. Após 28 dias da emergência, as plantas foram cortadas a 1 cm da superfície do solo, e secadas em estufa à temperatura de 65°C, por 72 horas. A matéria seca da parte aérea foi pesada e moída, e a determinação do P no tecido foi realizada no extrato de digestão úmida (Tedesco et al., 1995).

A disponibilidade do P para a cultura do milho foi avaliada pela correlação (regressão linear) entre os parâmetros de planta e os teores de P nos solos extraídos pelos métodos da resina em esferas, Mehlich-1, resina em cápsulas de náilon e em membrana, papéis de filtro impregnados com óxidos de ferro em solo com umidade a 75% da capacidade de campo (D1), e com solo saturado (D2).

A extração do P do solo por resina em esferas foi feita com o equipamento, procedimento e soluções descritos por Raij et al. (1987). A mesma quantidade de resinas recomendada por Raij et al. (1987) foi encapsulada em discos de náilon (*silk screen*) com 4,5 cm de diâmetro e saturada com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹. A suspensão de solo foi agitada com as cápsulas por 16 horas em agitador orbital a 25 rpm. Após a lavagem manual, as resinas foram eluídas com HCl 0,5 mol L⁻¹, determinando-se o P na solução com redutor de ácido aminonaftolsulfônico, preparado de acordo como metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Na extração do P por resinas em lâminas foram utilizadas as membranas catiônica (CRG1CZR42) e aniônica (AR103DQP434) comercializadas pela Ionics, Inc. (USA) com 7,5 cm² de área, saturadas com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹. A extração foi feita na suspensão aquosa do solo por 16 horas em agitador orbital a 25 rpm. Após a lavagem manual das resinas, foi realizada a eluição com HCl 0,5 mol L⁻¹, determinando-se o P na solução com redutor de ácido aminonaftolsulfônico. Detalhes da metodologia, preparo e recuperação das resinas são descritos por Tedesco et al. (1995).

Os papéis de filtro (SS 589³ - faixa azul) com 12,5 cm de diâmetro foram preparados por imersão em uma solu-

TABELA 1. Características físicas e químicas dos solos utilizados no experimento (Rein, 1991).

Unidade de mapeamento	Classificação	Granulometria			Cátions trocáveis			pH H ₂ O	Índice SMP
		Areia	Silte	Argila	K	Ca	Mg		
		----- (g kg ⁻¹)-----			---- (mmol _c kg ⁻¹) ----				
Alto do Canas	PE	430	350	220	1,8	49	20	5,4	5,9
Bagé	PLV	200	510	290	3,2	142	45	5,5	6,0
Camaquã	PV ₁	690	170	140	2,3	34	11	5,5	6,4
Itapoã	PV ₂	880	40	80	1,6	14	5	5,5	6,2
Passo Fundo	LE	250	180	570	2,7	84	32	5,7	6,1
Vacaria	LB	100	340	560	2,9	91	39	5,6	5,9

TABELA 2. Rendimento de matéria seca e fósforo no tecido de milho, fósforo aplicado e teores de fósforo nos solos no início do experimento em vasos obtidos a partir de seis métodos de extração.

