

Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará¹

Phosphorus adsorption in Ceará State soils, Brazil

Fátima Lorena Magalhães Moreira², Francisco Ocian Bastos Mota³, Celso Augusto Clemente⁴, Benito Moreira de Azevedo⁵ e Guilherme Vieira do Bomfim⁶

Resumo - Amostras da camada arável (0-20 cm) de quatro solos (Cambissolo, Argissolo, Neossolo e Latossolo), de diferentes regiões do Estado do Ceará, foram utilizadas no presente trabalho, com a finalidade de se determinar a influência de atributos físicos, químicos e mineralógicos sobre a capacidade de adsorção de fósforo, bem como, da fração areia separadamente. Amostras de 1 g de TFSA (terra fina seca ao ar) foram mantidas em contato, mediante agitação por 24 horas, com soluções de CaCl_2 0,01 mol.L⁻¹ (25 mL), aos quais foram adicionados 0; 1; 2; 3,5; 5; 8; 12 e 15 mg de P.kg⁻¹ de solo na forma de KH_2PO_4 . O fósforo foi analisado no sobrenadante para a determinação da quantidade adsorvida. O mesmo procedimento foi adotado para as frações areia e areia lavada, diferindo apenas nas concentrações de fósforo, que foram de 0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 e 3,2 mg de P.kg⁻¹ de solo, com o propósito de se verificar uma possível capacidade de adsorção de fósforo pela fração areia. Para avaliar a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP), os valores de adsorção foram ajustados à isoterma de Langmuir. Os valores da CMAP situaram-se entre 109,89 e 344,83 mg.kg⁻¹ de P no solo. Observou-se que o Cambissolo apresentou a maior capacidade de adsorção de fósforo. Os resultados revelaram que os atributos dos solos mais estreitamente correlacionados com a adsorção de fósforo foram o teor de matéria orgânica e a capacidade de troca de cátions. Verificou-se que a adsorção de fósforo ocorrida na fração areia pode ser atribuída à matéria orgânica ou a resíduos de óxidos de ferro livres presente nas amostras.

Termos para indexação: isoterma de Langmuir, capacidade máxima de adsorção de fósforo, adubação fosfatada.

Abstract - Samples (0-20 cm) from four different soils of the Ceará State, Brazil (Cambissolo, Argissolo, Neossolo, Latossolo), were studied with the objectives of determining the effects of the physical, chemical and mineralogical attributes on the soil phosphorus adsorption capacity. Sand fraction samples were determined separately. The soil samples were mixed with a CaCl_2 0.01M, with addition to 0; 1; 2; 3.5; 5; 8; 12 and 15 mg P.kg⁻¹ soil as KH_2PO_4 and maintained in contact for 24 hours. The phosphorus was analyzed from the supernatant in order to determine the amount of P adsorbed by the soils. The same procedure was used for sand fraction samples, except for changes on phosphorus concentrations: 0; 0.2; 0.4; 0.8; 1.6 e 3.2 mg P.kg⁻¹ soil, to verify a possible phosphorus adsorption capacity of sand fraction. The maximum P adsorption capacity (MPAC) was determined for all soil and fractions through the linear model of the Langmuir equation. The MPAC values ranged from 109.89 to 344.83 mg P.Kg⁻¹ soil. The highest MPAC value was for the Haplic Cambisol soil. The results showed that the soil attributes closest correlated with the soil MPAC were soil organic matter content and the soil cation exchangeable capacity. Significant correlations were, also, found between the MPAC and the soil contents of amorphous iron oxides, crystalline iron oxides and total iron. It was found out that iron adsorption in the sand fraction can be attributed to presence of organic matter on samples as well as iron oxides.

Index terms: Langmuir isotherm, maximum capacity of adsorption of phosphorus, phosphate fertilizes.

¹ Recebido para publicação em 30/11/2004; aprovado em 16/08/2005.

Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor apresentada ao Dep. de Ciências do Solo, CCA/UFC, CE.

