

# ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS DE VÁRZEA DO ESTADO DE MINAS GERAIS<sup>(1)</sup>

L. R. G. GUILHERME<sup>(2)</sup>, N. CURTI<sup>(2)</sup>, M. L. N. SILVA<sup>(2)</sup>,  
N. B. RENÓ<sup>(3)</sup> & R. A. F. MACHADO<sup>(4)</sup>

## RESUMO

Realizou-se o presente estudo com amostras da camada superficial (0-20 cm) de onze solos de várzea de diferentes regiões do estado de Minas Gerais, visando quantificar a adsorção de fósforo em solos de várzeas drenadas, sujeitas a ciclos alternados de umedecimento e secagem, bem como avaliar a influência de alguns atributos do solo sobre esta adsorção. Amostras da fração TFSA (2 g) foram mantidas em contato, mediante agitação por 12 horas, com soluções de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup> (40 mL), contendo 0, 25, 50, 100 e 200 mg L<sup>-1</sup> de P. O fósforo foi analisado posteriormente no sobrenadante para determinação da quantidade adsorvida. Após isto, descartou-se o sobrenadante para mais 12 h de agitação com solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>, visando determinar a quantidade dessorvida. Os valores de adsorção encontrados foram ajustados à isoterma de Langmuir para avaliar a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAF), tendo sido estimado ainda o índice tampão de P (ITP) a partir do valor do coeficiente  $b_1$  das equações de 2º grau ajustadas entre o P adsorvido e o P dessorvido nas diferentes concentrações de P adicionado. Os valores encontrados para a CMAF situaram-se entre 476 e 3.961 mg kg<sup>-1</sup> de P no solo, tendo oito solos apresentado capacidade de adsorção de P muito alta (> 1.000 mg kg<sup>-1</sup>). Os valores de ITP situaram-se entre 4,3 e 129. A CMAF correlacionou-se positivamente com a relação  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ , teor de matéria orgânica e acidez potencial e negativamente com o teor de  $\text{Fe}_d$  e com a saturação por bases do solo. O ITP correlacionou-se positivamente com a acidez potencial e negativamente com a saturação por bases do solo. Os resultados deste estudo revelaram que: (a) solos de várzeas drenadas podem adsorver grandes quantidades de fósforo, dos quais a maioria apresenta capacidade máxima de adsorção de fósforo enquadrada nas classes alta (500 a 1.000 mg kg<sup>-1</sup>) e muito alta (> 1.000 mg kg<sup>-1</sup>); (b) solos de várzea com maiores valores de capacidade máxima de adsorção de fósforo e índice tampão de P apresentam menor dessorção percentual desse nutriente para a solução do solo; (c) o atributo que se correlaciona mais diretamente com a capacidade máxima de adsorção e o índice tampão de fósforo dos solos de várzea estudados é a acidez potencial.

**Termos de indexação:** capacidade máxima de adsorção de fósforo, dessorção, índice tampão de fósforo, várzeas drenadas.

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em junho de 1999 e aprovado em dezembro de 1999.

<sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: guilherm@ufla.br; niltcuri@ufla.br; marx@ufla.br

<sup>(3)</sup> Aluno do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da UFLA. Bolsista do CNPq.

<sup>(4)</sup> Aluno do Curso de Graduação em Agronomia da UFLA. Bolsista do CNPq.

**SUMMARY: PHOSPHORUS ADSORPTION IN LOWLAND SOILS FROM MINAS GERAIS STATE, BRAZIL**

Surface-layer samples (0 to 20 cm) of eleven lowland soils from different regions of Minas Gerais, Brazil, were used to quantify phosphorus adsorption in soils of drained lowland areas, originally under alternate wetting and drying cycles, as well as to verify the influence of some soil attributes on this adsorption. Air-dried samples (2 g) of the soil fraction smaller than 2 mm were shaken during 12 hours, with 40 mL of 0.01 mol L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub> solutions containing 0, 25, 50, 100, and 200 mg L<sup>-1</sup> of P. Phosphorus was quantified in the supernatant in order to determine phosphorus adsorption. A new period of 12-hour shaking with 0.01 mol L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub> was performed to determine P desorption. The adsorption values were adjusted to the Langmuir isotherm to estimate the maximum phosphorus adsorption capacity (MPAC). The phosphorus buffer index (PBI) was estimated by using the b<sub>1</sub> coefficient of the 2<sup>nd</sup> degree equations adjusted between adsorbed and desorbed P at different concentrations of added P. The observed values for MPAC ranged from 476 to 3,961 mg kg<sup>-1</sup> of P soil, and PBI ranged from 4.3 to 129. Eight soils presented very high (> 1.000 mg kg<sup>-1</sup>) phosphorus adsorption capacity. The values of MPAC were directly correlated with the Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub> ratio, soil organic matter, and potential acidity and inversely correlated with Fe<sub>d</sub> and base saturation. The values of PBI correlated positively with potential acidity and negatively with base saturation. This study showed that: (a) soils of drained lowland areas might exhibit a great phosphorus adsorption capacity, with most of the soils from this experiment presenting a high (500 a 1.000 mg kg<sup>-1</sup>) and very high (> 1.000 mg kg<sup>-1</sup>) value of phosphorus maximum adsorption capacity; (b) lowland soils that present high phosphorus maximum adsorption capacity and phosphorus buffer index desorb less P (on a fractional basis) to soil solution; (c) potential soil acidity is the attribute that best correlates with phosphorus maximum adsorption capacity and phosphorus buffer index in the studied lowland soils.

