

INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NA CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM UM LATOSSOLO VERMELHO ESCURO DISTRÓFICO¹

Adônis MOREIRA²

Eurípedes MALAVOLTA³

José Leonardo Moraes GONÇALVES⁴

Edgar Fernando de LUCCA⁵

RESUMO: A capacidade máxima de adsorção de fósforo foi determinada em um Latossolo Vermelho Escuro distrófico sob fragmento de floresta primária e floresta de eucalipto. Amostras de 2,5 g de solo, coletadas nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40cm, foram agitadas por 24 horas com 25mL de solução de CaCl_2 0,01mol.L⁻¹ contendo fósforo, na forma de $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, nas concentrações de 0, 20, 40, 60, 80 e 100 $\mu\text{g L}^{-1}$. Determinou-se o P-orgânico, após o ataque de 50 ml de H_2SO_4 1 mol L⁻¹, pela diferença entre a amostra incinerada e não-incinerada. Observou-se que a capacidade máxima de adsorção de fósforo estimada pela isoterma de Langmuir aumentou com a profundidade e variou nas duas áreas, porém, não houve efeito significativo entre as camadas de solo 0-10-20-40cm na floresta primária e entre as camadas 0-10-20 cm no solo cultivado com eucalipto. O inverso ocorreu com P-orgânico, que diminuiu significativamente ($p \leq 0,05$) da camada de 0-10 para a de 10-20 cm no fragmento de floresta primária e da camada de 10-20 para de 20-40 cm no solo com floresta de eucalipto. Desse modo, conclui-se que a capacidade máxima de adsorção de fósforo variou em função da cobertura vegetal. A energia de ligação do fósforo foi diferente nas três camadas, devido, principalmente, ao maior teor de argila e alumínio. O P-orgânico presente nas profundidades amostradas variou diferentemente entre as duas áreas estudadas.

TERMO PARA INDEXAÇÃO: Eucalipto, Isotermas de Adsorção, Floresta Primária, P-orgânico

INFLUENCE OF VEGETATION COVER ON THE PHOSPHORUS ADSORPTION CAPACITY OF A RHODIC FERRALSOLS

ABSTRACT: The objective of this work was to determine the adsorption capacity of P in a Rhodic Ferralsols under tropical and eucalyptus forest. Samples of soils collected at three depths (0-10 cm; 10-20 cm and 20-40 cm) were shaken with 0.01 mol L⁻¹ CaCl_2 solution containing 0, 20, 40, 60, 80 and 100 $\mu\text{g L}^{-1}$ of P as $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, in a 1:10 soil:solution ratio. The shaking time was 24 hours. The organic phosphorus was determined by difference after extracting the incinerated and not incinerated soil with H_2SO_4 1mol L⁻¹. The maximum adsorption capacity of phosphorus increased with depth and varied in the two areas. However, statistic differences between depths of 10-20 cm and 20-40 cm, in the tropical forest, and 0-10 cm to 10-20 cm, in the eucalyptus forest, were not observed. Organic phosphorus decreased ($p \leq 0.05$) from 0-10 cm to 10-20 cm depth in the tropical forest and from 10-20 cm to 20-40 cm depth in the eucalyptus forest. Maximum adsorption capacity of phosphorus was affected by vegetation and bonding energy of P varied with depths.

INDEX TERMS: Eucalyptus Forest, Adsorption Isotherms, Tropical Forest, Organic Phosphorus.

¹ Aprovado para publicação em 08.02.2001

Trabalho apresentado no 16^o World Congress of Soil Science, Montpellier (França).

² Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental. email: adonis@cpaa.embrapa.br

³ Engenheiro Agrônomo, Dr., Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas. Centro de Energia Nuclear na Agricultura/ USP. Bolsista do CNPq. e-mail: mala@cena.usp.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Dr., Departamento de Ciências Florestais, ESALQ/USP - CP 09 - 13418-970 Piracicaba (SP).

⁵ Engenheiro Florestal, M.Sc., Laboratório de Biogeoquímica do Solo, CENA/USP. Bolsista da FAPESP.

