

Extratores de fósforo para o arroz irrigado em solos adubados com fosfato natural reativo

Phosphorus extractors for irrigated rice on soils under reactive phosphate fertilization

Gustavo Kruger Gonçalves^{1*}, Leandro Bortolon², Egon José Meurer³, Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves⁴, Rogério Oliveira de Sousa⁵, Saul Mandrácio Fagundes⁶

Recebido em 19/04/2011; aprovado em 03/10/2012.

RESUMO

Os fosfatos naturais reativos têm sido utilizados como fonte alternativa de fósforo (P) à cultura de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul. O extrator Mehlich-1 é o método oficial de avaliação na disponibilidade de P em solos adubados com fonte solúveis, mas pode ser inadequado para solos adubados com fosfatos naturais, devido à possibilidade de dissolução excessiva das partículas de fosfatos naturais reativos por este extrator. Desenvolveu-se um experimento em casa de vegetação no Campus da PUC, RS, em Uruguaiana, no período de novembro a dezembro de 2009, com o objetivo de avaliar a disponibilidade de P em solos adubados com fosfato natural reativo, extraído pelo método da resina de troca aniônica (RTA), Mehlich-1 e Mehlich-3. Os solos foram previamente incubados com quatro doses de P (0; 9,82; 19,65 e 39,30 mg kg⁻¹ de P) e cultivados com arroz irrigado durante 40 dias. Foram determinados os teores de P disponível extraído pelos diferentes extratores após o período de incubação. Durante o alagamento, foram analisados as concentrações de Fe, P e Ca e o pH na solução do solo. Após 40 dias de alagamento, foi avaliada a produção de matéria seca e a concentração de P na parte aérea

das plantas. Os coeficientes de determinação (r²) obtidos entre P acumulado pelas plantas de arroz e o P extraído foram: 0,84 para a Resina de troca iônica (RTA); 0,58 para o Mehlich-1 e 0,61 para o Mehlich-3. Dentre os métodos testados, o método da RTA foi mais eficiente na extração de P do solo para avaliar a disponibilidade de P para a cultura de arroz irrigado em solos adubados com fosfatos naturais. A separação dos solos em grupos, segundo o material de origem e os teores de óxidos de ferro de baixa cristalinidade extraídos com oxalato a pH 6,0, resultou em melhor eficiência de todos os métodos testados para avaliar a disponibilidade de P para o arroz irrigado em solo adubado com fosfato natural reativo.

PALAVRAS-CHAVE: Mehlich-1, Mehlich-3, resina de troca aniônica, *Oryza sativa* L.

SUMMARY

The reactive rock phosphates have been used as an alternative phosphorus (P) source for the irrigated rice culture in Rio Grande do Sul State. The extractor Mehlich-1 is used as the standard method for the assessment of the P availability. It can present satisfactory results when the

¹ Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS. Avenida Eurico Batista, 41, 4º andar, Bairro: Centro, CEP 97670-000, São Borja, RS, Brasil. Email: gustavo-goncalves@uergs.edu.br. *Autor para correspondência.

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas. Av. JK 164, Quadra 103 Sul, CEP 77026-110, Palmas, TO, Brasil.

³ Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia - UFRGS.

⁴ Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Pelotas - UFPel. Rua Gomes Carneiro, 1, Bairro: Centro, CEP 96010-610, Pelotas, RS, Caixa Postal 354, CEP 96001-970, Pelotas, RS, Brasil.

⁵ Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – UFPel.