*Index terms: maximum phosphorus adsorption capacity, desorption, phosphorus buffer index, drained lowland areas.*

## INTRODUÇÃO

A dinâmica do fósforo em solos de várzea é extremamente influenciada pelos ciclos de umedecimento e secagem a que estão expostos estes solos quando sob cultivo.

Quando um solo é submerso e as condições de redução são estabelecidas, ocorre um aumento na concentração de fósforo solúvel em água e na disponibilidade de P (Moraes, 1973; Mandal & Khan, 1975; Basu, 1977; Guilherme, 1990), o que talvez explique a baixa ou, até mesmo, a falta de resposta do arroz inundado à aplicação de fósforo no solo (Gupta & Singh, 1977; Brandon & Mikkelsen, 1983). Segundo Ponnampereuma (1972), o aumento da disponibilidade de fósforo em solos ácidos, quando inundados, resulta de: (a) hidrólise dos fosfatos de Fe<sup>3+</sup> e de Al<sup>3+</sup>; (b) liberação do fósforo ligado por troca iônica às argilas silicatadas e óxidos (termo inclusivo para óxidos, oxidróxidos e hidróxidos) de Fe<sup>3+</sup> e Al<sup>3+</sup>, e (c) redução do Fe<sup>3+</sup> a Fe<sup>2+</sup> com liberação do fósforo adsorvido ou quimicamente ligado. Os dois primeiros mecanismos ocorrem em decorrência do aumento do pH, ocasionado pela redução do solo. Com a

inundação, os fosfatos de alumínio, estáveis em pH baixo, dissociam-se a partir de pH 5,3, liberando íons HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> para a solução do solo. Adicionalmente, o aumento do pH resulta na diminuição das cargas positivas dos colóides do solo, com diminuição da adsorção de ânions e, conseqüentemente, aumento da concentração de íons HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> na solução do solo (Pavan & Miyazawa, 1983).

Embora, em muitos casos, tenham sido observados aumentos na disponibilidade de fósforo com a inundação, esta situação se reverte completamente com a drenagem posterior do solo, causando sérios problemas nutricionais para as culturas subseqüentes (Brandon & Mikkelsen, 1979, 1983). Willett (1979) verificou que o decréscimo da disponibilidade de fósforo no solo, para culturas subseqüentes ao arroz sob inundação, estava associado ao aumento na adsorção de fósforo ocasionado pela inundação e drenagem alternadas. Esse autor observou que, juntamente com o aumento da capacidade máxima de adsorção de fósforo, havia aumento nos teores de ferro extraíveis pelo oxalato, em solos previamente inundados, indicando que os óxidos de ferro destes solos eram de menor grau de

cristalinidade que naqueles não inundados. Willett & Higgins (1980) observaram que, embora os teores de ferro extraíveis pelo oxalato, bem como a adsorção de fósforo (acompanhados da oxidação dos óxidos de ferro), sofressem rápido declínio com a drenagem, os níveis não retornavam àqueles existentes antes da inundação. Segundo esses autores, os óxidos de ferro (3+) neoformados após a drenagem do solo eram, em comparação àqueles existentes antes da inundação, mais facilmente extraíveis pelo oxalato e, portanto, de menor grau de cristalinidade e mais hábeis em adsorver fósforo.