1 INTRODUÇÃO

Os solos ácidos das regiões tropicais, por serem altamente intemperizados, apresentam minerais do grupo caulinita e óxidos de ferro e alumínio, na fração argila, condições favoráveis à fixação do fósforo e conseqüente redução da sua disponibilidade (Faquin et al., 1990). A reação do fósforo com esses metais pode ocorrer na solução do solo, com a formação de precipitados, ou na superfície das partículas sólidas de argila, óxidos de ferro e alumínio, de carbonatos de cálcio e até mesmo da matéria orgânica (Thomas & Peaslee, 1973; Fassbender & Bornemisza, 1994).

Pesquisadores têm proposto vários mecanismos através dos quais o fósforo pode ser retido pelo solo, que incluem: adsorção física, quimisorção, troca aniônica e precipitação dos constituintes sólidos do solo. Geralmente, esses mecanismos são casos especiais de reações de precipitação ou adsorção (Sample et al., 1980).

Wild (1950) constatou que os hidróxidos de ferro e alumínio retêm grande quantidade de fósforo em solução e que determinados fatores podem interferir na quantidade adsorvida, como: tempo de reação, temperatura, pH e concentração de fósforo na solução do solo, tendo sua disponibilidade diminuída devido às reações com alumínio, cálcio e ferro.

O estabelecimento de um modelo físico-químico, razoavelmente seguro, da dinâmica de íons envolvendo a fase mineral encontra dificuldades, principalmente em razão das partículas de solo terem: (a) composição químico-mineralógica não homogênea, sobretudo na superfície, e (b)

morfologia e dimensões variáveis, num mesmo material de solo. Um dos caminhos é a utilização das isotermas do tipo Langmuir que descrevem o sistema em equilíbrio, com base em modelo pré-estabelecido de interação soluto-substrato, dando boa previsão para a quantidade máxima de fósforo adsorvido, mas pouca informação das reações de adsorção e dessorção (Violante et al., 1991; Reis et al., 1995).

O presente trabalho teve por objetivo estimar a capacidade máxima de adsorção do fósforo no solo sob duas coberturas vegetais (floresta primária e floresta de eucalipto) em diferentes profundidades do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Seção de Nutrição Mineral de Plantas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), localizado no município de Piracicaba, Estado de São Paulo.

O solo foi classificado como sendo um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (Rhodic Ferrasols), coletado no município de Itatinga, Estado de São Paulo. Quatro amostras deformadas com quatro repetições foram retiradas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, sob duas coberturas vegetais (floresta primária com ± 10 ha e floresta de rebrote de eucalipto com ± 100 ha). Os resultados da análise química encontram-se na Tabela 1.

Após secagem ao ar e à sombra, as amostras foram passadas em peneiras com malha de 2 mm de abertura, para destorroamento e uniformização.

Quantidades de 2,5 g de terra fina seca ao ar (TFSA) foram colocadas em erlenmeyer contendo 25 mL de solução de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} e concentrações de fósforo (0, 20, 40, 60, 80 e 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$) na forma de $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ com quatro repetições. As amostras foram agitadas por vinte e quatro horas em agitador rotativo horizontal, em temperatura ambiente. Duas gotas de clorofórmio foram adicionadas à suspensão para diminuir a atividade microbiana do meio. Após a agitação e filtragem do sobrenadante, o fósforo da solução foi

determinado pelo método colorimétrico com o emprego do reativo sulfo-bismuto-molíbídico e utilizando o ácido ascórbico como redutor (Catani & Bataglia, 1968).

O fósforo adsorvido nas camadas amostradas foi calculado pela diferença entre as concentrações de fósforo aplicadas ao solo e as concentrações obtidas na leitura do extrato. A capacidade máxima de adsorção e a energia de retenção do fósforo foram calculadas através dos coeficientes das transformações lineares da isoterma de Langmuir, conforme Olsen & Watanabe (1957).

Tabela 1 – Características químicas e granulométricas do solo sob mata nativa ou cultivado com eucalipto em três profundidades amostradas. Média de quatro repetições.