⁶ Laboratório de Análises de Solo. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUC-RS. BR 472 Km 7, Caixa Postal 20, CEP 97500-970, Uruguaiana, RS, Brasil.

fertilization of P in soil is carried out with a soluble source, but it can be inadequate for soils fertilized with rock phosphate, because of the possibility of dissolution of excessive reactive particles by this extractor. In order to evaluate the soil P availability in soils fertilized with rock phosphate, a greenhouse experiment on the campus of PUC, RS Uruguaiana in the period between September-October 2009 was carried out with four soils fertilized with four phosphate rates, where rice was cultivated for a 40 day period. The soil P availability was studied by the following extraction methods: anion exchange resin (AER), Mehlich-1 and Mehlich-3. The levels of available P extracted were assessed by different extractors after the incubation period. During the flooding, we analyzed the concentrations of Fe, Ca and P and the pH of the soil solution. After 40 days of flooding, the production of dry matter and P concentration were assessed in the plants' shoots. The determination coefficients between the P accumulated by the plants and the content determined by the extraction methods were: 0.84 (anion exchange resin); 0.58 (Mehlich-1) and 0.61 (Mehlich-3). The results indicated that the anion exchange resin was more effective for predicting P availability for the irrigated rice culture in soil fertilized with rock phosphates. The separation of soils into groups according to the source material and the content of iron oxides of low crystallinity extracted with oxalate at pH 6.0, resulted in improved efficiency of all tested methods to assess P availability for rice in soil fertilized with phosphate rock.

KEY WORDS: Mehlich-1, Mehlich-3, anion exchange resin, *Oryza sativa* L.

INTRODUÇÃO

Os laboratórios de análise de solo na maior parte do Brasil utilizam o extrator Mehlich-1 (H_2SO_4 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹) e a RTA para determinar a disponibilidade de P para a cultura de arroz irrigado em solos adubados com fontes fosfatadas solúveis.

O extrator Mehlich-1 (MEHLICH, 1953)

é considerado um extrator do tipo ácido forte diluído, pois tem como princípio de extração a solubilização, pelos íons de H⁺, de fosfatos de cálcio e pequenas porções de fosfatos de alumínio e de ferro (BAHIA FILHO et al., 1983). Dentre as principais vantagens deste método, estão sua facilidade de execução, baixo custo e a limpidez do extrato após a decantação, eliminando o processo de filtragem do extrato (SILVA e RAIJ, 1999). Por outro lado, as principais desvantagens deste método são as baixas capacidades de extração de P em solos argilosos, a dinâmica de formas menos lábeis de P que não são extraídas por este método e que podem contribuir para o suprimento das plantas a médio e longo prazo. Além disso, apresenta ação dissolutiva do ácido sobre partículas de fosfatos naturais reativos, superestimando os teores de P disponível (RAIJ, 1991).

Na década de 80, para eliminar os problemas e algumas desvantagens da solução de Mehlich-1, foi proposto o extrator Mehlich-3 (CH_3COOH 0,2 mol L⁻¹ + NH_4NO_3 0,25 mol L⁻¹ + NH_4F 0,015 mol L⁻¹ + HNO_3 0,013 mol L⁻¹ + EDTA 0,001 mol L⁻¹; pH= 2,5). Este método foi introduzido para uso em solos ácidos e solos que receberam fosfatos naturais. O princípio se baseia na dissolução ácida e na presença de agentes complexantes. A ação do fluoreto de amônio é exercida pela precipitação do cálcio solúvel e, ou alumínio pelo flúor, extraíndo assim, o fosfato ligado ao cálcio e ao alumínio (KAMPRATH e WATSON, 1980). A substituição parcial de ácidos inorgânicos de outros extractores, como no Mehlich-1, por ácido acético com pH tamponado a 2,5 pode diminuir a solubilização de P nos fosfatos naturais (NOVAIS e SMYTH, 1999). Como principais vantagens deste método, podem-se citar a facilidade na execução, o baixo custo, limpidez do extrato e principalmente a capacidade de extrair vários elementos simultaneamente, como P, K, Ca, Mg, Cu, Zn e Mn, aumentando a eficiência do laboratório de rotina pela não necessidade de separar os extractores para cada elemento (SIMS, 1989).