² Eng. Agrônoma, M. Sc., Técnica da Secretaria de Agricultura Irrigada, Av. Bezerra de Menezes, 1820, Alagadiço, CEP: 60325-000, Fortaleza, CE.

³ Prof. Visitante do Dep. de Ciências do Solo, CCA/UFC, CE.

⁴ Prof. Titular do Dep. de Ciências do Solo, ESALQ/USP, SP.

⁵ Prof. Adjunto do Dep. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, CE, e-mail: benito@ufc.br.

⁶ Eng. Agrônomo, Mestre em Irrigação e Drenagem do Dep. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC.

Introdução

A baixa disponibilidade de fósforo nos solos da região semi-árida do Nordeste Brasileiro mostra o quanto é importante o estudo do comportamento desse elemento no solo, com vistas a um adequado suprimento às plantas, pois tal conhecimento contribui para o estabelecimento de um método apropriado para adubação fosfatada, já que a capacidade dos solos em adsorver fósforo influencia diretamente na resposta das plantas à aplicação de fertilizantes. Corrêa et al. (2004) acreditam que o reduzido suprimento de fósforo nessa região é decorrente tanto do material de origem como da forte interação do fosfato com o solo, fenômeno este conhecido como adsorção, sorção ou fixação de fósforo. Aquino (2004) define adsorção de fósforo como sendo o fenômeno no qual formas solúveis de P se tornam menos solúveis ou insolúveis ao entrarem em contato com a fase sólida do solo. Na maior parte do Brasil estudos têm demonstrado que os principais fatores que influenciam a adsorção de fósforo no solo são: teor e mineralogia da fração argila, teor de colóides amorfos, pH, alumínio trocável e matéria orgânica (Nakos, 1987; Mehadi & Taylor, 1998; Brennan et al., 1994; Ker et al., 1996; Fontes & Weed, 1996).

É conhecida a importância dos óxidos de ferro nos fenômenos de adsorção de fósforo pelo solo, possuindo, as argilas silicatadas uma menor capacidade em adsorver P, em relação aos óxidos, sendo as argilas do tipo 1:1 as que, efetivamente, adsorvem fósforo. Bedin et al. (2003) acreditam que a presença de grandes proporções de argilas sesquióxidas proporcionam a adsorção de fosfato e a formação de precipitados como ferro e alumínio. Place et al. (1968) detectaram que um aumento no teor de óxidos de ferro dificultou a difusão do fósforo no solo, decorrente do aumento causado no poder de adsorção. Para Gama (2002), a presença de óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, na fração coloidal, são os principais responsáveis pelo processo de retenção de P no solo. Motta (1999) constatou que, à medida que os Latossolos tornam-se mais oxidados, aumenta a adsorção de fósforo, o teor total e as formas ligadas fortemente a Al e Fe, em comparação àqueles solos com mineralogia mais caulínica. Estudando a adsorção de fósforo em diversos Latossolos do Brasil, Ker (1995) observou que o aumento do caráter caulínico dos solos implica em redução na capacidade de adsorção de P, dando a entender que o papel da caulinita parece secundário em comparação com os constituintes oxidados.

A variação da capacidade máxima de adsorção de fósforo, conforme o teor de argila, é bastante observada em várias pesquisas, entretanto, nem sempre o solo com maior teor de argila possui o maior valor de capacidade máxima de adsorção. A explicação estaria na qualidade da argila, como sugerido por Bahia Filho (1982). Mello et al.

(1989) elucidam que em um mesmo tipo de argila, aquela que estiver saturada com íons de maior valência apresentará uma maior capacidade de adsorção de fósforo. A magnitude da adsorção de P depende da natureza e da quantidade de sítios disponíveis na superfície dos minerais secundários, sendo, dentro de uma mesma mineralogia, afetada positivamente pelo maior conteúdo de argila, o que foi verificado por Leal & Veloso (1973). Villani et al. (1993), estudando sobre a difusão de fósforo em dois Latossolos do cerrado, com diferentes texturas e níveis de umidade, observaram que o efeito depressivo da menor disponibilidade de água no solo sobre a difusão de fósforo será bem mais drástico nos solos mais argilosos e, de maneira particular, nos mais intemperizados, com grande fator capacidade deste nutriente.