Características do solo	Floresta primária			Floresta de eucalipto		
	Profundidade (cm)			Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
pH (CaCl_2 - 0,01mol L^{-1})	3,5 b	3,5 b	3,8 a	3,5 B	3,7 A	3,8 A
M.O. (g kg^{-1})	29,8 a	21,5 b	13,4 c	23,4 A	18,1 B	13,1 C
P (mg dm^{-3})	11,8 a	8,5 b	4,2 c	6,8 A	5,1 B	3,4 C
K^+ ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,0 a	0,6 b	0,3 c	0,5 B	0,7 A	0,5 B
Ca^{2+} ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	8,2 a	3,7 b	1,2 c	1,7 A	1,7 A	1,0 B
Mg^{2+} ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,8 a	1,1 b	0,1 c	0,6 B	1,0 A	0,3 C
Al^{3+} ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,2 b	1,6 a	1,6 a	1,2 B	1,5 A	1,6 A
$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	8,8 a	7,2 b	5,2 c	7,2 A	5,8 B	5,8 B
SB ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	12,0 a	5,4 b	1,6 c	2,8 B	3,4 A	1,8 C
CTC ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	20,8 a	12,6 b	6,8 c	10,0 A	9,2 A	7,6 B
P-orgânico (mg kg^{-1})	2,2 a	1,5 b	1,4 b	3,2 A	2,6 B	1,6 C
V (%)	42,0 a	43,0 a	24,0 b	28,0 B	37,0 A	24,0 C
Areia (g kg^{-1})	760,0 a	690,0 b	680,0 b	760,0 A	730,0 AB	700,0 B
Silte (g kg^{-1})	80,0 b	120,0 a	120,0 a	90,0 B	100,0 A	100,0 A
Argila (g kg^{-1})	160,0 b	190,0 a	200,0 a	150,0 C	170,0 B	200,0 A

Nota: Médias seguidas por letras distintas na mesma linha, minúscula para floresta primária e maiúscula para floresta de eucalipto, diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

O P-orgânico foi obtido pela metodologia descrita por Olsen & Sommers (1982), através do ataque de 50 mL de H_2SO_4 (1 mol L^{-1}) em 1g de solo, seguido de agitação por 12 horas e filtragem. Determinou-se o P-orgânico do sobrenadante pela diferença entre o solo não-incinerado e o incinerado a 550°C durante duas horas.

Os resultados encontrados foram submetidos, quando necessário, ao teste F, teste de comparação de contraste de médias e regressão ao nível de 5% de probabilidade (Gomes, 1990).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que a adsorção de fósforo aumentou nos solos sob floresta primária e sob a floresta de eucalipto (Tabela 2). Tal resultado corrobora os obtidos por Eze &

Loganathan (1990), que, trabalhando com três profundidades em dois tipos de solos, observaram aumento na capacidade máxima de adsorção de fósforo ao longo do perfil do solo.

No solo com floresta de eucalipto, apesar do aumento da capacidade máxima de adsorção, não houve diferença na adsorção de fósforo entre as camadas de 0-10 e de 10-20 cm, isso, provavelmente, ocorreu em decorrência do manejo da camada superficial do solo, que ocorre a uma profundidade média de 20 cm, homogeneizando essas duas camadas, o que não ocorre no solo com floresta primária que apresentou capacidade de adsorção menor somente nas camadas de 0-10 cm, região que apresenta forte influência da serapilheira (Tabela 2 e Figura 1).

Tabela 2 – Valores de adsorção máxima de fósforo (CMAf) obtidos pelas isotermas de Langmuir (b), energia de ligação adsorvente-adsorvido (K).

