

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO PARA O ARROZ INUNDADO SOB EFEITO RESIDUAL DE CALCÁRIO, GESSO E ESTERCO DE CURRAL APLICADOS NA CULTURA DO FEIJÃO⁽¹⁾

W. R. AZEVEDO⁽²⁾, V. FAQUIN⁽³⁾,
L. A. FERNANDES⁽⁴⁾ & A. C. OLIVEIRA JÚNIOR⁽⁵⁾

RESUMO

Foram realizados simultaneamente quatro experimentos em vasos com os solos Neossolo Flúvico (RU), Gleissolo Háptico (GX), Gleissolo Melânico (GM) e Organossolo Mésico (OY) artificialmente drenado, com objetivo de avaliar a influência de calcário, gesso e esterco de curral curtido - aplicados em cultivo prévio de feijoeiro, na eficiência de diferentes extratores e da fosfatase ácida, usados em amostra de solos aerados, antes da inundação; na predição da disponibilidade do P para a cultura após a inundação e na produção de arroz inundado. Após a colheita do feijoeiro, cinco repetições correspondentes a cada tratamento em cada solo foram misturadas entre si e colocadas em vasos de 5 dm³ (3,2 dm³ de solo) onde foi conduzido o experimento de arroz inundado. Nessa época, colheram-se subamostras para as determinações de P por Mehlich-1, Resina, Bray-1, P remanescente e atividade da fosfatase ácida no solo. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2, sendo: três tratamentos de solo (calcário, gesso e sem aplicação de calcário e gesso) e dois níveis de esterco de curral curtido (com e sem) com quatro repetições. Os solos dos vasos permaneceram em inundação com uma lâmina de água de 3 cm sobre a superfície do solo. Após 60 dias de inundação, foram transplantadas plântulas de arroz e cultivadas até à maturação dos grãos. Durante o período experimental, o arroz recebeu adubação nitrogenada e potássica em cobertura. Os extratores de P e a atividade da fosfatase ácida, nas amostras dos solos aerados, antes do cultivo, não foram eficientes para predizer P disponível para o arroz inundado. A aplicação de esterco de curral curtido

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA. Recebido para publicação em junho de 2003 e aprovado em outubro de 2004.

⁽²⁾ Diretor da Solo e Água - Gestão Planejada. Caixa Postal 297, CEP 75901-970 Rio Verde (GO). E-mail: wazevedo@brturbo.com

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo - UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail: vafaquin@ufla.br

⁽⁴⁾ Professor do Núcleo de Ciências Agrárias - UFMG. Caixa Postal 135, CEP 39404-006 Montes Claros (MG). E-mail: larnaldo@nca.ufmg.br

⁽⁵⁾ Doutorando do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. E-mail: antoniocoliveirajr@yahoo.com.br

proporcionou maior disponibilidade de P, maiores produções de matéria seca de grãos e parte aérea, teores foliares e acúmulo de P nas plantas de arroz. Os solos apresentaram respostas variadas à aplicação de calcário e gesso.

Termos de indexação: várzea, extratores, fosfatase ácida, P remanescente, Mehlich, Resina, Bray.

SUMMARY: *PHOSPHORUS AVAILABILITY FOR FLOODED RICE UNDER THE RESIDUAL EFFECT OF LIME, GYPSUM, AND MANURE APPLIED TO COMMON BEAN*

Four experiments were conducted simultaneously in a Alluvial Soil, a Low-Humic Gley, a Humic Gley and an artificially drained bog soil with the objective of evaluating the influence of liming and manure applied in previous bean crop on residual effects of phosphorus fertilization, extractor efficiency and acid phosphatase activity in aired soils before flooding in the prediction of P availability to rice cultivated after flooding. After the bean harvest, replicates of each treatment for each soil were mixed and 3.2 kg of soil were transferred to 5 L pots, which were used to cultivate the flooded rice experiment. At this time, soil samples were collected for phosphorus determination by Mehlich-1, Resin, Bray-1, solution equilibrium phosphorus and acid phosphatase activity. The experimental design was completely randomized in a 3 x 2 factorial scheme: three soil amendment practices (liming, gypsum, and no corrective) and two organic residue levels (with and without cow manure), with four replications. The soils remained flooded with a 3 cm water layer throughout the experimental period. After 60 days of flooding, rice plants were transplanted to pots and grown until grain maturity. The manure application led to an increase of P availability, grain dry matter, and foliar P concentration and content, whereas lime and gypsum showed no clear effect on the studied variables. The phosphorus extractors and acid phosphatase activity used in aired soils before the rice crop were not effective to predict phosphorus availability in the flooded soils.

Index terms: lowland, extractors, acid phosphatase, Mehlich, Resin, Bray.

INTRODUÇÃO

O P, adicionado ao solo pela fertilização das culturas, representa um custo variável significativo, já que grande parte dele fica retido no solo sob diferentes formas. É provável que o efeito residual do nutriente, principalmente para o arroz inundado como cultura subsequente, seja uma contribuição importante na eficiência e economia da adubação fosfatada.

Efeitos residuais positivos da aplicação de P são observados em diversas culturas. Esse fato tem grande relevância para o pequeno produtor rural do Sul de Minas Gerais, que cultiva arroz inundado após o cultivo de feijão, tornando esse um sistema de exploração mais racional da terra. Dessa forma, o sistema tenderia a ser mais sustentável, caso fosse constatada a eficiência da correção do solo e do uso de esterco de curral, efetuados no plantio do feijoeiro, os quais seriam suficientes para garantir a produção e a rentabilidade de arroz inundado, como cultivo sucessivo ao feijoeiro em solos de várzea.