Como alternativa à utilização de extractores ácidos, tem sido proposta a utilização de métodos

não destrutivos da fração sólida do solo para extração de P. Dentre estes métodos destaca-se a RTA. Este método é baseado na liberação do P da fase sólida para o restabelecimento de seu equilíbrio com o P dissolvido na suspensão do solo, que é continuamente adsorvido pela resina e trocado com o ânion (HCO_3^-) com o qual a resina é previamente saturada. Logo, a RTA é adequada para estimar a capacidade de suprimento, pois o processo de extração assemelha-se à ação das raízes das plantas. As principais vantagens da RTA estão a ausência de exaustão da extração de P em solos com alto teor de argila e ausência de dissolução excessiva dos solos adubados com fosfatos naturais, evitando assim a superestimação do P disponível (SILVA e RAIJ, 1999). Por outro lado, as principais desvantagens são a menor facilidade de execução, a necessidade de longo período de extração (16 horas) e o custo relativamente elevado das resinas.

Atualmente, os fosfatos naturais reativos têm sido utilizados como fonte alternativa de P à cultura de arroz irrigado em solos com teores de P a partir do início da classe “Médio” (CQFS RS/SC, 2004). Entretanto, existem dúvidas em relação a qual seria o extrator adequado para estimar a disponibilidade de P para a cultura de arroz irrigado em solos adubados com fosfatos naturais reativos. Isso se deve à possibilidade de dissolução excessiva de fosfatos naturais reativos pelos extratores ácidos, bem como pelas condições químicas que ocorrem durante o alagamento do solo (aumento do pH e dos teores de cálcio e P na solução do solo), as quais desfavorecem a dissolução dos fosfatos naturais reativos.

As principais classes de solos utilizados para o cultivo de arroz irrigado no Rio Grande do Sul são Planossolo, Gleissolos, Chernossolos, Plintossolos e Luvisolos (PINTO et al., 2004). Esses solos são oriundos de diferentes materiais de origem (granito e basalto), os quais influenciam nas condições químicas que ocorrem durante o alagamento (GONÇALVES e MEURER, 2010), podendo interferir na dissolução dos fosfatos naturais reativos. A solubilização de fosfatos naturais reativos é favorecida pelo pH ácido e

pelos baixas concentrações de cálcio e fósforo na solução (NOVAIS e SMYTH, 1999). Este trabalho foi realizado partindo-se da hipótese que os extratores ácidos (Mehlich 1 e 3) dissolvem excessivamente o fosfato natural reativo, resultando em baixa relação com a absorção pelas plantas quando comparados ao método da RTA. O objetivo deste trabalho foi comparar, em casa-de-vegetação, a eficiência dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e RTA na estimativa da disponibilidade de P para o arroz irrigado por alagamento em cinco solos submetidos a diferentes doses do fosfato natural reativo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em casa de vegetação, localizada no Campus da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUC/RS em Uruguaiana, no período de novembro a dezembro de 2010. Foram utilizadas amostras dos solos mais representativos usados para o cultivo de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul: a) Planossolo Háplico eutrófico solódico (SGex); coletado no município de Pelotas; b) Planossolo Háplico distrófico típico (SGea); coletado no município de Vacacaí; c) Gleissolo Háplico Eutrófico Típico, coletado no município de Bagé; d) Luvisolo crômico pálico abruptico, coletado no município de Itaqui; e) Vertissolo ebânico órtico típico, coletado no município de Alegrete; f) Chernossolo ebânico carbonático vértico, coletado no município de Alegrete (EMBRAPA, 2006). Os óxidos de ferro de baixa cristalinidade (FeO_θ) foram extraídos com oxalato de amônio $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 6 no escuro (SCHWERTMANN, 1964). Segundo Much e Ottow (1980), estas formas de óxidos de ferro são mais rapidamente reduzidas do que os óxidos de ferro cristalino em condições anaeróbias. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com três repetições por tratamento.

As amostras da camada superficial (0-20 cm) dos solos (Tabela 1) foram expostas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm de malha, sendo posteriormente, colocadas em vasos plásticos de 8 dm^3 , na quantidade de 6 kg

Tabela 1 - Atributos das amostras dos solos Planossolo, Planossolo, Gleissolo, Luvisolo, Vertissolo e Chernossolo (EMBRAPA, 2006).