Solo	P aplicado (mg L ⁻¹)	Matéria seca (g vaso ⁻¹)	Fósforo no tecido (g kg ⁻¹)	Fósforo extraído pelos métodos					
				Mehlich-1	Resina em esferas	Resina em cápsulas	Resina em membrana	D1 ¹	D2 ¹
				----- (mg L ⁻¹)-----					
PE	0,0	2,15	0,9	5,0	11,0	8,0	5,0	0,005	0,15
	43,5	2,67	1,0	9,0	15,0	11,0	9,0	0,011	0,25
	97,3	3,52	1,1	16,0	20,0	18,0	16,0	0,036	0,48
	218,9	7,56	1,9	46,0	49,0	43,0	39,0	0,079	2,05
PLV	0,0	2,22	0,9	7,0	11,0	13,0	8,0	0,002	0,21
	36,4	2,43	1,0	10,0	19,0	16,0	15,0	0,014	0,36
	81,3	5,12	1,4	17,0	30,0	37,0	24,0	0,023	0,60
	183,0	6,86	2,0	36,0	61,0	55,0	50,0	0,161	2,14
PV ₁	0,0	1,37	0,8	5,0	3,0	4,0	3,0	0,009	0,13
	31,2	1,42	0,9	10,0	8,0	7,0	7,0	0,007	0,21
	72,4	2,77	1,4	20,0	15,0	13,0	14,0	0,036	0,50
	161,9	5,13	2,7	49,0	37,0	35,0	35,0	0,075	2,36
PV ₂	0,0	1,20	0,8	4,0	3,0	4,0	3,0	0,005	0,11
	23,7	1,67	1,0	13,0	5,0	7,0	7,0	0,014	0,37
	53,7	3,16	1,4	28,0	14,0	13,0	14,0	0,020	0,82
	120,1	3,87	2,7	51,0	37,0	35,0	35,0	0,145	3,41
LE	0,0	2,02	0,9	4,0	5,0	6,0	4,0	0,005	0,11
	75,2	2,87	1,1	7,0	15,0	13,0	10,0	0,011	0,17
	169,3	4,03	1,3	12,0	28,0	23,0	20,0	0,032	0,29
	380,2	5,64	2,1	41,0	71,0	66,0	54,0	0,152	0,66
LB	0,0	1,46	0,9	4,0	5,0	6,0	4,0	0,005	0,07
	73,7	1,90	1,0	6,0	10,0	8,0	5,0	0,016	0,08
	165,9	2,20	1,0	7,0	18,0	15,0	10,0	0,023	0,12
	372,5	3,96	1,3	14,0	36,0	25,0	25,0	0,048	0,23

¹ D1 e D2: Papéis de filtro impregnados com óxidos de ferro em solo com umidade de 75% da capacidade de campo e com solo saturado, respectivamente.

ção contendo 40 g L⁻¹ de FeCl₃.6H₂O e 20 mL L⁻¹ de HCl concentrado. Após a drenagem do excesso de solução, os papéis foram secados a 45°C por cinco a seis horas, em estufa, sendo, a seguir, suspensos, por 24 horas em dessecador contendo uma solução concentrada de NH₄OH. Foram a seguir secados a 45°C por 30 minutos, mantidos por algumas horas prensados para nivelar a superfície e cortados em discos de 45 mm de diâmetro.

A quantidade de P transportado por fluxo difusivo até a superfície dos papéis foi determinada utilizando-se os teores de umidade de 75% da capacidade de campo. A extração foi feita em frascos de boca larga (com 45 mm de diâmetro), e o disco de papel foi colocado entre duas porções de 10 mL de solo. A água foi adicionada vagarosamente pelas paredes do frasco, para reduzir o transporte do P por fluxo de massa até a superfície dos papéis. Após 24 horas, os papéis eram retirados e lavados em água destilada, determinando-se o P extraído.

Após a extração, os papéis foram secados a 45°C por 30 minutos, cortados em quatro partes, colocados em copos descartáveis de PVC (40 mL), adicionando-se, a seguir, 4 mL de solução de H₂SO₄ 2 mol L⁻¹. Após seis horas, os extratos foram diluídos a 20 mL, determinando-se o P em solução por colorimetria (Murphy & Riley, 1962).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento das plantas aumentou de forma aproximadamente linear com a adição de P, em todos os solos. Os teores de P no tecido também aumentaram com a adição do adubo fosfatado (Tabela 2). A tendência de linearidade do aumento do rendimento de matéria seca da parte aérea das plantas e da concentração de P no tecido indicam que outros fatores do solo pouco interferiram na resposta das plantas à adubação fosfatada.