Essa premissa parte de análises que avaliam a disponibilidade de P às plantas pelo uso de diversos

métodos, desenvolvidos dentro do princípio de que uma solução extratora deve remover o P, combinado com Ca, Fe e Al, em proporções similares ao absorvido pelas plantas. Os métodos existentes procuram reproduzir a capacidade das plantas em absorver o nutriente, sem a preocupação quanto ao composto ou fração presente no solo do qual o nutriente é originado (Mehlich, 1978).

Nos solos que sofrem ciclos de umedecimento e drenagem, como os solos de várzea, para avaliar a disponibilidade de P, são utilizados os mesmos métodos aplicados aos solos de terras altas. No entanto, a avaliação dessa disponibilidade mostra-se mais complexa que em solos bem drenados, visto que as reações de redução, hidrólise e solubilização de diversos compostos influem no teor de P em solução (Lindsay, 1979). Grande et al. (1986), testando a disponibilidade de P pelos extratores Mehlich-1 e Resina, em ensaios com arroz inundado, verificaram a pouca eficiência do Mehlich-1 na predição do P disponível e confirmaram a melhor adequação da resina para essa condição de cultivo.

Além do P extraído do solo por diferentes extratores, a predição da disponibilidade deste

nutriente às plantas também pode ser aferida pela atividade da fosfatase ácida. Essa enzima catalisa a hidrólise de ésteres e anidridos do ácido fosfórico, cujo mecanismo faz com que moléculas orgânicas fosfatadas sofram clivagem liberando álcool e ácido fosfórico. Segundo Nahas (1991) e Duff et al. (1994), estruturas químicas presentes na matéria orgânica, tais como: etilfosfato e glicerolfosfato, garantem que a enzima atue em diversos substratos. Além disso, essa enzima tem sua atividade aumentada à medida que a disponibilidade de P para as plantas e para a população de microrganismos do solo é reduzida, mostrando-se um indicador sensível da biodisponibilidade de P às plantas (Fernandes, 1999).

Esse trabalho teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de calcário, gesso e esterco de curral curtido, aplicados em cultivo prévio com feijoeiro, na eficiência dos extratores de Mehlich-1, Bray-1 e Resina e na atividade da fosfatase ácida, usados em amostras de solos aerados antes da inundação, na predição da disponibilidade de fósforo e na produção de grãos pelo arroz inundado.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados, simultaneamente, quatro experimentos, em condições de casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, utilizando vasos plásticos com volume de 5 dm³ e com 3,2 dm³ de solo por vaso. Cultivaram-se plantas de arroz (*Oriza sativa* L. cv. Rio Grande) sob inundação, no período de dezembro de 2000 a maio de 2001, em amostras da camada superficial (0–20 cm) de quatro classes de solos de várzea não sistematizados: Neossolo Flúvico (RU), Gleissolo Háplico (GX), Gleissolo Melânico (GM) e Organossolo Mésico (OY), artificialmente drenado (Quadro 1).

O cultivo de arroz inundado, subsequente ao cultivo de feijoeiro, foi realizado em quatro solos de várzea, os quais receberam aplicação de calcário, gesso e esterco de curral curtido, objetivando avaliar o aproveitamento do P pela cultura (Andrade, 2001). No experimento com feijoeiro, em cada um dos

Quadro 1. Composição química, física e mineralógica dos solos utilizados no experimento sob condições naturais

Solo	Químico											
	pH ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	K	PRm ⁽³⁾	CMAP ⁽⁴⁾	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	T ⁽⁵⁾	m	V
	H ₂ O	- mg dm ⁻³		mg L ⁻¹	mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³					%	
RU	4,7	3	103	27,33	689	27	11	2	45	86	5	47
GX	4,5	3	36	28,00	648	6	2	11	63	72	55	12
GM	4,7	6	51	1,77	2404	7	2	16	137	150	61	7
OY	4,6	8	76	16,40	1051	16	12	9	98	130	23	23
	Físico											
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Matéria orgânica	Ds ⁽⁶⁾	Dp ⁽⁷⁾	Superfície específica				
	g kg ⁻¹					g cm ⁻³		m ² g ⁻¹				
RU	0	179	471	350	41	0,76	2,77	137				
GX	30	611	179	180	35	1,05	2,66	121				
GM	9	230	391	370	245	0,40	1,81	335				
OY	0	120	570	310	45	0,64	2,15	181				
	Mineralógico											
	SiO ₂ ⁽⁸⁾	Al ₂ O ₃ ⁽⁸⁾	Fe ₂ O ₃ ⁽⁸⁾	TiO ₂ ⁽⁸⁾	P ₂ O ₅ ⁽⁸⁾	Fe _d ⁽⁹⁾	Fe _o ⁽¹⁰⁾	Ct ⁽¹¹⁾	Gb ⁽¹²⁾	Ki ⁽¹³⁾		
	g kg ⁻¹							g kg ⁻¹				
RU	209,3	221,1	74,5	9,3	0,51	4,3	0,17	50	17	1,61		
GX	84,2	112,2	13,0	6,2	0,10	0,3	0,11	12	3,4	1,28		
GM	126,1	175,5	13,3	5,5	1,52	0,9	0,21	18	20	1,22		
OY	243,4	247,1	42,8	7,3	0,48	1,6	0,16	36	18	1,67		