	Planossolo (SGex)	Planossolo (SGea)	Gleissolo	Luvisolo	Vertissolo	Chernossolo
Material de origem	Granito	Arenito	Granito	Basalto	Basalto	Basalto
Argila (g kg ⁻¹)	190	160	240	230	270	290
M.O. (g kg ⁻¹)	190	180	270	170	450	200
pH H ₂ O	4,8	4,9	5,0	4,9	5,5	5,9
P (mg kg ⁻¹)*	2,9	2,8	2,9	3,0	2,8	2,9
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	2,60	2,00	2,80	6,5	16,1	15,2
FeO ₆ (g kg ⁻¹)**	0,40	0,28	0,28	1,45	1,58	0,90

Argila: Método de densímetro; Matéria Orgânica do Solo: Digestão úmida; Fósforo: Mehlich-1; Cálcio: KCl 1 mol L⁻¹; FeO₆: Oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹ a pH 6 no escuro.

de solo seco por vaso (unidade experimental). Adicionou-se aos vasos fosfato natural reativo “Arad” passado em peneiras de 0,297 mm, para uniformizar o tamanho das partículas, nas doses de 0; 9,82; 19,65 e 39,30 mg kg⁻¹ de P, deixando-se incubar por 30 dias. À medida que as amostras do solo foram homogeneizadas, sem ou com fosfato natural reativo, nas unidades experimentais, acomodou-se os sistemas de coleta de solução desenvolvidos por Bohnen et al. (2005), de modo que ficassem a uma profundidade de 10 cm. Após este período, retirou-se 50 g de solo de cada vaso para análises químicas para determinação do P disponível. Em seguida, foram aplicados 20 kg ha⁻¹ N, na forma de uréia e 60 kg ha⁻¹ de K, na forma de KCl e posteriormente semeados oito sementes por vaso da cultivar de arroz IRGA 417 que foram desbastadas para três plantas por vaso quando as plantas apresentaram três folhas.

Posteriormente, os vasos foram alagados com água destilada, mantendo-se uma lâmina de água de cinco centímetros de altura durante 40 dias. Após este período, a parte aérea das plantas foi coletada a 1cm da superfície do solo, e seca em estufa à 65°C, por 72 horas. Após a pesagem do material para a avaliação da produção de matéria seca, o tecido foi moído e nele determinados as concentrações de P através da metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Aos 7, 20 e 40 dias de alagamento, foram coletados 20 mL de solução do solo por sucção e filtrados diretamente em frascos de vidro, previamente foram adicionados 2 mL de HCl 1,1 mol L⁻¹, para que a concentração final de HCl da amostra ficasse em torno de 0,1 mol L⁻¹, possibilitando, dessa maneira, a análise das concentrações de Ca, Mg e Fe, por espectrometria de absorção atômica (Perkin Elmer, 403) e de P, por colorimetria (Varian series 634).

O P disponível nas amostras de solo foi extraído por Mehlich-1, por RTA (TEDESCO et al. 1995) e Mehlich-3 (MEHLICH, 1984), O teor de P extraído pelos extratores foi relacionado com o P acumulado pelas plantas, utilizando Sistema de Análise Estatística para Microcomputadores (ZONTA et al., 1984). Os teores de P acumulados obtidos em função das doses de P foram submetidos a análise de regressão polinomial 1% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando as amplitudes mínimas e máximas de P extraído por cada extrator em todos os solos, observou-se que os teores de P extraído pela RTA foram diferentes dos extraídos pelas soluções ácidas diluídas. Os teores de P extraídos pelos extratores foram os seguintes: a RTA variou