Os coeficientes de determinação obtidos entre o P absorvido pelas plantas de milho e o P extraído pelos métodos testados foram altamente significativos (Tabela 3). O extrator Mehlich-1 e resina em membrana apresentaram os maiores valores de r² para a média dos quatro parâmetros avaliados (0,82 e 0,81, respectivamente). Foi observado que a dispersão de valores foi maior em conteúdos de P superiores a 30 mg L⁻¹, principalmente no extrator Mehlich-1 (Tabela 2), sendo este fato também verificado no método da resina em esferas.

O valor de r² obtido com o método da resina em membrana é satisfatório, considerando-se a amplitude da disponibilidade de P e a variação nas características físicas e químicas dos solos utilizados. Resultados semelhantes foram obtidos por Schoenau & Huang (1991) e Qian et al. (1992), em estudos de correlação entre as quantidades de P extraídas de diferentes solos com resina em membrana e o rendimento das plantas.

Os coeficientes de determinação obtidos nas correlações entre os parâmetros de plantas e o P extraído por papéis de filtro (Tabela 3) foram baixos em relação aos obtidos por Rein (1991). As quantidades de P extraído na condição de solo saturado (D2) foram, em média, 20 vezes superiores às obtidas na extração com umidade próxima à capacidade de campo (D1). A maior quantidade de P extraído na condição de solo saturado confirma a elevada capacidade de adsorção de P pelos papéis de filtro impregnados com óxido de ferro relatada por Zee et al. (1987) e Rein (1991). Além disso, a contribuição do fluxo de massa provocada pela retirada do excesso de água por sucção foi eliminada. A contribuição pelo fluxo de massa pode representar grande parte do P total adsorvido às superfícies dos papéis de filtro, principalmente quando os teores deste elemento na solução do solo forem elevados (Rein, 1991).

Estudos realizados por Miola (1995) indicam que o fluxo difusivo do P em meio saturado controla a sua adsorção nos papéis de filtro. Entretanto, o alagamento do solo não reproduz a condição em que se processa a difusão do P em direção às raízes das plantas cultivadas em solos bem drenados. A saturação do solo nivela fatores do solo como a capacidade de retenção de água, textura e fator transmitância que variam conforme as características físicas e químicas dos solos, influenciando o fluxo difusivo do P (Vaidyanathan & Nye, 1970; Warncke & Barber, 1972; Barber, 1995; Braida et al., 1996).

As quantidades de P extraído dos solos pelos métodos das resinas em membrana e em cápsulas, D1 e D2 foram altamente correlacionadas com as quantidades de P extraído pelos métodos da resina em esferas e Mehlich-1 (Tabela 4). A alta correlação (r = 0,98) obtida entre os teores de P extraído

pelos métodos da resina em cápsula e resina em membrana indica que qualquer um destes dois métodos pode ser utilizado na extração de P de solos com diferentes disponibilidades do elemento e teores de argila. Entretanto, a resina em membrana pode ser mais facilmente separada da solução do solo.

A resina em membrana extraiu quantidades pouco inferiores às extraídas pela resina em esferas (Tabela 2). O coeficiente de declividade da reta (b) próximo a um e o coeficiente de correlação (r) igual a 0,98 indicam que as resinas em membrana podem ser utilizadas com vantagens operacionais na avaliação da disponibilidade de P do solo em relação às resinas em esferas. Estas vantagens são a facilidade de separação das membranas da suspensão do solo e a simplicidade dos procedimentos de extração e quantificação do P. Outros autores (Saggar et al.,

1990; Schoenau & Huang, 1991; Qian et al., 1992; Nuernberg, 1994) também destacaram estes aspectos na extração de P de diferentes solos por resinas em membrana.

Na média dos parâmetros de planta estudados, o coeficiente de correlação obtido com o método D2 foi pouco inferior ao obtido com o método D1 (Tabela 3), embora a precisão dos resultados tenha sido maior na extração de P em fluxo saturado. As altas correlações obtidas entre o método D1 e os métodos das resinas (0,89 e 0,93) indicam que os métodos não dissolutivos da fração sólida e que simulam a difusão do P, representariam melhor o teor deste elemento no solo disponível às plantas.