Profundidade do solo (cm)	Floresta primária	Floresta de eucalipto
	b - CMAf ($\mu\text{g g}^{-1}\text{P ads}$)	
0-10	416,67 cB	500,00 bA
10-20	555,55 bA	526,31 bB
20-40	666,67 aB	714,28 aA
CV (%)	8,486	
	K ($\text{mL } \mu\text{g}^{-1}\text{P na sol. de equilíbrio}$)	
0-10	0,289 aA	0,294 aA
10-20	0,290 aA	0,279 bB
20-40	0,129 bB	0,280 bA
CV (%)	9,406	

Nota: Médias seguidas por letras distintas, maiúscula na mesma linha e minúscula na mesma coluna para cada variável estudada, diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

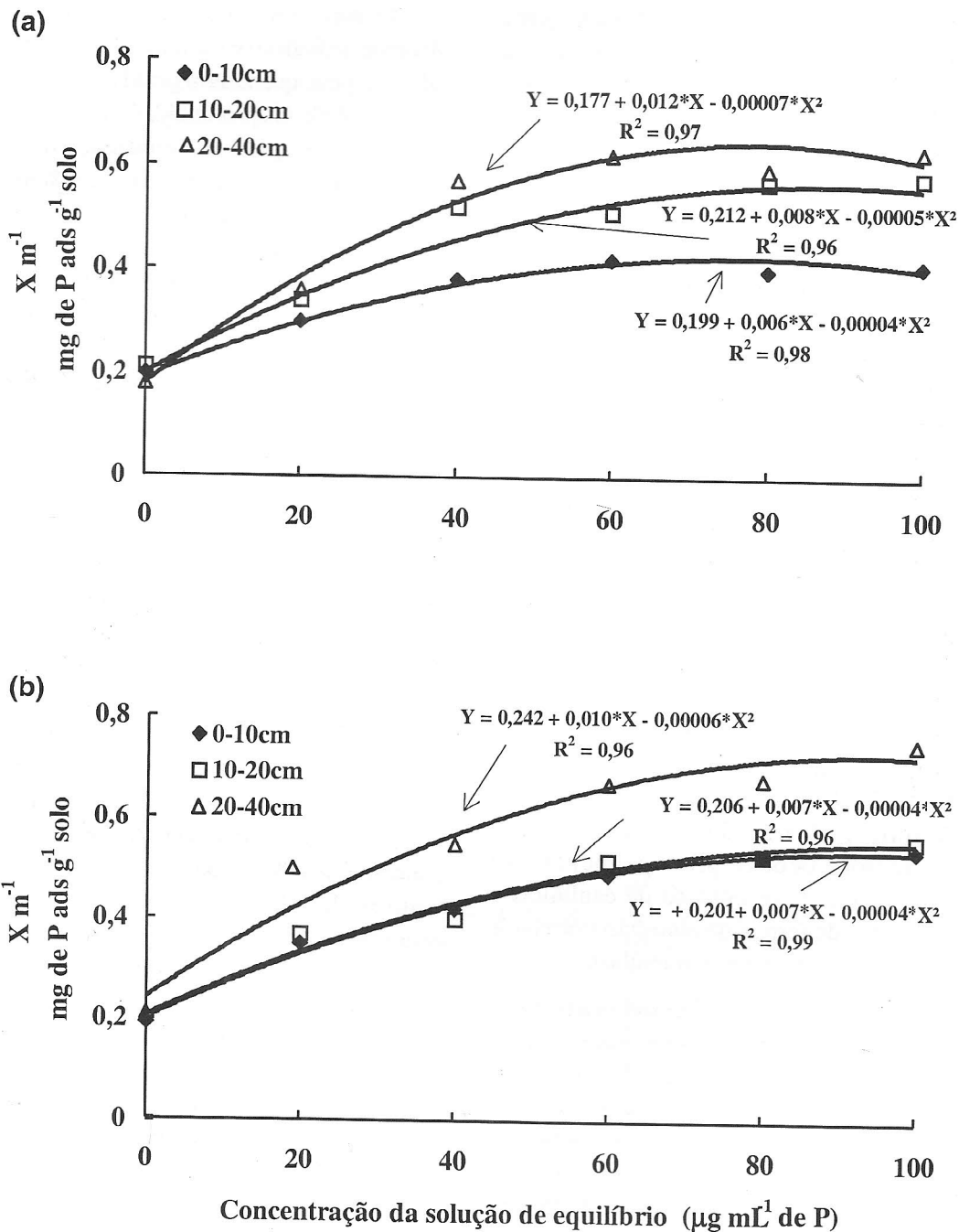


Figura 1 – Isotherma de adsorção de fósforo para as três profundidades amostradas: (a) floresta primária e (b) floresta de eucalipto - média de quatro repetições (* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F).