O grau de cristalinidade dos colóides afeta diretamente o seu poder de adsorção de fósforo, sendo atribuído aos óxidos amorfos o papel de principais componentes na adsorção de fosfato em solos intemperizados, por possuírem uma maior superfície específica e, por conseguinte, uma maior quantidade de sítios de adsorção. Foi observado que a capacidade de óxidos de ferro em adsorver P é mais uma função da área superficial específica do que de sua abundância (Boorgard, 1983; Lin et al., 1983). Gualberto et al. (1987) verificaram maior adsorção de fósforo em Latossolos goetíticos do Planalto Central do que em Latossolos goetíticos da Amazônia, indicando que mais que o óxido de ferro em si, o seu tamanho e grau de cristalinidade exercem um papel muito importante no processo de adsorção de fósforo. Resende et al. (1985) verificaram que os óxidos amorfos de ferro e alumínio, extraídos pelo oxalato de amônio, foram os componentes mais ativos do processo de adsorção de fósforo em Latossolos do Estado de Minas Gerais.

O papel da matéria orgânica na adsorção de fósforo têm sido muito discutido. Resultados de pesquisas evidenciam que a matéria orgânica pode diminuir ou aumentar a capacidade do solo em adsorver fósforo. Autores como Aquino (2004) e Silva et al. (1997) afirmam que a redução da adsorção de fósforo tem sido atribuída à ação do ácido carbônico sobre a solubilização de minerais contendo fósforo; à formação de complexos com o húmus, fazendo com que o fósforo possa ser absorvido pelas plantas; ao aumento da competição entre ânions orgânicos e o fosfato pelos sítios de adsorção de fósforo, e pela formação de camadas de húmus ao redor dos óxidos de Fe e Al, diminuindo o poder de adsorção desses óxidos. Segundo Brady (1989), produtos resultantes da decomposição da matéria orgânica, como ácidos orgânicos e húmus, possuem a capacidade de formar complexos com os óxidos de ferro e alumínio, evitando a sua disponibilidade para a fixação de P. Holford & Mattingly (1975) encontraram que, em solos

calcários, a matéria orgânica compete com o fósforo pelo mesmo sítio de adsorção na superfície do CaCO_3 , diminuindo, desta forma, a imobilização do fósforo no solo. Andrade et al. (2001), ao pesquisarem o efeito da aplicação de resíduos orgânicos na adsorção de P, concluíram que a adição de matéria orgânica reduziu a fixação de P nos solos avaliados. Alguns trabalhos têm indicado a existência de correlações positivas entre o teor de matéria orgânica e a adsorção de fósforo em razão principalmente do caráter aniônico da matéria orgânica, que possibilita a formação de pontes de cátions com o Al, Fe e Ca a ela adsorvidos, e, por meio dessas pontes, o fósforo seria adsorvido (Sanyal & De Datta, 1991). Wild (1950) sugeriu em seu trabalho que o fósforo adicionado ao solo, seria, em parte associado à matéria orgânica, provavelmente por intermédio de cátions metálicos como Fe e Al.

A deficiência de pesquisas relacionadas com a adsorção de fósforo, em solos do Estado do Ceará, justifica a realização da presente pesquisa, cujo principal objetivo foi identificar as relações existentes entre alguns atributos físicos, químicos e mineralógicos com a capacidade de adsorção de fósforo, bem como da fração areia separadamente, tendo em vista a realização de um manejo racional, principalmente, no que se refere à recomendação de uma adubação fosfatada capaz de suprir as reais necessidades nutricionais das plantas.