de 2,7 a 8,7 mg de P kg⁻¹ de solo; o Mehlich-1 de 2,6 a 15,5 mg P kg⁻¹ e Mehlich-3 de 2,7 a 14,6 mg de P kg⁻¹. Os extratores de Mehlich-1 e Mehlich-3 extraíram quantidades semelhantes de P, porém superiores às extraídas pela RTA. Estes resultados podem ser atribuídos aos princípios de extração de cada método, ou seja, os extratores de Mehlich apresentam ação dissolutiva do ácido

sobre partículas de fosfatos naturais reativos, superestimando os teores de P disponível (RAIJ, 1991). Por outro lado, o processo de extração da RTA, não envolve a presença de substâncias ácidas e conseqüentemente a dissolução excessiva das partículas de fosfatos naturais reativos. Sua extração por troca aniônica, assemelha-se à ação das raízes das plantas (SILVA e RAIJ, 1999).

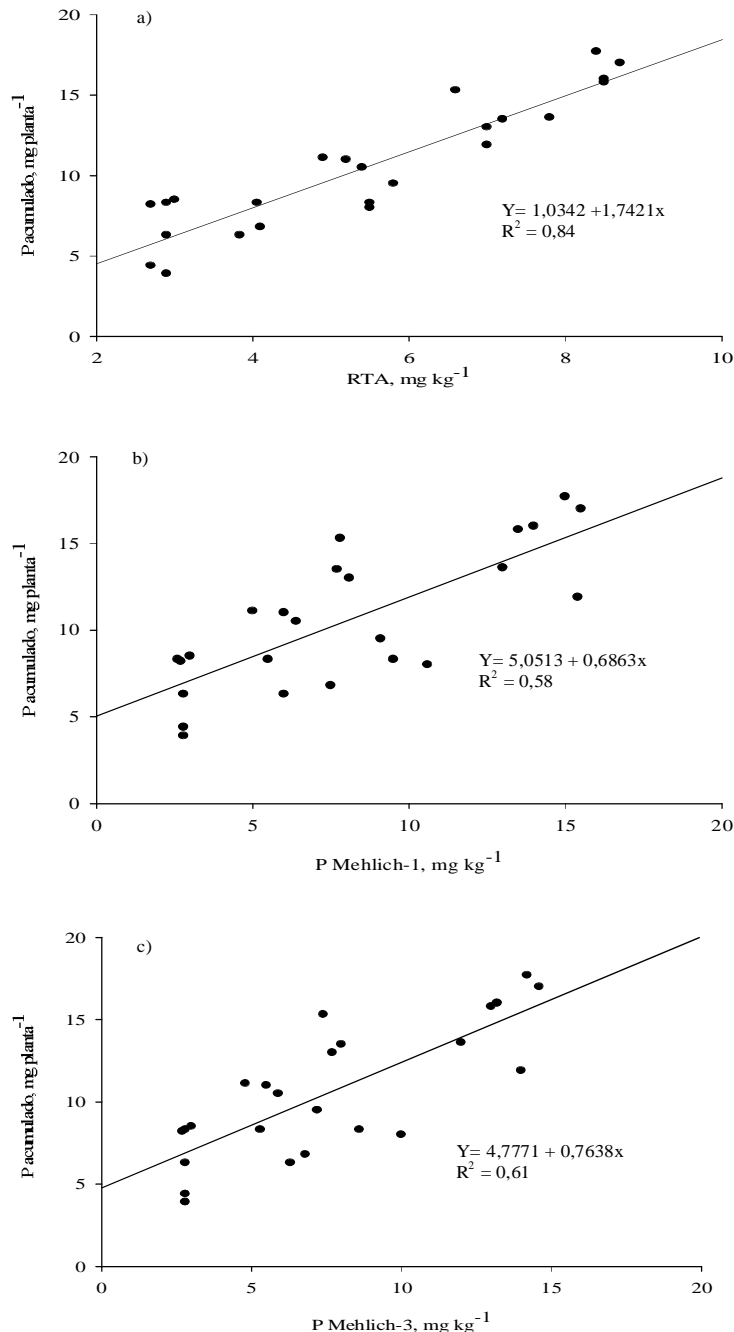


Figura 1- Relação entre os teores de P extraídos pelos métodos RTA (a), Mehlich-1 (b) e Mehlich-3 (c) e as quantidades de P acumulado pelo arroz nas amostras dos solos: Planossolo; Luvisolo; Vertissolo e Chernossolo, submetidas às doses de P: 0; 9,82; 19,65 e 39,30 mg de P kg⁻¹.