⁽¹⁾ pH = pH em água. ⁽²⁾ Fósforo extraído pelo Mehlich-1. ⁽³⁾ PRm = P remanescente (Alvarez V. et al., 2000). ⁽⁴⁾ CMAP = cap. máxima de adsorção de P (Alvarez V. & Fonseca, 1990). ⁽⁵⁾ T = cap. troca de cátions a pH 7,0. ⁽⁶⁾ Ds = densidade do solo. ⁽⁷⁾ Dp = densidade de partículas (Embrapa, 1997). ⁽⁸⁾ Óxidos do ataque sulfúrico (Embrapa, 1997). ⁽⁹⁾ Fe_d = ferro extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato (Mehra & Jackson, 1960). ⁽¹⁰⁾ Fe_o = ferro extraído pelo oxalato ácido de amônio. ⁽¹¹⁾ Ct = caulinita. ⁽¹²⁾ Gb = gibbsita determinados na fração argila e corrigidos para terra fina. ⁽¹³⁾ Ki – relação molecular SiO₂/Al₂O₃.

quatro solos, o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 2, sendo três práticas de tratamento de solo (calcário, gesso e sem adição de calcário e gesso) e dois níveis de esterco de curral curtido (com e sem), com cinco repetições. Foi usado o esterco de curral curtido, seco a 60 °C e moído (peneira de 1 mm²), na dose de 0,3 dm³ vaso⁻¹, o que correspondeu a 10 % do volume total do solo (3 dm³) do vaso. Os solos dos vasos com e sem esterco de curral curtido foram incubados por 60 dias, com umidade correspondente à capacidade de campo.

Após esse período, os solos foram secos e receberam os tratamentos com calcário e gesso. O calcário constituiu-se da mistura de carbonato de Ca e de Mg p.a., na relação 4:1 (p/p), que foram aplicados para elevar a saturação por bases a 70 %, sendo as doses estabelecidas após a determinação das curvas de neutralização para esses solos (Azevedo, 1999). As doses de calcário foram de 4,4; 2,7; 7,3 e 3,5 Mg ha⁻¹, para os solos RU, GX, GM e OY, respectivamente. As doses de gesso (CaSO₄.4H₂O p.a.) foram calculadas visando aplicar a quantidade equivalente de Ca presente na dose de calcário, para cada solo. Para evitar um desequilíbrio nutricional nas plantas de feijoeiro, os tratamentos com gesso também receberam uma quantidade de Mg equivalente àquela aplicada com calcário, na forma de MgSO₄.7 H₂O p.a. Os solos dos vasos dos tratamentos com calcário, gesso e sem calcário e gesso foram incubados por 30 dias, com umidade do solo correspondente à capacidade de campo.

Após o período de incubação dos solos nos vasos com a aplicação de calcário e gesso, as amostras foram secas e aplicaram-se as doses de P necessárias para 90 % da produção máxima de feijoeiro, que correspondeu a 345, 359, 460 e 299 mg dm⁻³ de P para os solos RU, GX, GM e OY, respectivamente, de acordo com Fernandes et al. (2000). Os solos receberam, também, a aplicação de uma adubação

básica com macro e micronutrientes, em mg dm⁻³ de solo: 60 de N; 50 de K; 60 de S; 0,5 de B; 1,5 de Cu e 5,0 de Zn, na forma de reagentes p.a.. As fontes utilizadas foram: Ca(H₂PO₄)₂.H₂O; MgSO₄.7H₂O; Mg(NO₃)₂.6H₂O; KCl; ZnSO₄.7H₂O; CuCl₂.2H₂O e H₃BO₃. As amostras dos solos nos vasos foram incubadas por mais 60 dias com umidade correspondente à capacidade de campo.

Após a colheita do feijoeiro, os solos dos vasos foram secos, destorroados e peneirados em malha de 5 mm, para retirada das raízes. As cinco repetições correspondentes a cada tratamento, para cada solo, foram misturadas. A seguir, o solo de cada tratamento foi distribuído em quatro vasos de cinco dm³ (3,2 dm³ de solo) e coletadas subamostras para as determinações de P por Mehlich-1 (Embrapa, 1997), resina (Raij et al., 1987), Bray-1 (Bray & Kurtz, 1945), P remanescente (Alvarez V. et al., 2000) e atividade da fosfatase ácida no solo, segundo procedimento de Tabatabai & Bremner (1969), modificado por Nahas et al. (1994).

O delineamento experimental utilizado para o arroz foi o mesmo descrito para o feijoeiro, agora com quatro repetições.

Os solos dos vasos foram inundados com água desmineralizada e permaneceram sob inundação por 60 dias. Após esse período, transplantaram-se quatro plântulas de arroz por vaso, previamente germinadas em papel de filtro, e conduziram-se duas plantas por vaso até a maturação dos grãos. Durante o período experimental, utilizou-se água desmineralizada, mantendo-se uma lâmina de água de 3 cm sobre a superfície do solo. Durante o período experimental, os vasos receberam adubação nitrogenada e potássica em cobertura, nas doses de 530 mg dm⁻³ de N e 420 mg dm⁻³ de K, parcelado em 10 aplicações. Na época do florescimento, foram coletadas folhas bandeira das plantas, nas quais foram analisados os teores de P (Malavolta et al., 1997).

No final do ciclo da cultura, determinou-se o peso da matéria seca da parte aérea (MSPA) e da matéria seca de grãos das plantas (MSGR), bem como o P acumulado na parte aérea das plantas (P-Acumulado) e o número de perfilhos (NP) de cada vaso. Os grãos foram colhidos no momento em que a percentagem de grãos maduros foi máxima. Os grãos foram secos em estufa de circulação forçada de ar   temperatura de 40–45 °C, até atingir a umidade de 13 % (Fornasieri Filho & Fornasieri, 1993). Logo após, foram limpos, descascados e pesados, obtendo-se, assim, a produção de grãos pelas plantas.