Material e Métodos

Foram utilizadas amostras da camada arável de quatro solos procedentes de diversas regiões homogêneas do Estado do Ceará, representativas de áreas bastante exploradas na agricultura do Estado (Tabelas 1 e 2). Amostras da

fração terra fina seca ao ar (TFSA) dos diferentes solos foram caracterizadas, física e quimicamente, de acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solo (Embrapa, 1997). A determinação dos óxidos de ferro livres (dicionito citrato bicarbonato de sódio) e dos óxidos de ferro amorfo (oxalato de amônio) seguiu a metodologia proposta por Mehra & Jackson (1969).

A mineralogia foi determinada por difratometria de raios-X, com base nos preparados de areia, silte e argila (Jackson, 1969). Obtidos os difratogramas de raios X das lâminas irradiadas, a identificação dos minerais foi feita baseada no trabalho de Jackson (1969), de acordo com os espaçamentos basais de cada mineral. A avaliação semiquantitativa dos argilominerais foi obtida por meio do cálculo da área dos picos dos difratogramas, segundo o método proposto por Johns et al. (1954). Na estimativa da adsorção de fósforo, 1g de TFSA dos diferentes solos foram mantidos em contato, mediante agitação por 24 horas, com soluções de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (25 mL), através dos quais foram adicionados 0; 1; 2; 3,5; 5; 8; 12 e 15 mg de P.kg^{-1} de solo na forma de KH_2PO_4 . Foi utilizado como inibidor microbiano o clorofórmio. Em seguida, procedeu-se a centrifugação a 2.000 rpm durante dez minutos para que fosse separado o líquido das partículas sólidas. Após filtragem, o fósforo foi analisado no sobrenadante, de acordo com o método de Murphy & Riley (1962). O fósforo adsorvido foi determinado pela diferença entre o fósforo aplicado e o determinado na solução de equilíbrio.

Para obtenção da fração areia, a TFSA foi cuidadosamente macerada em cápsula de porcelana, para desfazer possíveis agregados de argilas que poderiam ficar retidos na peneira e serem erroneamente considerados como areia. Em seguida, a TFSA foi posta em uma peneira com malha

Tabela 1 - Classificação, localização, complexo sortivo e pH em água de quatro solos do Estado do Ceará.

Solo	Classificação	Local	pH ⁽¹⁾	cmol _c .kg ⁻¹									MO ⁽⁵⁾	P ⁽⁵⁾
				Ca	Mg	Na	K	Al	H+Al	S ⁽²⁾	T ⁽³⁾	V ⁽⁴⁾		
1	Neossolo Quartzarênico (RQ)	Ibiapaba	4,48	0,10	0,10	0,04	0,07	1,06	4,83	0,31	5,14	6,03	11,73	1,17
2	Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)	Fortaleza	6,05	1,75	0,75	0,06	0,14	0,05	1,15	2,70	3,85	70,10	10,06	12,18
3	Cambissolo Háplico (CX)	Apodi	7,09	4,73	1,45	0,16	0,55	0,00	0,67	6,89	7,56	91,10	15,37	2,06
4	Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)	Araripe	4,50	0,20	0,08	0,04	0,05	0,79	3,46	0,37	3,83	9,66	11,64	2,20

⁽¹⁾ pH em água. ⁽²⁾ S= soma de bases; ⁽³⁾ T= CTC a pH 7,0; ⁽⁴⁾ V= percentagem de saturação por bases; ⁽⁵⁾ MO=matéria orgânica; ⁽⁵⁾ P= fósforo extraível por Mehlich-1.

Tabela 2 - Alguns atributos físicos, químicos e mineralógicos da camada arável (0-20 cm) de quatro solos do Estado do Ceará.