As isotermas demonstraram que a quantidade de fósforo adsorvida aumentou com a concentração da solução de equilíbrio (Figura 1 e Tabela 2), inicialmente de modo mais intenso e tendendo a adquirir valores constantes a altas concentrações, o que está de acordo com os argumentos de Barrow (1976), no qual enfatiza que as isotermas possuem forma característica de adsorção química de uma monocamada iônica (força de atração do tipo van der Waals) pela fase sólida adsorvente do solo, atuando, desse modo, a favor do gradiente de concentração.

Bittencourt & Zambello Jr. (1975) e Sanchez & Uehara (1980) observaram que os valores da capacidade máxima de adsorção do fósforo estão mais ou menos relacionados com algumas características químicas e físicas do solo, tais como: Ca^{2+} , $\text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}$, CTC, teor de matéria orgânica e P-orgânico, que nas duas áreas estudadas diminuíram em função da profundidade do solo. Em solos das regiões tropicais (Sanchez & Uehara, 1980; Peña & Torrent, 1990), o fenômeno de adsorção do fósforo ocorre, principalmente, em decorrência da quantidade de caulinitas e de óxidos de ferro e de alumínio (variáveis não determinadas neste trabalho).

Na obtenção de informações a respeito de quais constituintes podem estar atuando no processo de retenção de fósforo, foram encontrados coeficientes de determinação significativos ($p \leq 0,05$), no que se refere ao efeito da profundidade do solo nas duas áreas estudadas (Tabela 3). A adsorção do fósforo ocorre mais acentuadamente em pH baixo. Resultado inverso foi obtido neste trabalho (Tabelas 1 e 2). De modo geral, observou-se que a maior adsorção ocorreu na camada de 20-40 cm (Sibanda & Young, 1986).

O que pode ter influenciado na adsorção de fósforo é a atividade do sistema radicular, pois, quando em grande quantidade numa determinada profundidade, pode afetar sensivelmente o pH. Em compensação eleva consideravelmente a quantidade de ânions orgânicos, liberados através da mineralização, sendo esses um reflexo do aumento no teor de matéria orgânica no solo e conseqüente diminuição do alumínio trocável, afetando, com isso, a retenção de fósforo nas duas coberturas vegetais (Kafkafi et al., 1988). O inverso foi observado neste trabalho, o que demonstra que o alumínio trocável talvez esteja diretamente relacionado com o teor de argila no solo (Tabela 3).

Nas duas coberturas vegetais, à medida que o teor de argila do solo aumentou, a adsorção de fósforo se elevou, de modo que o solo cultivado com eucalipto, mesmo apresentando teor de argila na camada de 20 a 40 cm semelhante ao solo com floresta primária, teve o mais alto valor de adsorção máxima, $714,28 \mu \text{g}^{-1}$ (Tabela 2 e Figura 1). A influência do teor de argila também foi evidenciada na comparação dos valores de adsorção máxima das três camadas amostradas (Tabela 3). Estes resultados concordam com os obtidos por Holanda & Medeiros (1984), que, ao trabalharem com outras camadas (0 a 30 e de 30 a 40 cm), também observaram um aumento significativo da capacidade de adsorção de fósforo com o aumento da profundidade do solo. Segundo Gonçalves et al. (1985), o processo de fixação do fósforo ocorre como conseqüência de várias reações simultâneas ou não, dependendo dos teores relativos dos constituintes e das características do solo, o que é demonstrado na Tabela 3 e na Figura 1.

Tabela 3 – Regressão entre a capacidade máxima de adsorção de fósforo (b), a constante K de Langmuir com algumas características das três camadas nas duas coberturas vegetais.