A redução biológica do ferro durante o período de inundação, seguida por sua reoxidação durante o período de secagem, resulta no aumento da reatividade da fração de óxidos do solo, levando ao aumento da capacidade de adsorção de fósforo (Alva et al., 1980). Nestas condições, tem-se verificado que o efeito do aumento do pH, com a inundação, no aumento da disponibilidade de fósforo passa a ser superado pelo efeito dos ciclos de redução e oxidação no aumento da reatividade dos óxidos. Essa maior reatividade favorece maior adsorção de fósforo, exceção feita apenas nos casos de solos adubados recentemente, onde o fósforo ainda pode se encontrar em formas prontamente extraíveis (Willett, 1990).

Visando quantificar a adsorção de fósforo em solos de várzeas drenadas sujeitas a ciclos alternados de umedecimento e secagem, bem como avaliar a influência de alguns atributos do solo sobre esta adsorção, realizou-se o presente estudo com amostras de onze solos de várzea de diferentes regiões do estado de Minas Gerais.

**MATERIAL E MÉTODOS**

Foram utilizadas amostras da camada superficial (0-20 cm) de onze solos de várzea sujeitos a inundação e drenagem alternadas, procedentes de diversas regiões do estado de Minas Gerais, previamente escolhidas, visando à obtenção de ampla variabilidade no que diz respeito a atributos físicos e químicos, sobretudo textura do solo e teor de matéria orgânica. Amostras da fração terra fina seca ao ar (TFSA) dos diferentes solos foram caracterizadas química e fisicamente, segundo Vettori (1969), com modificações (EMBRAPA, 1979). Na fração de solo < 0,53 mm (sem remoção de matéria orgânica), procedeu-se à determinação do ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato (Fe<sub>d</sub>) e por oxalato de amônio (Fe<sub>o</sub>), conforme Mehra & Jackson (1960) e Schwertmann (1964), respectivamente, realizando-se duas extrações no primeiro caso e uma no segundo. Os resultados dessas análises, bem como a classificação e a localização dos solos estudados, encontram-se nos quadros 1 e 2.

Para determinar a adsorção, 2 g de TFSA dos diferentes solos foram mantidos em contato, mediante agitação por 12 horas, com soluções de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> (40 mL), contendo 0, 25, 50, 100 e 200 mg L<sup>-1</sup> de P. O fósforo foi analisado posteriormente no sobrenadante (Murphy & Riley, 1962), para avaliação da quantidade adsorvida. Após isto, descartou-se o sobrenadante para mais 12 horas de agitação com solução CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, visando determinar a quantidade dessorvida. Todas as análises foram realizadas em triplicata. Os valores

**Quadro 1. Classificação, localização e atributos referentes ao complexo sortivo e pH em água da camada superficial (0-20 cm) de onze solos de várzea do estado de Minas Gerais**

Solo	Classificação	Localização	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Al	K	S <sup>(1)</sup>	t <sup>(2)</sup>	H + Al	T <sup>(3)</sup>	V <sup>(4)</sup>	m <sup>(5)</sup>
1	Solo Orgânico (O)	Careaçu	5,4	61	23	3	2,4	86,4	89,4	138	224,4	39	3
2	Glei Húmico (GH)	Careaçu	5,5	52	15	3	2,6	69,6	72,6	102	171,6	41	4
3	Solo Aluvial (A)	Pavão	5,3	24	3	3	1,5	28,5	31,5	54	82,5	35	10
4	Cambissolo (C)	Varginha	5,5	21	4	4	3,0	28,0	32,0	36	64,0	44	13
5	Glei Pouco Húmico (GP)	Curvelo	5,3	60	8	3	3,6	71,6	74,6	63	134,6	53	4
6	Solo Aluvial (A)	Careaçu	5,5	36	4	1	3,9	43,9	44,9	33	76,9	57	2
7	Solo Aluvial (A)	Careaçu	5,7	26	12	1	2,7	40,7	41,7	30	70,7	58	2
8	Glei Húmico (GH)	Lavras	5,8	7	2	15	1,2	10,2	25,2	153	163,2	6	60
9	Solo Orgânico (O) <sup>(6)</sup>	Lavras	5,9	14	11	12	1,8	26,8	38,8	110	136,8	20	31
10	Glei Húmico (GH)	São Seb. Paraíso	5,6	5	2	8	0,8	7,8	15,8	110	117,8	7	51
11	Glei Húmico (GH)	São Seb. Paraíso	5,5	7	2	11	1,0	10,0	21,0	137	147,0	7	52

<sup>(1)</sup> S = soma de bases. <sup>(2)</sup> t = CTC efetiva. <sup>(3)</sup> T = CTC a pH 7,0. <sup>(4)</sup> V = saturação por bases da CTC a pH 7,0. <sup>(5)</sup> m = saturação por alumínio da CTC efetiva. <sup>(6)</sup> artificialmente drenado.