Solo Nº (classe)	Areia	Silte	Argila %	Caulinita	Ilita	g. kg ⁻¹		
						Fe _d ⁽¹⁾	Fe _o ⁽²⁾	Fe ₂ O ₃ ⁽³⁾
1 (RQ)	79,01	7,74	13,25	98	2	6,52	0,32	13
2 (PVA)	84,63	6,73	8,64	85	15	0,89	0,09	6
3 (CX)	69,85	14,68	15,47	90	10	26,20	0,27	120
4 (LVA)	69,66	5,20	25,14	97	3	15,10	0,16	46

⁽¹⁾Fe_d= óxidos de ferro livres extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato; ⁽²⁾Fe_o= óxidos de ferro amorfo extraídos por oxalato ácido de amônio; ⁽³⁾Fe₂O₃= ferro total.

de 0,053 mm, e levada ao agitador horizontal, sendo agitada por períodos de 10 minutos quantas vezes fosse necessário até que apenas a areia ficasse retida na malha da peneira. A areia lavada utilizada foi proveniente da análise granulométrica. O mesmo procedimento experimental de laboratório empregado para o solo foi utilizado para a fração areia, apenas substituindo 1 g de TFSA por 1 g de areia ou por 1g de areia lavada, utilizando as seguintes concentrações de fósforo: 0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 e 3,2 mg de P.kg⁻¹ de solo.

Os valores de adsorção encontrados foram ajustados à equação de Langmuir para avaliar a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP). Correlações de Pearson foram estabelecidas entre a CMAP e atributos físicos, químicos e mineralógicos dos diferentes solos, com o objetivo de verificar a influência desses atributos sobre a capacidade de adsorção de fósforo nestes solos. Todas as análises foram realizadas com quatro repetições.

Resultados e Discussão

Os resultados da capacidade máxima de adsorção de fósforo da fração areia e da fração areia lavada podem ser visualizados na Tabela 3.

Os resultados das estimativas da capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) variaram bastante, acompanhando a diversidade de atributos dos solos estudados. O Cambissolo Háplico foi o que mais adsorveu fósforo e isto foi atribuído à interação de vários fatores, dentre eles os elevados teores de ferro total, óxidos de ferro livres e óxidos de ferro amorfos existentes neste solo (Tabela 2). O Neossolo Quartzarênico foi o segundo que mais adsorveu P, em seguida o Latossolo Vermelho-Amarelo, que, embora seja reconhecido como a classe de solo que possui a maior capacidade de adsorver fósforo, neste trabalho esta tendência não foi observada, possivelmente em razão do maior teor de óxido de ferro livre em relação ao teor de óxido de ferro amorfo, além de um considerado teor de fósforo disponível no solo. O Argissolo Vermelho-Amarelo foi o que menos adsorveu P, o que se justifica por possuir os meno-

Tabela 3 - Capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) do solo, da fração areia e da fração areia lavada, em amostras (0-20 cm) de quatro solos do Ceará.

Classe de Solo ¹	CMAP (solo)	CMAP (areia)	CMAP (areia lavada)
Nº (classe)	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
1 (RQ)	256,41	76,92	15,50
2 (PVA)	109,89	38,76	15,53
3 (CX)	344,83	102,04	66,23
4 (LVA)	200,00	74,07	16,67

RQ: Neossolo Quartzarênico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; CX: Cambissolo Háplico; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo.

res teores de óxidos de ferro livres, óxidos amorfos e ferro total, além de menor teor de argila, caulinita, matéria orgânica e maior teor de fósforo disponível podem justificar o menor poder de adsorção destes solos. Os resultados da análise estatística que correlacionam a CMAP com os diversos atributos do solo encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados da análise estatística, obtidos por correlações simples de Pearson, onde CMAP é a variável correlacionada com os diversos atributos do solo.

Atributo	Observ.	Correl.	Teste T	Signif.
Argila	4	0,2299	0,3341	0,3850n.s
Caulinita	4	0,3436	0,5174	0,3282n.s
pH água	4	0,3180	0,4743	0,3410n.s
pH KCL	4	0,2589	0,3791	0,3705n.s
Ca ²⁺	4	0,5392	0,9055	0,2304n.s
Al ³⁺	4	0,0159	0,0225	0,4920n.s
Matéria Orgânica	4	0,9401	3,8997	0,0300°
Fósforo nativo	4	0,9401	3,8997	0,0300°
T	4	0,9122	3,1477	0,0439°
Fe ₂ O ₃	4	0,8053	1,9211	0,0973°
Óxidos Fe livres	4	0,8365	2,1585	0,0818°
Óxidos Fe amorfos	4	0,8400	2,1893	0,0800°

° significativo ao nível de 10%; n.s não significativo.