A RTA foi adequada para estimar a capacidade de suprimento de P em solos adubados com fosfato natural reativo, pois dentre os métodos testados (Figura 1), a RTA apresentou o maior grau de relação com a quantidade de P acumulado pelas plantas ($R^2=0,84^*$). Isto pode ser devido ao processo de extração da RTA que se baseia na dessorção ou dissolução do P da fase sólida para o restabelecimento de seu equilíbrio com o P dissolvido na suspensão do solo, que é continuamente adsorvido pela resina e trocado com o ânion com o qual a resina é previamente saturada, assemelhando-se à ação das raízes das plantas (VAIDYANATHAM e TALIBUDEEN, 1970). Grande et al. (1986) relatam que a eficiência da resina deve estar associada ao pH de equilíbrio entre 6,5 e 7,0 do extrato com a resina. Este pH coincide com aquele que ocorre em solos reduzidos do Rio Grande do Sul, após o equilíbrio, o qual é muito distinto daquele encontrado em solo oxidado, geralmente com pH ácido, ambiente desfavorável à extração de P ligado ao ferro, os quais são as formas que predominam em solos reduzidos no Rio Grande do Sul (RANNO et al., 2007).

Os maiores teores de P obtidos pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3 em todos os solos

são atribuídos provavelmente a solubilização de partículas de fosfato natural reativo, as quais se encontram misturadas ao solo, promovendo uma superestimação no teor de P disponível (SILVA e RAIJ, 1999). O método Mehlich-1 consiste de ácidos fortes diluídos, os quais mantêm a atividade do íon H^+ na solução suficiente para dissolução parcial de fosfatos de cálcio, ferro e alumínio. A substituição parcial de ácidos inorgânicos presentes no Mehlich-1 por ácido acético com pH tamponados 2,5, não mostrou-se efetiva em diminuir a solubilização de fosfatos naturais reativos na extração do Mehlich-3, ao contrário do que foi sugerido por Kamprath e Watson (1980).

A relação entre a quantidade de P acumulado nos tecidos das plantas de arroz e as quantidades de P extraídas dos solos pelos extratores ácidos Mehlich-1 e Mehlich-3 apresentaram coeficiente de determinação semelhante: 0,58 e 0,61, respectivamente (Figura 1). Desta forma, estes métodos não se mostraram eficazes para avaliar a disponibilidade do P para a cultura do arroz em solos adubados com fosfato natural Arad.

Neste estudo, os teores de P acumulados em todos os solos apresentam resposta linear a aplicação das doses fosfatadas testadas.