Todas as variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância e os tratamentos sem aplicação de calcário e gesso, com aplicação de calcário e aplicação de gesso foram comparados pelo teste de Scott Knott (a 5 %). Foram realizadas as análises de correla o linear simples entre os indicadores da disponibilidade de P, P-Acumulado e os de produção

Quadro 2. Teores totais de nutrientes no esterco de curral curtido⁽¹⁾

Macronutriente		Micronutriente	
	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹
N	19,73	Mn	808,50
P	4,50	Fe	52.066,00
K	45,00	Cu	25,73
S	3,00	B	19,34
Ca	26,40	Zn	108,17
Mg	4,56		

⁽¹⁾N, Kjeldhal e os demais nutrientes, digestão nitroperclórica (Malavolta et al., 1997).

Fonte: Andrade (2001).

de arroz para os solos em conjunto, uma vez que, na prática, usa-se determinado extrator, independentemente do solo cultivado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os quatro solos estudados, independentemente da aplicação de calcário e gesso, os maiores valores de P extraídos pelos extratores Mehlich-1 (MAI), Resina (RAI) e Bray-1 (BAI) foram observados com a aplicação de esterco de curral curtido que também adicionou P no solo (Quadro 2). Segundo Sanyal & De Datta (1991), a adição de matéria orgânica ao solo, como na forma de esterco animal, causa uma diminuição da adsorção de P e aumenta a disponibilidade deste nutriente para as plantas.

A maior extração de P pelos extratores, nos tratamentos que receberam aplicação de esterco de curral curtido, provavelmente, se deve à menor quantidade de P fixado aos óxidos de Fe e Al, desde a época de sua aplicação para o feijoeiro. A redução da capacidade de fixação de P nos tratamentos que receberam aplicação de esterco de curral curtido pode ser comprovada pelos maiores valores de P remanescente (PRm) nesses tratamentos (Quadro 3). Segundo Haynes (1984), tal fato pode ser atribuído ao poder do solo em adsorver ácidos orgânicos, que irão ocupar os sítios de adsorção de P, principalmente nas superfícies dos óxidos de Fe e de Al.

A maioria dos ácidos orgânicos, segundo Fontes et al. (1992), apresenta grupos funcionais COOH e o bloqueio da adsorção de P pelo solo se dá, segundo Hue (1991), pelas ligações entre esses grupos funcionais e as hidroxilas da superfície dos óxidos de Fe ou de Al. Dessa forma, quanto maior o número desses grupos funcionais nos compostos, maior será sua efetividade na competição pelos sítios de adsorção (Novais & Smyth, 1999).

Na prática, um aumento do teor de ácidos orgânicos, seja pela aplicação de resíduos orgânicos, seja pela forma natural, como exsudação de raízes e metabolismo de microrganismos, poderá proporcionar maior teor de P disponível às plantas. Portanto, devem-se preconizar opções de manejo para aumentar o teor de matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, a disponibilidade de P para as plantas (Silva et al., 1997; Abekoe & Sahrawat, 2001).

Para todos os solos, verificou-se que o P recuperado pelo Mehlich-1 foi maior em todos os tratamentos que receberam calcário e gesso. Para os solos GX e OY, não houve diferença quanto à aplicação de calcário e gesso, enquanto, para os solos RU e GM, os maiores valores extraídos foram verificados quando da aplicação do calcário. Para o solo GM, que apresenta alto teor de matéria orgânica (Quadro 1), tal fato, provavelmente, pode estar ligado à capaci-

dade desse extrator em recuperar formas orgânicas de P, aparentemente não disponíveis às plantas (Grande et al., 1986). Indiretamente, a aplicação de corretivo pode liberar P-Fe e P-Al e o Mehlich-1 recupera, preferencialmente, P ligado a Ca (Raij, 1991), em maior teor nos solos estudados, pela aplicação do calcário.

Somente para o solo RU, o P recuperado pela resina foi maior que pelo Mehlich-1 e Bray-1, independentemente da aplicação de calcário, gesso e esterco de curral curtido, sendo o valor maior de P recuperado conseqüência da aplicação de calcário. Segundo Mahapatra & Patrick Junior (1969), solos de áreas inundadas mostram grande teor de P-Fe o que, possivelmente, poderia explicar os maiores valores do P disponível encontrado no RU, mas isso não pode explicar o fato de a resina extrair menores teores de P nos solos GX, GM e OY, quando comparadas ao Mehlich-1.

Apesar de ser um extrator ácido, o Bray-1 recuperou pequenos teores de P nos solos GM e OY, quando comparado aos outros extratores, ou mesmo ao próprio Bray-1 nos solos RU e GX. O P extraído por este extrator não diferenciou do determinado nos solos RU e OY nos tratamentos com aplicação de calcário e gesso. De qualquer forma, segundo Olsen & Sommers, (1982), o extrator perde sua eficiência quando os solos recebem calagem, provavelmente, pela neutralização do ácido causada pelo corretivo, que promove a formação de CaF_2 .

Quanto aos valores de P remanescente (PRm), os maiores teores foram verificados nos tratamentos que receberam aplicação de esterco de curral curtido, independentemente da aplicação de gesso e calcário para todos os solos (Quadro 3). Para os solos GX, GM e OY, os maiores valores de PRm foram observados nos tratamentos que receberam calcário, indicando que esta prática reduz a fixação de P, conforme explicado anteriormente. Para o solo RU, os teores de PRm foram menores quando da aplicação de gesso e similares aos obtidos nos tratamentos sem e com aplicação de calcário. Neste caso, a aplicação de calcário ou gesso neutraliza o Al da solução do solo, com um diferencial de que o calcário eleva o pH do solo e o gesso não causa variação do pH.