**Quadro 2. Atributos químicos e físicos da camada superficial (0-20 cm) de onze solos de várzea do estado de Minas Gerais**

Solo	P <sup>(1)</sup>	MO <sup>(2)</sup>	Fe <sub>o</sub> <sup>(3)</sup>	Fe <sub>d</sub> <sup>(4)</sup>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Areia	Silte	Argila
Nº (classe)	mg dm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>				g kg <sup>-1</sup>		
1 (O)	37	295	3,4	5,1	0,667	110	350	540
2 (GH)	60	189	6,9	9,5	0,726	120	300	580
3 (A)	21	30	5,4	29,1	0,186	140	250	610
4 (C)	14	21	5,9	33,8	0,175	710	110	180
5 (GP)	29	46	6,7	32,1	0,209	110	510	380
6 (A)	23	21	5,2	54,9	0,095	190	370	440
7 (A)	15	26	2,6	40,7	0,064	150	130	720
8 (GH)	5	209	2,4	5,7	0,421	240	390	370
9 (O) <sup>(5)</sup>	4	51	13,6	35,7	0,381	120	570	310
10 (GH)	2	153	4,9	14,6	0,336	120	270	610
11 (GH)	2	203	6,4	14,0	0,457	40	300	660

<sup>(1)</sup> P = fósforo extraível por Mehlich-1. <sup>(2)</sup> M.O. = matéria orgânica. <sup>(3)</sup> Fe<sub>o</sub> = ferro extraível por oxalato ácido de amônio. <sup>(4)</sup> Fe<sub>d</sub> = ferro extraível por ditionito-citrato-bicarbonato. <sup>(5)</sup> artificialmente drenado.

de adsorção encontrados foram ajustados à equação de Langmuir para avaliar a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAF) (Syers et al., 1973; Rajan & Fox, 1975). Estimou-se ainda o índice tampão de P (ITP) a partir dos valores dos coeficientes  $b_1$  das equações de 2º grau ajustadas entre o P adsorvido e o P desorvido nas diferentes concentrações de P adicionado para cada solo, à semelhança do estabelecido por Accioly et al. (1985) para enxofre. Correlações de Pearson foram estabelecidas entre CMAF e ITP com alguns atributos químicos e físicos dos diferentes solos, para verificar a influência desses atributos sobre a adsorção de fósforo nestes solos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das determinações de capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAF) e índice tampão de P (ITP) variaram bastante (Quadro 3), acompanhando a diversidade de atributos dos solos estudados (Quadros 1 e 2). Mesmo para condições de pH não muito diferentes, a amplitude de variação de CMAF e ITP foi substancial. Embora, em geral, os valores de adsorção tendessem a se estabilizar com o aumento da concentração de P adicionado, vale ressaltar que, para os solos 1, 2, 8, 10 e 11, a tendência de aumento da adsorção se manteve mesmo com a adição de 200 mg L<sup>-1</sup> de P solução (4.000 mg kg<sup>-1</sup> de P no solo), revelando o grande potencial de adsorção de P destes solos (Figura 1).

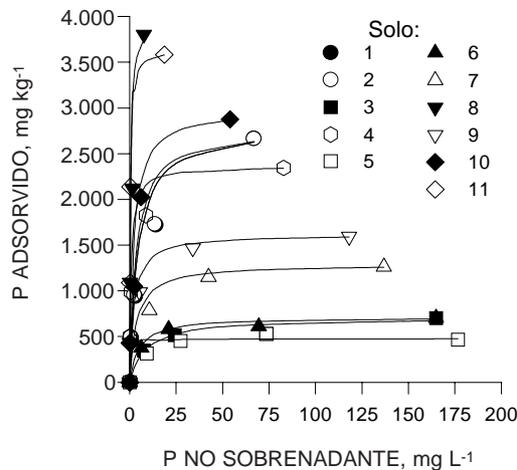
Adotando, como referência, a classificação proposta por Juo & Fox (1977) para adsorção de P

em solos tropicais, ter-se-ia a maior parte dos solos em estudo nas classes de alta (500 a 1.000 mg kg<sup>-1</sup>) e muito alta (> 1.000 mg kg<sup>-1</sup>) capacidade máxima de adsorção, o que pode estar relacionado com o fato de os ciclos alternados de umedecimento e secagem aumentarem a reatividade dos óxidos de Fe nesses solos (Willett, 1979; Alva et al., 1980; Willett &