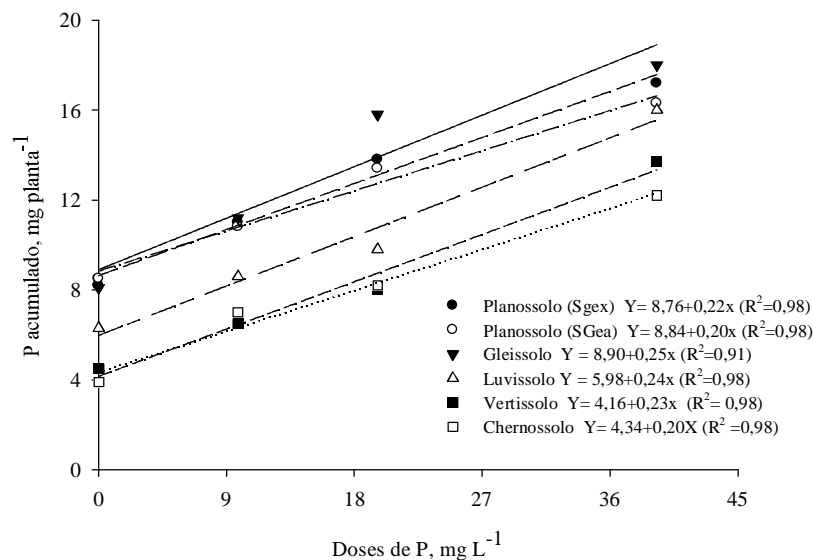


Figura 2 - Teores de P acumulado pelas plantas de arroz irrigado em seis solos em função da aplicação de doses de fósforo natural reativo.

Tabela 2 - Valores de Fe, P, pH e Ca na solução do solo aos 7, 20 e 40 dias de alagamento nos solos em que não foram aplicados fosfato natural reativo.

Solos	Dias de Alagamento		
	7	20	40
	Fe, mg L ⁻¹		
Planossolo (SGex)	35,10 b	70,50 a	70,10 a*
Planossolo (SGea)	38,30 a	60,10 c	61,30 b
Gleissolo	30,20 c	62,25 b	60,50 c
Luvissolo	8,10 d	26,30 d	55,30 d
Vertissolo	3,05 f	14,20 f	43,20 e
Chernossolo	3,55 e	16,35 e	46,30 f
	P, mg L ⁻¹		
Planossolo (SGex)	20,10 c	25,15 d	25,30 d
Planossolo (SGea)	16,90 f	22,35 e	21,05 e
Gleissolo	18,20 e	20,10 f	20,30 f
Luvissolo	22,10 a	30,35 a	33,45 a
Vertissolo	20,35 d	27,20 c	28,40 c
Chernossolo	21,30 b	29,15 b	31,25 b
	pH		
Planossolo (SGex)	5,00 c	5,75 bcd	5,85 d
Planossolo (SGea)	5,10 b	5,65 d	5,95 c
Gleissolo	5,04 bc	5,70 cd	6,00 c
Luvissolo	5,10 b	5,82 abc	6,20 a
Vertissolo	5,22 a	5,88 a	6,10 b
Chernossolo	5,20 a	5,85 ab	6,15 ab
	Ca, mg L ⁻¹		
Planossolo (SGex)	20,10 c	25,15 d	25,30 d
Planossolo (SGea)	16,90 f	22,35 e	21,05 e
Gleissolo	18,20 e	20,10 f	20,30 f
Luvissolo	22,10 a	30,35 a	33,45 a
Vertissolo	20,35 d	27,20 c	28,40 c
Chernossolo	21,30 b	29,15 b	31,25 b

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05).

Tabela 3 - Coeficiente de determinação entre os teores de P extraídos dos solos e o P acumulado pelas plantas de arroz, para todos os solos num único grupo (geral) e separados de acordo com os teores de ferro de baixa cristalinidade (extração com oxalato a pH6).

Métodos	Grupos de solo ¹		
	Geral	1	2
Resina	0,84*	0,92	0,93
Mehlich-1	0,58	0,90	0,77
Mehlich-3	0,61	0,90	0,78

¹ Grupo 1 = Planossolos e Gleissolo; Grupo 2 = Luvisso, Vertissolo e Chernossolo.

* Significativo a 5% de probabilidade.

Os Planossolos e Gleissolo apresentaram os maiores teores de P acumulado do que os demais solos oriundos de sedimento de basalto (Figura 2). Isso pode ser devido aos seguintes fatores: a) Os Planossolo e Gleissolo apresentaram antecipação das reações de redução do ferro e consequentemente maior disponibilidade de Fe e P (Tabela 2) para a cultura de arroz irrigado quando comparados aos solos oriundos de sedimento de basalto (Luvisso, Vertissolo e Chernossolo), na maior parte do período de alagamento. Resultados semelhantes foram observados por Gonçalves e Meurer (2010); b) A partir dos 20 dias de alagamento, os maiores valores de pH e maiores teores de Ca na solução dos solos (Tabela 2) encontrados nos solos oriundos de sedimento de basalto, provavelmente, diminuíram a solubilização dos fosfatos naturais, reduzindo os teores de P na solução e consequentemente a absorção de P pelas plantas de arroz irrigado.