Os menores teores de PRm foram observados para o solo GM. A maior presença de matéria orgânica neste solo (Quadro 1) poderia contribuir para a formação de pontes de cátions com Al, Fe e Ca, adsorvidos a ela, retendo o P. Fernandes (1999) verificou correlação significativa e positiva entre Al amorfo com as quantidades de P fixadas nessa mesma classe de solo.

Para todos os solos, com exceção do solo GX, verificou-se que os maiores valores para a atividade da fosfatase ácida foram obtidos com a aplicação de esterco de curral curtido (Quadro 3). A adição de matéria orgânica nos solos RU, GM e OY com

Quadro 3. Valores de fósforo extraído por Mehlich-1 (MAI), Resina (RAI), Bray-1 (BAI), fósforo remanescente (PRm) e atividade da fosfatase ácida (FAAI) antes da inundação dos solos: Neossolo Flúvico (RU), Gleissolo Háptico (GX) Gleissolo Melânico (GM) e Organossolo Mésico (OY), com e sem aplicação de calcário, gesso e esterco de curral curtido (Est.)

Solo	Aplicação de calcário e gesso	Resíduo	mg dm ⁻³			mg L ⁻¹	μmol g ⁻¹ h ⁻¹ (1)
			MAI	RAI	BAI	PRm	FAAI
RU	Sem aplicação	S/ Est.	34,75 b	75,40 b	35,26 b	40,34 b	493,83 b
		C/ Est.	58,00 a	96,20 a	62,10 a	46,64 a	1048,37 a
		Média	46,37 C	85,80 C	48,68 A	43,49 A	771,10 A
	Calcário	S/ Est.	34,00 b	81,55 b	28,62 b	42,03 b	367,35 b
		C/ Est.	78,25 a	110,82 a	67,00 a	46,27 a	719,44 a
		Média	56,125 A	96,19 A	47,81 A	44,15 A	543,39 B
	Gesso	S/ Est.	35,50 b	79,60 b	28,14 b	37,17 b	513,39 b
		C/ Est.	66,00 a	104,10 a	68,48 a	45,92 a	1451,92 a
		Média	50,75 B	91,85 B	48,31 A	41,55 B	982,65 A
GX	Sem aplicação	S/ Est.	63,00 b	78,50 b	74,81 b	34,72 b	1559,59 b
		C/ Est.	112,00 a	88,05 a	127,60 a	50,87 a	3980,31 a
		Média	87,50 B	83,27 B	101,25 A	42,79 B	2769,95 A
	Calcário	S/ Est.	80,00 b	85,97 b	80,71 b	40,95 b	2429,70 a
		C/ Est.	133,00 a	102,92 a	120,17 a	48,90 a	3191,65 a
		Média	106,50 A	94,45 A	100,44 A	44,93 A	2810,67 A
	Gesso	S/ Est.	93,00 b	85,90 a	65,10 b	35,11 b	2824,61 a
		C/ Est.	125,00 a	86,00 a	128,11 a	49,98 a	3280,69 a
		Média	109,00 A	85,95 B	96,60 B	42,54 B	3052,65 A
GM	Sem aplicação	S/ Est.	78,50 b	70,87 b	10,90 b	2,54 b	1138,26 b
		C/ Est.	130,50 a	86,47 a	18,92 a	6,91 a	2987,91 a
		Média	104,50 B	78,67 C	14,91 B	4,73 B	2063,08 B
	Calcário	S/ Est.	101,00 b	87,05 b	13,27 b	6,82 b	1428,09 b
		C/ Est.	166,00 a	94,32 a	22,61 a	11,24 a	3550,58 a
		Média	133,50 A	90,69 B	17,94 A	9,03 A	2489,34 A
	Gesso	S/ Est.	94,50 b	98,60 b	12,56 b	2,89 b	1397,14 b
		C/ Est.	118,00 a	104,02 a	20,75 a	6,94 a	3388,08 a
		Média	106,25 B	101,31 A	16,66 A	4,91 B	2392,61 A
OY	Sem aplicação	S/ Est.	55,50 b	47,22 b	6,83 b	28,90 b	2139,60 b
		C/ Est.	94,75 a	65,12 a	10,48 a	38,69 a	3661,67 a
		Média	75,12 B	56,17 B	8,66 A	33,79 B	2900,64 B
	Calcário	S/ Est.	64,00 b	62,67 b	7,25 b	31,20 b	2776,14 b
		C/ Est.	99,75 a	79,25 a	10,30 a	42,62 a	4016,40 a
		Média	81,87 A	70,96 B	8,77 A	36,91 A	3396,27 A
	Gesso	S/ Est.	59,25 b	79,70 b	6,38 b	26,36 b	2475,12 b
		C/ Est.	108,50 a	93,72 a	10,66 a	39,56 a	3692,94 a
		Média	83,87 A	86,71 A	8,52 A	32,96 B	3084,03 B

(1) μmol de paranitrofenol por grama de solo por hora. Letras minúsculas comparam os tratamentos com e sem resíduo, dentro de cada solo e prática de correção, enquanto letras maiúsculas comparam práticas de correção, dentro de cada solo, independentemente da aplicação de resíduo.

maiores teores de argila (Quadro 1), provavelmente, proporcionou maior efeito tampão, favorecendo a atividade dos microrganismos produtores de fosfatase. Segundo Ladd & Butler (1975) e McLaren (1975), a matéria orgânica do solo protege a enzima da decomposição pela formação de complexos húmus – proteína.

Para os solos GM e OY, a aplicação de calcário proporcionou aumento da atividade da fosfatase. Segundo Fernandes et al. (1998), a calagem proporcionou aumento do pH do solo para uma faixa mais adequada à atividade dos microrganismos produtores da fosfatase ácida. Trabalhos mostram que o aumento do número de bactérias totais nos

solos pode resultar no aumento da atividade enzimática (Dick et al., 1983; Nahas et al., 1994).