**Quadro 3. Capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAF) e índice tampão de P (ITP) em amostras (0-20 cm) de onze solos de várzea de Minas Gerais**

Solo	CMAF	ITP <sup>(1)</sup>
Nº (classe)	mg kg <sup>-1</sup> de P no solo	mg kg <sup>-1</sup> /mg kg <sup>-1</sup>
1 (O)	2.794	17,9
2 (GH)	2.765	20,1
3 (A)	707	4,3
4 (C)	2.362	25,0
5 (GP)	476	4,8
6 (A)	711	5,2
7 (A)	1.290	8,9
8 (GH)	3.961	129,2
9 (O)	1.617	19,2
10 (GH)	2.982	31,8
11 (GH)	3.642	120,2

<sup>(1)</sup> Coeficiente linear ( $b_1$ ) da equação de 2º grau entre P adsorvido e P desorvido - significativo a 5%.



**Figura 1. Relação entre fósforo adsorvido e fósforo no sobrenadante em onze solos de várzea de Minas Gerais. (Dados ajustados à equação de Langmuir - coeficientes de determinação significativos a 1%; 1 = Solo Orgânico, 2 = Gleí Húmico, 3 = Solo Aluvial, 4 = Cambissolo, 5 = Gleí Pouco Húmico, 6 = Solo Aluvial, 7 = Solo Aluvial, 8 = Gleí Húmico, 9 = Solo Orgânico, 10 = Gleí Húmico, 11 = Gleí Húmico ).**

Higgins, 1980; Willett, 1990). A correlação positiva observada entre CMAF e relação  $Fe_o/Fe_d$  parece corroborar tal comportamento (Quadro 4, Figura 2), muito embora o valor do coeficiente de correlação com esta variável não tenha sido elevado. O menor grau de cristalinidade dos óxidos de Fe, expresso por maiores valores da relação  $Fe_o/Fe_d$  (Kämpf, 1988), resulta em maior reatividade dos óxidos e, conseqüentemente, em maior adsorção de fósforo.

À semelhança do que foi observado por Kämpf & Dick (1984), relações  $Fe_o/Fe_d$  elevadas estiveram relacionadas com maiores teores de matéria orgânica ( $Fe_o/Fe_d = 0,1199 + 0,0019 MO$  (MO em  $g\ kg^{-1}$ );  $r = 0,87$ ;  $P < 0,01$ ) (Quadro 2), a qual tende a inibir a cristalização dos óxidos de Fe, impedindo a transformação da feridrita em substâncias mais bem cristalizadas (Schwertmann & Taylor, 1977).

A correlação positiva encontrada entre a CMAF e o teor de matéria orgânica do solo reforça a importância desta como fonte de elétrons para as reações de redução do Fe (Pavan & Miyazawa, 1983), as quais podem levar ao aumento da fração de óxidos de Fe de menor grau de cristalinidade no solo, com conseqüente maior capacidade de adsorção de ânions. Alia-se a isto o fato de que, neste processo, a matéria orgânica desses solos, após desestabilizada, pode liberar grande parte do ferro retido na forma de complexos orgânicos (Schwertmann, 1964; Wang, 1978), o que também poderá contribuir para o incremento da fração de óxidos de Fe de maior reatividade.

**Quadro 4. Coeficientes de correlação linear simples entre capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAF) e índice tampão de P (ITP) com alguns atributos químicos e físicos da camada superficial (0-20 cm) de onze solos de várzea de Minas Gerais**

Atributo	Coeficiente de correlação (r)	
	CMAF	ITP
$Fe_o$	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,20 <sup>ns</sup>
$Fe_d$	-0,81 <sup>**</sup>	-0,55 <sup>ns</sup>
$Fe_o/Fe_d$	0,65 <sup>*</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
Argila	0,07 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
Matéria orgânica	0,79 <sup>**</sup>	0,53 <sup>ns</sup>
CTC a pH 7,0	0,54 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
Acidez potencial, H + Al	0,79 <sup>**</sup>	0,69 <sup>*</sup>
Saturação por bases, V	-0,74 <sup>**</sup>	-0,74 <sup>**</sup>