Em função dos solos utilizados apresentarem diferentes teores de P acumulado, devido as diferentes características químicas e eletroquímicas (pH na solução), buscou-se realizar a separação dos solos em dois grupos segundo o material de origem e os teores de óxidos de ferro de baixa cristalinidade, objetivando avaliar a eficiência dos métodos (Tabela 3). O solo do grupo 1, derivado de sedimentos de granito, representado por Planossolos e Gleissolo, e os solos do grupo 2, derivados de basaltos, representados por solos Luvisso, Vertissolo e Chernossolo. Ambos os grupos, apresentaram

aumento nos coeficientes de determinação, indicando que a separação dos solos pode melhorar a avaliação da disponibilidade do P em solos adubados com fosfatos naturais reativos.

CONCLUSÕES

Dentre os métodos testados, o método da RTA tem maior eficiência na estimativa da disponibilidade de P para o arroz irrigado em solos adubados com fosfatos natural Arad.

A separação dos solos em grupos, segundo o material de origem e os teores de óxidos de ferro de baixa cristalinidade extraídos com oxalato a pH 6,0, auxilia positivamente na estimativa da disponibilidade de P para o arroz irrigado em solo adubado com fosfato natural reativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAHIA FILHO, A. F. C. et al. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, p.221-226, 1983.
- BOHNEN, H. et al. Ácidos orgânicos na solução de um Gleissolo sob diferentes sistemas de cultivos com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.475-480, 2005.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do**

- Sul e de Santa Catarina.** 10ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional do Sul, 2004. 394p.
- EMBRAPA. **Sistema de Classificação de Solos.** Brasília: Embrapa - Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa - CNPS, 2006, 306p.
- GONÇALVES, G.K.; MEURER, E.G. Alterações nas concentrações de fósforo em solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.465-471, 2010.
- GRANDE, M.A. et al. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich e resina, em solos cultivados com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.10, p.45-50, 1986.
- KAMPRATH, E.J.; WATSON, M.E. Conventional soil and tissue test for assessing the phosphorus status of soil. In: KHASAWNEH, F.E. et al. (Eds) **The role of phosphorus in agriculture.** Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.433-469.
- MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄ by North Carolina Soil Testing Laboratories.** Raleigh: University of North Carolina, 1953.
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of the Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 15, p.1409-1416, 1984.
- MUNCH, J.C.; OTTOW, J.C.G. Preferential reduction of amorphous to crystalline iron oxides by bacterial activity. **Soil Science**, Philadelphia, v.129, p.15-21, 1980.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- PINTO, L.F.S. et al. Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A.da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de (Eds) **Arroz irrigado no Sul do Brasil.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.75-95.
- RANNO, S.K. et al. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.21-28, 2007.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.
- SILVA, F.C.; RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.267-288, 1999.
- SIMS, J. T. Comparison of Mehlich 1 and Mehlich 3 extractants for P, K, Ca, Mg, Mn, Cu and Zn in atlantic coastal plain soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.20, p.1707-1726, 1989.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraktion mit ammoniumoxalat-lösung. **Pflanzenernä Bodenk**, v.105, p.194-202, 1964.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2 ed. Porto Alegre: Departamento de solos da UFRGS, 1995. 174p. Boletim Técnico de Solos, 5.
- VAIDYANATHAM, L.V.; TALIBUDEEN. Rate processes in the desorption of phosphate from soils by ion exchange resins. **Soil Science**, Philadelphia, v.21, p.173-183, 1970.
- ZONTA, E.P et al. **Sistema de análise estatística para microcomputadores (SANEST).** Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 1984. 151p.