De modo geral, os extratores ácidos têm sido comumente utilizados em laboratórios de análise de solos, pelas facilidades operacionais que apresen-

TABELA 3. Coeficientes de determinação (r²) obtidos através da regressão linear entre os teores de fósforo extraído por diferentes métodos e parâmetros de plantas de milho.

Método	Parâmetro de planta				Média
	P absorvido	P no tecido	Rendimento de MS	Rendimento relativo	
Mehlich-1	0,85**	0,92**	0,62**	0,87**	0,82
Res. cápsulas	0,84**	0,64**	0,87**	0,73**	0,77
Res. esferas	0,82**	0,61**	0,70**	0,71**	0,71
Res. membrana	0,89**	0,73**	0,82**	0,81**	0,81
D1 ¹	0,75**	0,73**	0,58**	0,66**	0,68
D2 ¹	0,70**	0,83**	0,44**	0,67**	0,66

¹ D1 e D2: Papéis de filtro impregnados com óxidos de ferro em solo com umidade de 75% da capacidade de campo e com solo saturado, respectivamente.
** p<0,01

TABELA 4. Coeficientes de correlação (r) entre as quantidades de P do solo extraído por diferentes métodos de extração.

Método	Mehlich-1	Resina em esferas	Resina em cápsula	Resina em membrana	D1 ¹
Resina em esferas	0,79**				
Resina em cápsula	0,81**	0,98**			
Resina em membrana	0,87**	0,98**	0,98**		
D1 ¹	0,84**	0,90**	0,89**	0,93**	
D2 ¹	0,71**	0,62**	0,64**	0,72**	0,79**

¹ D1 e D2: Papéis de filtro impregnados com óxidos de ferro em solo com umidade de 75% da capacidade de campo e com solo saturado, respectivamente.
** p<0,01

tam. Entretanto, o uso de métodos dissolutivos da fração sólida do solo, em determinados casos, pode conduzir a estimativas inadequadas da avaliação do P disponível às plantas (Anghinoni & Volkweiss, 1984; Raij et al., 1986; Corey, 1987); tal situação é observada em solos argilosos (Braidá et al., 1996) ou adubados com fosfatos naturais. No presente estudo, as resinas extraíram maiores quantidades de P em solos argilosos (LE, LB e PLV), enquanto a solução Mehlich-1 extraiu maiores quantidades nos solos arenosos (PV₁ e PV₂), sendo semelhantes as quantidades extraídas no solo de textura média (PE) (Tabela 2).

A utilização do método de extração de P por resina em esferas já é praticada no Brasil por muitos laboratórios, utilizando equipamento especial (Raij et al., 1987). Sibbesen (1977) propôs a utilização de resinas acondicionadas em cápsulas de náilon para facilitar a separação destas da suspensão do solo. Este procedimento, embora prático e bem correlacionado com o método da resina em esferas (Tabela 4), tem a desvantagem de que, quando utilizado em amostras de solos de áreas de pastagens, as resinas ficam impregnadas com partículas de solo e raízes, que interferem nos resultados (Saggar et al., 1990; Nuernberg, 1994); o mesmo foi observado no presente trabalho.

Por outro lado, a utilização de resinas na forma de membranas facilita a sua separação da suspensão do solo, e não é necessária a trituração das partículas até passar em peneira de 0,4 mm.

A utilização de papéis de filtro impregnados com óxido de ferro para a extração de P do solo é limitada pela dificuldade de preparação uniforme dos papéis, manuseio da extração e possibilidade de contaminação dos extratos, decorrente das pequenas quantidades extraídas.

CONCLUSÕES

1. As quantidades de P do solo extraídas por todos os métodos testados são altamente correlacionadas com as quantidades de P absorvidas pelas plantas e com o rendimento de matéria seca do milho.