Para o solo RU, a calagem reduziu a atividade da fosfatase ácida e, no solo GX, não houve diferença na atividade da enzima no que se refere aos tratamentos onde houve a aplicação de calcário e gesso. Essa redução da atividade da fosfatase ácida pode ser explicada pelos altos valores de PRm desses solos (Quadro 3). Diversos trabalhos têm evidenciado redução da atividade da fosfatase ácida com o

aumento de P na solução do solo (Dalal, 1982; Haynes & Swift, 1998; Fernandes et al., 1998). Segundo Speir & Ross (1978), a atividade da fosfatase pode ser inibida com o aumento da concentração P na solução do solo.

Maiores teores de P no tecido da folha bandeira das plantas de arroz foram observados somente para o solo RU, com a aplicação de esterco de curral curtido, independentemente da aplicação de calcário e gesso (Quadro 4).

Quadro 4. Teor foliar de fósforo no florescimento (P-Foliar), matéria seca de grãos (MSGR), matéria seca da parte aérea (MSPA), fósforo acumulado na planta (P-Acumulado) e número de perfilhos (NP) em arroz cultivado no Neossolo Flúvico (RU), Gleissolo Háptico (GX) Gleissolo Melânico (GM) e Organossolo Mésico (OY), com e sem aplicação de calcário, gesso e esterco de curral curtido (Est.)

Solo	Aplicação de calcário e gesso	Resíduo	P-Foliar	MSGR	MSPA	P-Acumulado	NP
			g kg ⁻¹	g vaso ⁻¹			
RU	Sem aplicação	S/ Est.	2,10 b	17,56 b	51,97 b	0,17 b	36,25 b
		C/ Est.	2,88 a	48,713 a	60,53 a	0,34 a	44,75 a
		Média	2,49 A	33,14 C	56,25 B	0,27 A	40,50 B
	Calcário	S/ Est.	2,28 b	22,46 b	57,34 b	0,26 b	53,00 a
		C/ Est.	2,92 a	53,63 a	68,39 a	0,35 a	37,75 b
		Média	2,60 A	38,05 B	62,87 A	0,31 A	45,37 A
	Gesso	S/ Est.	2,15 b	40,28 b	53,08 b	0,25 b	46,75 a
		C/ Est.	2,50 a	57,74 a	65,02 a	0,31 a	49,00 a
		Média	2,32 B	49,01 A	59,05 B	0,28 A	47,87 A
GX	Sem aplicação	S/ Est.	2,42 a	18,62 b	45,59 b	0,24 b	43,50 a
		C/ Est.	2,46 a	44,33 a	51,95 a	0,38 a	35,50 b
		Média	2,44 B	31,48 B	48,77 A	0,31 A	39,50 C
	Calcário	S/ Est.	2,78 a	29,57 b	47,16 a	0,28 b	54,25 a
		C/ Est.	2,68 a	51,47 a	49,53 a	0,37 a	38,00 b
		Média	2,728 A	40,52 A	48,35 A	0,33 A	46,12 B
	Gesso	S/ Est.	2,57 a	21,71 b	45,70 b	0,20 b	64,75 a
		C/ Est.	2,65 a	38,47 a	51,72 a	0,28 a	48,50 b
		Média	2,61 A	30,09 B	48,71 A	0,243 B	56,62 A
GM	Sem aplicação	S/ Est.	2,20 b	36,48 b	50,82 b	0,26 b	43,00 a
		C/ Est.	2,46 a	44,82 a	57,75 a	0,35 a	45,50 a
		Média	2,33 A	40,65 A	54,28 A	0,30 A	44,25 B
	Calcário	S/ Est.	2,52 a	32,04 b	53,33 b	0,25 b	40,75 b
		C/ Est.	2,34 a	43,79 a	62,45 a	0,34 a	47,25 a
		Média	2,44 A	37,91 A	57,89 A	0,30 A	44,00 B
	Gesso	S/ Est.	1,78 a	30,78 b	56,58 a	0,18 a	51,25 a
		C/ Est.	1,73 a	39,50 a	57,72 a	0,23 a	46,75 a
		Média	1,76 B	35,14 A	57,15 A	0,21 B	49,00 A
OY	Sem aplicação	S/ Est.	2,07 b	24,44 b	39,13 b	0,20 b	31,00 b
		C/ Est.	2,54 a	40,75 a	62,56 a	0,37 a	40,50 a
		Média	2,30 A	32,59 B	50,85 B	0,285 A	35,75 B
	Calcário	S/ Est.	2,00 a	33,79 a	46,93 b	0,26 b	34,75 a
		C/ Est.	2,14 a	36,93 a	71,92 a	0,34 a	37,00 a
		Média	2,07 B	35,36 B	59,43 A	0,30 A	35,87 B
	Gesso	S/ Est.	2,18 a	31,14 b	40,57 b	0,17 b	34,75 b
		C/ Est.	2,16 a	55,06 a	62,01 a	0,32 a	42,00 a
		Média	2,17 B	43,10 A	51,29 B	0,25 B	38,37 A

Letras minúsculas comparam os tratamentos com e sem resíduo, dentro de cada solo e prática de correção, enquanto letras maiúsculas comparam práticas de correção, dentro de cada solo, independentemente da aplicação de resíduo.

Para os solos GM e OY, os maiores teores foliares foram observados somente com aplicação de esterco de curral curtido e sem aplicação de calcário e gesso. Para o solo GX, não foi observada variação significativa entre aplicação de esterco de curral e aplicação de calcário e gesso.