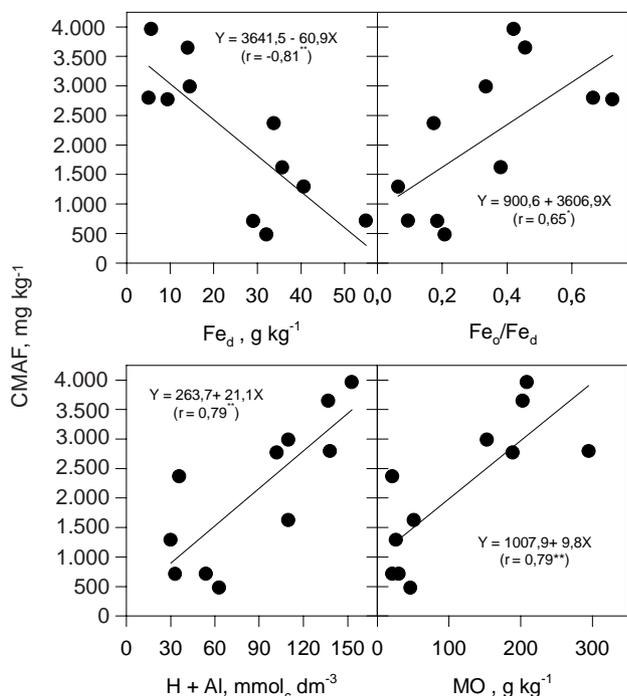
<sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>ns</sup> significativos a 5 e 1% e não-significativo a 5%.

Correlações negativas encontradas para saturação por bases e para  $Fe_d$  indicam uma relação inversa entre esses parâmetros e a CMAF. No caso do  $Fe_d$ , embora isto não seja esperado, tem-se observado para condições de solos oxigenados (Curi & Franzmeier, 1984; Souza et al., 1991) que, no processo de adsorção de fósforo, o teor de Fe é menos importante que a reatividade dos óxidos.

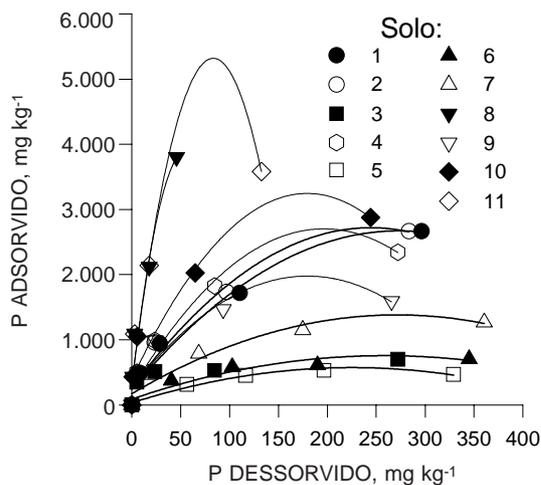
Altos valores de acidez potencial (H + Al) também estiveram relacionados com maiores CMAF. É possível que isto esteja relacionado com um aumento da capacidade de retenção do  $Fe^{2+}$  no sistema (Breemen, 1985), graças ao aumento de pH provocado pela inundação (Ponnamperuma, 1972), com conseqüente geração de cargas negativas. O  $Fe^{2+}$  retido poderia, após a drenagem, ser rapidamente oxidado, levando à maior capacidade de adsorção de P nos solos.

É bem provável que, sob condições de amostras secas ao ar, tanto a adsorção de P nas superfícies sólidas dos óxidos como também a precipitação de fosfatos de Fe (Mello et al., 1992) possam contribuir para reduzir a concentração de fósforo em solução. Tal hipótese encontra respaldo nos estudos sobre efeito das condições redox no equilíbrio químico de fosfatos de Fe, desenvolvidos por Lindsay (1979). Vale ressaltar que, neste trabalho, a distinção entre adsorção e precipitação não foi feita, pois a quantidade dita adsorvida foi estimada apenas com base na diferença de concentração entre o P adicionado e aquele remanescente no sobrenadante.

Em associação aos aumentos da CMAF, foram observados incrementos no índice tampão de fósforo (ITP) ( $CMAF = 1.359,58 + 21,60 ITP$ ;  $r = 0,80$ ;  $P < 0,01$ ), tendo o maior valor encontrado para esta



**Figura 2.** Relação entre capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAF) e alguns atributos da camada superficial (0-20 cm) de onze solos de várzea de Minas Gerais (\*, \*\* significativos a 5 e 1%).