2. Todos os métodos de extração de P do solo testados são altamente correlacionados entre si.

REFERÊNCIAS

- AMER, F.; BOULDIN, D.R.; BLACK, C.A.; DUKE, F.R. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and P³² equilibration. **Plant and Soil**, The Hague, v.6, p.391-408, 1955.
- ANGHINONI, I.; VOLKWEISS, S.J. Recomendações de uso de fertilizantes no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa-DEP, 1984. p.179-204.
- BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. 2.ed. New York: Wiley-Interscience, 1995. 414p.
- BRAIDA, J.A.; CAMARGO, F.A.O.; ROSSO, I.J.; GIANELLO, C.; MEURER, E.J. Comparação de métodos de determinação da disponibilidade de fósforo do solo para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.345-347, 1996.
- COREY, R.B. Soil test procedures: Correlation. In: BROWN, J.R. (Ed.). **Soil testing: sampling, correlation, calibration and interpretation**. Madison: ASA, 1987. p.15-22. (SSSA Special Publication, 21).
- GJORUP, G.B.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Avaliação do método do papel aniônico como extrator de fósforo disponível do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.417-422, 1993.
- MENON, R.G.; CHIEN, S.H.; GADALLA, A. el N. Comparison of Olsen and P_i soil test for evaluating phosphorus bioavailability in calcareous soil treated with single superphosphate and partially acidulated phosphate rock. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.29, p.153-158, 1991.
- MENON, R.G.; HAMMOND, L.L.; SISSINGH, H.A. Determination of plant-available phosphorus by the iron hydroxide-impregnated filter paper (P_i) soil test. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.52, p.110-115, 1988.
- MIOLA, G.R. **Extração de P, K, Ca e Mg do solo por diferentes métodos e avaliação da disponibilidade de P para as plantas**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 130p. Dissertação de Mestrado.
- MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single method for determination of phosphates in natural waters.

- Analytical Chemical Acta**, Amsterdam, v.27, p.31-36, 1962.
- NUERNBERG, N.J. **Movement of surface applied phosphorus fertilizer in a southeastern acid soil**. Athens: Univ. of Georgia, 1994. 140p. Tese de Doutorado.
- QIAN, P.; SCHOENAU, J.J.; HUANG, W.Z. Use of ion exchange membrane in routine soil testing. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.23, p.1791-1804, 1992.
- RAIJ, B. van. Algumas reflexões sobre análise de solo para recomendação de adubação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBCS, 1992. p.71-87.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fund. Cargill, 1987. 170p.
- 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, n.5, p.547-566, 1986.
- REIN, T.A. **Estimativa de fluxo difusivo de fósforo nos solos e avaliação de sua disponibilidade às plantas**. Porto Alegre: UFRGS, 1991. 131p. Dissertação de Mestrado.
- SAGGAR, S.; HEDLEY, M.J.; WHITE, R.E. A simplified resin membrane technique for extracting phosphorus from soils. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.24, p.173-180, 1990.
- SCHOENAU, J.J.; HUANG, W.Z. Anion-exchange membrane, water, and sodium bicarbonate extractions as soil tests for phosphorus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.22, p.465-492, 1991.
- SIBBESON, E. A simple ion-exchange resin procedure for extracting plant-available elements from soil. **Plant and Soil**, The Hague, v.46, p.665-669, 1977.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).
- VAIDYANATHAN, L.V.; NYE, P.H. The measurement and mechanism of ion diffusion in soils. VI. The effects of concentration and moisture content on the counter-diffusion of soil phosphate against chloride ion. **Journal of Soil Science**, London, v.21, p.15-27, 1970.
- WARNCKE, D.D.; BARBER, S.A. Diffusion of zinc in soil: II. The influence of soil bulk density and its interaction with soil moisture. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.36, p.42-46, 1972.
- ZEE, S.E.A.T.M. van der; FOKKING, L.G.T.; RIEMSDIJK, W.H. van. A new technique for assessing of reversibly adsorbed phosphate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.599-604, 1987.