Todos os valores de P foliar observados para todos os tratamentos, independentemente dos solos, estão dentro da faixa encontrada por Mariano (1999) para arroz inundado nas mesmas classes de solo estudadas neste trabalho.

A variação dos teores foliares de P nas plantas de arroz foi influenciada apenas pela aplicação de esterco de curral curtido, independentemente da aplicação de calcário e gesso, provavelmente, pelo aumento da disponibilidade de P, para as plantas, proporcionado pelo esterco de curral curtido, que também forneceu P quando misturado ao solo (Quadro 2). Haynes (1984) afirmou que o solo pode adsorver ácidos orgânicos provenientes da decomposição de resíduos orgânicos, que irão competir com os sítios de adsorção de P e, dessa forma, aumentar sua disponibilidade para as plantas. Segundo Novais & Smith (1999), independentemente da competição entre as plantas e o solo pelo P aplicado, as primeiras tendem a ajustar-se à quantidade de P disponível a elas.

A produção de matéria seca de grãos (MSGR) foi maior para todos os solos com a aplicação de esterco de curral curtido, independentemente da aplicação de calcário e gesso, com exceção do solo OY, quando da aplicação de calcário (Quadro 4). Considerando somente a produção nos solos com aplicação de resíduo e sem aplicação de calcário e gesso, o incremento da produção de grãos foi de, aproximadamente, 177, 138, 29 e 67 %, para os solos RU, GX, GM e OY, respectivamente. Nos tratamentos com aplicação de calcário e gesso, o incremento também foi positivo para todos os solos, mas com menor magnitude.

Com relação aos tratamentos com calcário e gesso, independentemente da aplicação de esterco, as maiores produções de grão foram obtidas com a aplicação de gesso nos solos RU e OU, de calcário no solo GX, enquanto que no solo GM não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Para todos os solos, independentemente da aplicação de gesso e calcário, a produção de matéria seca de parte aérea (MSPA) foi maior nos tratamentos que receberam esterco de curral curtido, exceto nos solos GX com calcário e GM com gesso (Quadro 4). A adição de esterco de curral curtido, provavelmente, reduziu a adsorção de P pelo solo, disponibilizando-o para a planta, além do P disponibilizado pela mineralização do esterco. As maiores produções de MSPA foram obtidas para os solos RU e OY com a aplicação de calcário, não se observando diferença de produção nos solos GX e GM com e sem aplicação

de calcário e gesso. Segundo Barbosa Filho et al. (1987), além de a inundação elevar o pH do solo, o que impede a ação do Al tóxico, pode ocorrer resposta à calagem em solos ácidos com baixos teores de Ca e Mg.

A quantidade de P acumulado pela planta de arroz (P-Acumulado) no final do ciclo foi significativamente maior com a aplicação de esterco em todos os solos, com exceção para o solo GM com a aplicação de gesso (Quadro 4). Os tratamentos não mostraram diferenças significativas para o solo RU; todavia, para os solos GX, GM e OY, mostraram menores valores com a aplicação de gesso. Ao ser inundado e estabelecida a condição de redução ocorreu, provavelmente, um aumento da disponibilidade de P, o que pode explicar a falta de resposta do arroz inundado à aplicação deste nutriente.

Com relação ao número de perfilhos, a aplicação de esterco, independentemente do tratamento de aplicação de calcário e gesso, não mostrou, em nenhum dos solos estudados, tendência definida (Quadro 4). Segundo Barbosa Filho (1987), o P tem papel fundamental no perfilhamento do arroz e, com isso, no número de panículas e na produtividade da cultura. Esse fato não foi verificado no presente trabalho, visto que os tratamentos com esterco promoveram maior disponibilidade de P pelos extratores (Quadro 3), maiores teores de P-foliar e produções de MSGR e MSPA. (Quadro 4). Já a aplicação de gesso, com ou sem esterco de curral curtido, promoveu maior perfilhamento do arroz em todos os solos, à exceção do RU. Provavelmente, o sulfato aplicado em forma de gesso liberou maior quantidade de P para a solução do solo pela imobilização do Fe em forma de FeS (Ponnamperuma, 1972).

Segundo Patrick Junior & Mahapatra (1968), a inundação do solo causa diversas alterações químicas e influencia tanto a transformação quanto a disponibilidade do P original do solo ou daquele aplicado pelos fertilizantes fosfatados. Neste trabalho, avaliou-se a interação solo-P ao estabelecer correlações entre o P disponível pelos extratores, fósforo remanescente e a atividade da fosfatase ácida com as variáveis de produção. Algumas dessas correlações, foram positivas e outras negativas, mas, em nenhum caso, apresentaram significância. A não-significância observada para as correlações entre o P disponível, o P remanescente e a atividade da fosfatase ácida com as variáveis de produção indica que estes métodos, usados nos solos aerados após o cultivo do feijoeiro, não foram eficientes em prever o P disponível para o arroz cultivado posteriormente nos solos inundados.

Pelos resultados do presente trabalho, verificou-se que a inundação do solo, após a retirada da amostra a ser analisada, modificou a dinâmica do P e os resultados obtidos pela análise do solo não refletiram o novo status de P para as plantas. Dessa

forma, novos métodos devem ser estabelecidos, quando se pretender estimar a capacidade de fornecimento de P pelo solo, em condições de inundação.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de calcário e gesso não influenciou, de maneira definida, a disponibilidade, a acumulação de P na planta e a produção de arroz.

2. A aplicação de esterco de curral curtido resultou em maior disponibilidade de P para todos os solos, maiores produções de matéria seca de grãos e parte aérea, acumulação e teores foliares de P nas plantas de arroz.