Os resultados obtidos neste trabalho indicaram a existência de correlação positiva entre a CMAP e o teor de matéria orgânica do solo. A razão mais comumente citada para a existência dessa correlação é que os íons orgânicos carregados negativamente, compartilham as valências dos cátions (Al³⁺, Fe²⁺ e Ca²⁺), fazendo pontes com os íons fosfato, segundo Wild (1950). Avaliando a adsorção de fósforo em solos de várzea, Guilherme et al. (1993) obtiveram uma correlação positiva significativa entre a CMAP e o teor de matéria orgânica, indicando a importância da matéria orgânica como fonte de elétrons para as reações de redução e para o aumento da fração de óxidos de ferro e a cristalinidade do solo. A quantidade de fósforo adsorvida depende em parte do nível de fósforo disponível no solo, desta maneira, justifica-se a correlação entre este fator e a adsorção máxima, visto que os níveis originais de P nos solos estudados diferem entre si. A análise estatística indicou uma correlação significativa entre a CMAP e a capacidade de troca de cátions (T), apesar de haver um aumento das cargas negativas, que deveriam repelir o H₂PO₄⁻. Esta correlação pode ser explicada pela adsorção de fósforo através do partilhamento das valências dos cátions metálicos, predominantemente Fe e Al, entre as micelas de argila e os íons fosfato. Também, a maior concentração de cátions em solução neutraliza a carga negativa do solo, diminuindo a repulsão do fósforo. Correlações positivas entre a CMAP e teores de ferro total, óxidos de ferro livres e amorfos foram também estabelecidas. No presente estudo

a interação destes três fatores ajudam a justificar os valores de CMAP obtidos, ficando ressaltada a importância do papel dos óxidos de ferro no fenômeno da adsorção. Ao avaliar a adsorção de fósforo na fração argila, Dick (1986) concluiu que o teor de óxidos de ferro foi um dos principais fatores que propiciaram a adsorção do fósforo. O teor de ferro total também se constitui em um importante fator na adsorção, visto que engloba todas as formas de ferro presentes no solo, inclusive os óxidos de ferro livres e amorfos que, como citado anteriormente, são bastante eficazes no processo de adsorção de fósforo.

Não houve correlação significativa entre a quantidade de caulinita e a adsorção máxima de fósforo. À primeira vista pode parecer paradoxal, visto que o teor de caulinita é considerado um fator importante na adsorção de fósforo. Podendo-se deduzir que, no caso dos solos estudados, o papel da caulinita na adsorção de fósforo parece menos eficaz em comparação com os componentes oxídicos. Resultado semelhante foi observado por Ker (1995), que em seus estudos com Latossolos, observou que o aumento do caráter caulinitico dos solos implicava em redução na capacidade de adsorção de fósforo, em detrimento de aumento no teor de óxidos, creditando aos solos com mineralogia mais oxídica uma maior capacidade de adsorção de fósforo. A tendência de que ocorra maior adsorção de fósforo em solos com maiores teores de argila, também não foi constatada neste trabalho, evidenciando a preponderância da mineralogia sobre a capacidade de adsorção de fósforo. Este resultado está em consonância com o trabalho de Bahia Filho (1982), que concluiu que a constituição mineralógica do solo é um dos fatores mais determinantes nos processos relacionados com a adsorção de P. Na realidade, os coeficientes de correlação estão indicando que não existe uma relação de causa versus efeito direto entre a quantidade de argila e a adsorção de fósforo. Eles indicam a existência de outras características nesses minerais argilosos que são suficientes para alterar a relação que poderia existir entre quantidade e adsorção. Embora a correlação entre teor de cálcio e adsorção máxima não tenha sido significativa, o maior teor deste elemento no Cambissolo Háptico, quando comparado com os outros solos estudados, possivelmente influenciou na maior adsorção apresentada por este solo, devido ao fato do cálcio neutralizar a carga negativa.