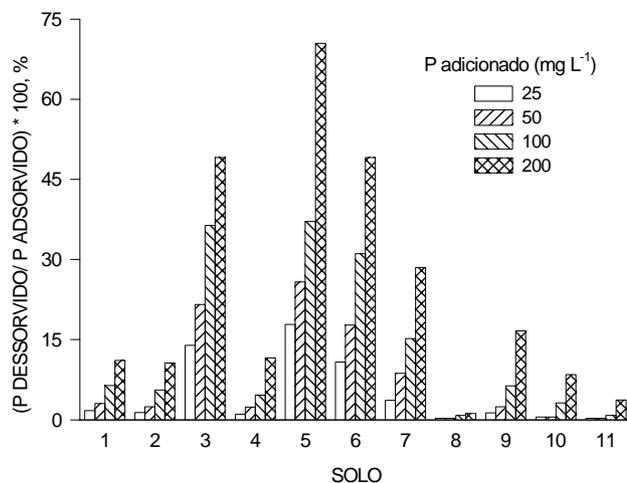


**Figura 3.** Relação entre fósforo adsorvido e fósforo desorvido, sob diferentes concentrações de fósforo adicionado em onze solos de várzea de Minas Gerais. (Coeficientes  $b_1$  das equações de 2º grau expressam o índice tampão de fósforo, conforme constante do quadro 3; 1 = Solo Orgânico, 2 = Glei Húmico, 3 = Solo Aluvial, 4 = Cambissolo, 5 = Glei Pouco Húmico, 6 = Solo Aluvial, 7 = Solo Aluvial, 8 = Glei Húmico, 9 = Solo Orgânico, 10 = Glei Húmico, 11 = Glei Húmico).

determinação (129,2 no solo 8) correspondido ao maior valor observado para a CMAF (Quadro 3). As relações entre os valores de P adsorvido e P desorvido nas diferentes concentrações de P adicionado (Figura 3) ilustram melhor este aspecto, visto que maiores inclinações das curvas corresponderam, em geral, a maiores CMAF. Também para o ITP foram observadas correlações positivas com acidez potencial e correlações negativas com saturação por bases (Quadro 4).

Como uma tendência geral, solos com maiores valores de CMAF e ITP apresentaram, também, menor desorção percentual de fósforo, expressa pela razão entre P desorvido e P adsorvido nas diferentes concentrações de P adicionado (Figura 4). Isto demonstra que, adicionalmente à maior capacidade de retenção de fósforo, solos de várzea com maiores CMAF e ITP apresentam também menor capacidade de desorção do P retido para a solução do solo.

É importante ressaltar que os mecanismos aqui discutidos, embora sejam registrados de maneira mais acentuada sob condições de solos de várzeas drenadas sujeitas previamente a ciclos alternados de umedecimento e secagem, também são passíveis de ocorrência na rizosfera oxidada do arroz (Alva et al., 1980). Desta maneira, não só as culturas subsequentes sob condições de sequeiro, mas também aquelas sob inundação, poderão estar sujeitas a condições momentâneas de queda da disponibilidade de fósforo no solo, conforme discutido por Guilherme (1990) e por Mello et al. (1992).



**Figura 4.** Desorção percentual de fósforo (100 x P desorvido/P adsorvido) sob diferentes concentrações de fósforo adicionado em onze solos de várzea de Minas Gerais. (1 = Solo Orgânico, 2 = Glei Húmico, 3 = Solo Aluvial, 4 = Cambissolo, 5 = Glei Pouco Húmico, 6 = Solo Aluvial, 7 = Solo Aluvial, 8 = Glei Húmico, 9 = Solo Orgânico, 10 = Glei Húmico, 11 = Glei Húmico).

### CONCLUSÕES

1. A maioria dos solos de várzea estudados apresenta capacidade máxima de adsorção de fósforo enquadrada na classe alta (500 a 1.000 mg kg<sup>-1</sup>) e muito alta (> 1.000 mg kg<sup>-1</sup>).

2. Solos de várzea com maiores valores de capacidade máxima de adsorção de fósforo e índice tampão de P apresentam menor dessorção percentual desse nutriente para a solução do solo.

3. O atributo que se correlaciona mais diretamente com a capacidade máxima de adsorção e o índice tampão de fósforo dos solos de várzea estudados é a acidez potencial.