3. Os extratores Mehlich-1, Resina e Bray-1 e a atividade da fosfatase ácida não foram eficientes para predizer P disponível para o arroz cultivado nos solos de várzea inundados.

LITERATURA CITADA

- ABEKOE, M.K. & SAHRAWAT, K.L. Phosphate retention and extractability in soils of the humid zone in West Africa. *Geoderma*, 102:175-187, 2001.
- ALVAREZ V., V.H. & FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:49-55, 1990.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *B. Inf. SBCS*, 25:27-32, 2000.
- ANDRADE, A.T. Relação da aplicação de resíduo orgânico, calcário e gesso com a adsorção de fósforo e produção do feijoeiro em solos de várzea. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2001. 41p. (Tese de Mestrado)
- AZEVEDO, W.R. Níveis críticos de boro em rabanete cultivado em solos de várzea do sul de Minas Gerais. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999. 53p. (Tese de Mestrado)
- BARBOSA FILHO, M. Nutrição e adubação do arroz (sequeiro e inundado). Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. (Boletim técnico, 9)
- BARBOSA FILHO, M.; KINJO, T. & MURAOKA, T. Relações entre fósforo "extraível", frações inorgânicas de fósforo e crescimento do arroz em função de fontes de fósforo, calagem e tempo de incubação. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:147-155, 1987.
- BRAY, R.P. & KURTZ, L.T. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.*, 59:39-45, 1945.
- DALAL, R.C. Effect of plant growth and addition of plant residues on the phosphatase activity in soil. *Plant Soil*, 66:265-369, 1982.
- DICK, W.A.; JUMA, N.G. & TABATABAI, M.A. Effects of soils on acid phosphatase and inorganic pyrophosphatase of corn roots. *Soil Sci.*, 136:19-25, 1983.
- DUFF, S.M.G.; SARATH, G. & PLAXTON, W.C. The role of acid phosphatases in plant metabolism. *Physiol. Plant.*, 90:791-800, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997. 212p.
- FERNADES L.A.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; GUEDES, G.A.A. & LIMA, J.M. Fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:769-778, 1998.
- FERNANDES, L.A. Formas de alumínio, de fósforo e fosfatase ácida em solos de várzea cultivados com feijoeiro: influência de calagem e fósforo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999. 111p. (Tese de Doutorado)
- FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CURI, N. Frações de fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro cultivadas em solos de várzea. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:561-571, 2000.
- FONTES, M.R.; WEED, S.B. & BOWEN, L.H. Association of microcrystalline goethite and humic acid in some Oxisols from Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:982-990, 1992.
- FORNASIERI FILHO, D. & FORNASIERI, J.L. Manual da cultura do arroz. Jaboticabal, FUNEP, 1993. 221p.
- GRANDE, M.A.; CURI, N. & QUAGGIO, J.A. Disponibilidade de fósforo do solo para as plantas. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:45-50, 1986.
- HAYNES, R.J. Lime and phosphate in soil-plant system.. *Adv. Agron.*, 37:249-315, 1984.
- HAYNES, R.J. & SWIFT, R.S. Effects of lime and phosphate additions on changes in enzyme activities, microbial biomass and levels of extractable nitrogen, sulfur and phosphorus in an acid soil. *Biol. Fert. Soil*, 6:153-158, 1988.
- HUE, N.V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. *Soil Sci.*, 152:463-471, 1991.
- LADD, J.N. & BUTLER, J.H.A. Humus-enzyme systems and synthetic organic polymer-enzyme analogs. In: PAUL, E.A. & McLAREN, A.D., eds. *Soil biochemistry*. New York, Marcel Dekker, 1975. p.143-194.
- LINDSAY, W.L. *Chemical equilibria in soils*. New York, John Wiley, 1979. 449p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 210p.
- MAHAPATRA, I.C. & PATRICK Jr., W.H. Inorganic phosphate transformation in waterlogged soils. *Soil Sci.*, 107:281-288, 1969.
- MARIANO, I.O.S. Efeito residual da adubação fosfatada e da calagem, níveis críticos e disponibilidade de fósforo para o arroz em solos inundados. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999. 74p. (Tese de Mestrado)

- McLAREN, A.D. Soil as a system of humus and clay immobilized enzymes. *Chem. Scripta*, 8:97-99, 1975.
- MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. *Comm. Soil Sci. Plant. Anal.*, 9:477-492, 1978.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, N.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clay Clay. Miner.*, 3:317-327, 1960.
- NAHAS, E. Ciclo do fósforo: transformações microbianas. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 67p.
- NAHAS, E.; CENTURION, J.F. & ASSIS, L.C. Efeito das características dos solos sobre os microrganismos solubilizadores de fosfatos e produtores de fosfatases. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:43-48, 1994.
- NOVAIS, R.R. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 1999. 399p.
- OLSEN, S.R. & SOMMERS, L.E. Phosphorus. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KENNEY, D.R., eds. *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. 2.ed. Madison, ASA, 1982. p.403-427.
- PATRICK, Jr., W.H. & MAHAPATRA, I.C. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soil. *Adv. Agron.*, 20:323-359, 1968.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.*, 24:29-96, 1972.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, POTAFOS, 1991. 343p.
- SANYAL, S. & De DATTA, S. Chemistry of phosphorus transformations in soil. *Adv. Soil Sci.*, 16:2-120. 1991.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEAUX, P.; LIMA, J.M. & CARVALHO, A.M.. Rotação adubo verde – milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:649-654, 1997.
- SPEIR, T.W. & ROSS, D.J. Soil phosphatase and sulphatase. In: BURNS, R.G. ed. *Soil enzymes*. London, Academic Press, 1978. p.197-250.
- TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Use of p-nitrofenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Bioch.*, 1:301-307, 1969.