No presente estudo, atributos do solo tais como pH e alumínio trocável não afetaram significativamente a capacidade dos solos em adsorver fósforo, possivelmente devido a maior influência dos óxidos de ferro na adsorção do fósforo, tendo em vista ser um fenômeno que pode ocorrer em uma ampla faixa de pH. Guilherme et al. (1993) também não encontraram uma influência significativa entre o pH e a CMAP, quando avaliaram a adsorção de P em solos de várzea.

A seqüência das capacidades máximas de adsorção de fósforo na fração areia dos solos analisados segue a mesma seqüência obtida para o solo como um todo (Tabela 3). A inexistência de alteração nesta seqüência indica que, provavelmente, os mesmos atributos que determinaram a maior ou menor capacidade de adsorção dos solos também foram responsáveis pelos valores de CMAP obtidos pela fração areia. Analisando-se os valores de CMAP alcançados para a areia lavada, percebe-se uma alteração na seqüência obtida para os diferentes solos, indicada pela CMAP da areia lavada do LVA que foi superior à da areia lavada do RQ (Tabela 3). Esta alteração se deve, possivelmente, à exclusão de vários fatores que influenciariam na CMAP, já que na fração areia lavada, apenas resíduos de óxidos de ferro e matéria orgânica teriam o poder de influenciar na capacidade de adsorção de P. Desta forma, a adsorção de fósforo na fração areia lavada se deu, em parte, na matéria orgânica presente nas amostras e, em parte, nos resíduos de óxidos de ferro, presentes, possivelmente como recobrimento dos grãos.

Conclusões

1. Dentre os solos estudados, o que mais adsorveu fósforo foi o Cambissolo Háptico, seguido pelo Neossolo Quartzarênico, Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo;
2. Os atributos do solo mais estreitamente correlacionados com a adsorção de fósforo foram a matéria orgânica, o fósforo disponível e a capacidade de troca de cátions;
3. Os teores de ferro total, óxidos de ferro livres e óxidos de ferro amorfos influenciaram a adsorção de fósforo pelo solo;
4. As influências de outros atributos estudados sobre a capacidade de adsorção de fósforo como a quantidade de argila, teor de caulinita, pH e alumínio trocável mostraram-se pouco consistentes;
5. Comprovou-se que a adsorção de fósforo ocorre principalmente na fração argila, tendo, porém, a fração areia uma participação importante nos fenômenos relacionados com a adsorção de fósforo;
6. O poder de adsorção de fósforo da fração areia comporta-se de forma similar ao dos solos.

Referências Bibliográficas

- AQUINO, B. F. **Conceitos fundamentais em fertilidade do solo**. Fortaleza: UFC, 2004.182p. Apostilas Didáticas.
- ANDRADE, A. T.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, N. V. Relação da aplicação de resíduos orgânicos, calcário e gesso com a adsorção de fósforo em solos de várzea. In: CONGRESSO BRA-

- SILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Paraná. **Anais...** Paraná: SBCS, 2001: 1 CD ROOM.
- BAHIA FILHO, A. F. C. **Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas.** 1982. 179p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1982.
- BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A. M.; SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e produção de soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.639-646, jul/ago. 2003.
- BOORGARD, O. K. The influence of iron oxides on the surface area of soil. **Soil Science**, London, v.34, p.333-341, 1983.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos.** 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.
- BRENNAN, R. F.; BOLLAND, M. D.; JEFFERY, R. C.; ALLEN, D. G. Phosphorus adsorption by a range of western Australian soils related to soil properties. **Communications Soil Science Plant Analysis**, v.25, n.15/16, p.2785-2795, 1994.
- CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, dezembro 2004.
- DICK, D. P. **Caracterização de óxidos de ferro e adsorção de fósforo na fração argila de horizontes B latossólicos.** 1986. 197p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 2. ed. rev. atual. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPQ. Documento 1).
- FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Phosphate adsorption y clays from Brazilian Oxisols: relationships whit specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, v.72, p.377-51, 1996.
- GAMA, M. A. P. **Dinâmica do fósforo em solo submetido a sistemas de preparo alternativos ao de corte e queima no nordeste paraense.** 2002. 96p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.
- GUALBERTO, V.; RESENDE, M.; CURIN. Química e mineralogia de Latossolos, com altos teores de ferro, da Amazônia e do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.245-252, nov/dez. 1987.
- GUILHERME, L. R. G.; RENÓ, N. B.; MACHADO, R. A. F.; CURI, N.; SILVA, M. L. N. Sorção de fósforo em solos de várzea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBCS, 1993. 1 CD.
- HOLFORD, I. C. R.; MATTINGLY, G. E. G. The high and low - energy phosphate absorbing surfaces in calcareous soils. **Journal of Soil Science**, Madison, v.26, p.407-417, 1975.
- JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis.** Advanced course. 2. ed. Madison: University of Wisconsin, 1969. 895p.
- JOHNS, W. D.; GRIM, R. E.; BRADLEY, W. F. Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.24, p.242-251, 1954.
- KER, J. C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil.** 1995. 181p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- KER, J. C.; FONTES, M. P. F.; SOUZA, A. R.; RESENDE, M. Adsorção de fósforo em alguns solos latossólicos: relação entre mineralogia e efeito da calagem. **Revista Ceres**, Viçosa, v.43, n.246, p.216-226, 1996.
- LEAL, J. R.; VELOSO, A. C. S. Adsorção de fosfato em Latossolo sob vegetação de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.8, p.81-88, 1973.
- LIN, C.; MOTTO, H. L.; DOUGLAS, L. A.; BUSSCHER, W. J. Multifactor kinetics of phosphate reactions with minerals in acid soil. II Experimental Curve Fitting. **Soil Science**, Madison, v.47, p.1103-1109, 1983.
- MEHADI, A. A.; TAYLOR, R. W. Phosphate adsorption by two highly-weathered soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.52, p.627-632, 1998.
- MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Removal of free iron oxides from soils of clay by sodium dithionite-citrate-bicarbonate method. In: JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis: advanced course.** 2nd. ed., MADISON: University of Wisconsin, 1969. 895p.
- MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo.** 3. ed. São Paulo: Nobel, 1989. 400p.
- MOTTA, P. E. F. da. **Adsorção, formas e disponibilidade de fósforo em Latossolos:** influência da mineralogia e histórico de uso. 1999. 33p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Análítica Chemica Acta**, v.27, p.31-36, 1962.
- NAKOS, G. Phosphorus adsorption by forest soils. **Communications Soil Science Plant Analysis**, v.18, n.3, p.279-286, 1987.
- PLACE, G. A.; PHILLIPS, R. E.; BROWN, D. A. Self-diffusion of phosphorus in clays and soils: II. The effect of pH. **Soil of Science Society**, v.32, p.657-660, 1968.
- RESENDE, J. M. do A.; BRAGA, J. M.; AMARAL, F. de A. L. Índice de sorção de fósforo: Isotermas, capacidade tampão e sorção de ponto único. **Revista Ceres**, Viçosa, v.32, n.181, p.179-195, 1985.
- SANYAL, S. K.; De DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. **Soil Science**, New York, v.16, p.1-120, 1991.
- SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P.; LIMA, J. M.; CARVALHO, A. M. Rotação adubo verde - milho e adsorção de fósforo em Latossolo vermelho-escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.6, p.649-654, junho 1997.
- VILLANI, E. M. A.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; FONTES, L. E. F.; NEVES, J. C. L. Difusão de fósforo em solos com diferentes texturas e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, p.343-347, 1993.