### LITERATURA CITADA

- ACCIOLY, L.J.O.; DAL BÓ, M.A.; ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Método para determinação do potencial de sulfato em solos. R. Bras. Ci. Solo, 9:103-106, 1985.
- ALVA, A.K.; LARSEN, S. & BILLE, S.W. The influence of rhizosphere in rice crop on resin-extractable phosphate in flooded soils at various levels of phosphate applications. Plant Soil, 56:17-25, 1980.
- BASU, S.N. Effect of organic matter and initial pH value on phosphorus availability of submerged soil. Fert. Tech. Sindri, 14:376-378, 1977.
- BRANDON, D.M. & MIKKELSEN, D.S. Flooding and draining rice soils influences P availability to crops. Better Crops Plant Food, 67:28-29, 1983.
- BRANDON, D.M. & MIKKELSEN, D.S. Phosphorus transformations in alternately flooded California soils: I. Cause of plant phosphorus deficiency in rice rotation crops and correctional methods. Soil Sci. Soc. Am. J., 43:989-994, 1979.
- BREEMEN, N. Van. Long-term chemical, mineralogical, and morphological effects of iron-redox processes in periodically flooded soils. In: STUCKI, J.W.; GOODMAN, B.A. & SCHWERTMANN, U., eds. Iron in soils and clay minerals. Germany, Bad Windsheim, 1985. p.715-748. (NATO Ad. Study Institute)
- CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:341-346, 1984.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.
- GUILHERME, L.R.G. Calagem e inundação em solos de várzea cultivados com arroz: alterações em pH, nitrogênio, fósforo e enxofre. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1990. 113p. (Tese de Mestrado)
- GUPTA, R.K. & SINGH, T.A. Interrelationships among labile phosphorus kinetics, phosphate potentials and fertilizer response of rice in subhimalayan soil. Agrochimica, 21:123-133, 1977.
- JUO, A.S.R. & FOX, R.L. Phosphate sorption capacity of some benchmark soils in West Africa. Soil Sci., 124:370-376, 1977.
- KÄMPF, N. O ferro no solo. In: BARBOSA FILHO, M.P., coord. REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1, Goiânia, 1988. Anais. Goiânia, EMBRAPA-CNPAP, 1988. p.35-71.
- KÄMPF, N. & DICK, D.P. Óxidos de ferro em cambissolos bruno no Rio Grande do Sul e Sul de Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 8:183-188, 1984.
- LINDSAY, W.L. Chemical equilibria in soils. New York, John Wiley & Sons, 1979. 449p.
- MANDAL, L.N. & KHAN, S.K. Influence of soil moisture regimes on transformation of inorganic phosphorus in rice soils. J. Ind. Soc. Soil Sci., 21:31-37, 1975.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. Clays Clay Miner., 7:317-327, 1960.
- MELLO, J.W.V.; FONTES, M.P.F.; RIBEIRO, A.C. & NOVAIS, R.F. Inundação e calagem em solos de várzea: II. Adsorção/precipitação de fosfatos. R. Bras. Ci. Solo, 16:319-324, 1992.
- MORAES, J.F.V. Efeitos da inundação do solo. I. Influência sobre o pH, o potencial de óxido-redução e a disponibilidade do fósforo no solo. Pesq. Agropec. Bras., 8:93-101, 1973.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, 27:31-36, 1962.
- PAVAN, M.A. & MIYAZAWA, M. Química de solos inundados. Londrina, IAPAR, 1983. Separata de Treinamento em arroz irrigado e alternativas agrícolas em várzeas. Londrina, IAPAR, 1983. p.5-20.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron., 24:29-96, 1972.
- RAJAN, S.S.S. & FOX, R.L. Phosphate adsorption by soils: II. Reactions in tropical acid soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39:846-851, 1975.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraktion mit ammoniumoxalat-losung. Z. Pflanzenernähr Bodenkd, 105:194-202, 1964.
- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1977. p.145-180.
- SOUZA, J.A.; CURI, N. & GUEDES, G.A.A. Relação entre mineralogia e adsorção-dessorção de fósforo em alguns Latossolos sob cerrado do Planalto Central. Ci. Prat., 15:103-111, 1991.

- SYERS, J.K.; BROWMAN, M.G.; SAMILLE, G.W. & COREY, R.B. Phosphate sorption by soils evaluated by the Langmuir adsorption equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37:358-363, 1973.
- VETTORI, L. Métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim técnico, 7)
- WANG, C. Extractable Al, Fe and Mn. In: McKEAGUE, J.A., ed. Manual on soil sampling and methods of analysis. 2. ed. Ottawa, Canadian Society of Soil Science, 1978. p.98-108.
- WILLETT, I.R. An overview of redox reactions in relation to the surface chemistry of soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 14., Kioto, 1990. Transactions. Kioto, International Society of Soil Science, 1990. v.2. p.38-43.
- WILLETT, I.R. The effects of flooding for rice culture on soil chemical properties and subsequent maize growth. *Plant Soil*, 52:373-383, 1979.
- WILLETT, I.R. & HIGGINS, M.L. Phosphate sorption and extractable iron in soils during irrigated rice-upland crop rotations. *Austr. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 20:346-353, 1980.