Característica do solo	Equações de regressão	
	Floresta primária	Floresta de eucalipto
b vs pH_{CaCl}	Y = 2,971 + 0,0012*X R ² = 0,693	Y = 2,745 + 0,0015*X R ² = 0,987
b vs M.O. (g kg ⁻¹)	Y = 24,626 - 0,0301*X R ² = 0,981	Y = 58,776 - 0,0641*X R ² = 0,835
b vs P _{org.} (g kg ⁻¹)	Y = 3,489 - 0,0033*X R ² = 0,886	Y = 3,177 - 0,0025 ^{ns} X R ² = 0,446
b vs P (g kg ⁻¹)	Y = 57,273 - 0,0654*X R ² = 0,997	Y = 26,036 - 0,0308*X R ² = 0,892
b vs Ca ²⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	Y = 19,761 - 0,0282*X R ² = 0,990	Y = 19,153 - 0,0255*X R ² = 0,990
b vs H ⁺ +Al ³⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	Y = 14,869 - 0,0143*X R ² = 0,983	Y = 15,489 - 0,0145*X R ² = 0,884
b vs Al ³⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	Y = 0,564 + 0,0017*X R ² = 0,803	Y = 0,785 + 0,0012*X R ² = 0,983
b vs CTC (mmol _c kg ⁻¹)	Y = 44,061 - 0,0561*X R ² = 0,958	Y = 14,853 - 0,0102*X R ² = 0,958
b vs silte (%)	Y = 16,395 + 0,165*X R ² = 0,803	Y = 38,525 + 0,1174 ^{ns} X R ² = 0,353
b vs argila (%)	Y = 94,673 + 0,162*X R ² = 0,954	Y = 103,75 + 0,1372 ^{ns} X R ² = 0,593
K vs pH_{CaCl}	Y = 4,041 - 1,869*X R ² = 0,999	Y = 6,227 - 9,242 ^{ns} X R ² = 0,201
K vs M.O. (g kg ⁻¹)	Y = 3,612 + 76,08*X R ² = 0,739	Y = -211,56 + 819,91*X R ² = 0,703
K vs P _{org.} (g kg ⁻¹)	Y = 1,043 + 2,783 ^{ns} X R ² = 0,350	Y = -12,854 + 51,185*X R ² = 0,969
K vs P (g kg ⁻¹)	Y = -0,559 + 36,974*X R ² = 0,808	Y = -93,978 + 359,24 ^{ns} X R ² = 0,625
K vs Ca ²⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	Y = -2,587 + 29,463 ^{ns} X R ² = 0,592	Y = -105,46 + 386,26*X R ² = 0,834
K vs H ⁺ +Al ³⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	Y = 2,691 + 17,398*X R ² = 0,799	Y = -41,715 + 171,56 ^{ns} X R ² = 0,636
b vs Al ³⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	Y = 1,758 - 1,234 ^{ns} X R ² = 0,243	Y = 9,282 - 27,488*X R ² = 0,996
K vs CTC (mmol _c kg ⁻¹)	Y = -1,100 + 61,442 ^{ns} X R ² = 0,665	Y = -20,713 - 107,27 ^{ns} X R ² = 0,512
K vs silte (%)	Y = 135,8 - 123,44 ^{ns} X R ² = 0,245	Y = 888,25 - 2748,80*X R ² = 0,996
K vs argila (%)	Y = 219,89 - 154,89 ^{ns} X R ² = 0,475	Y = 857,11 - 2369,70*X R ² = 0,911

Nota: Sinais convencionais utilizados:

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

^{ns} não significativo.

4 CONCLUSÃO

a) Observou-se que a adsorção de fósforo foi maior na amostra retirada sob floresta de eucalipto.

b) Nas duas coberturas vegetais, a adsorção de fósforo total foi maior com o aumento da profundidade do solo.

c) A energia de ligação do fósforo foi diferente nas três camadas, devido, principalmente, ao maior teor de argila e alumínio no solo.

d) O P-orgânico variou diferentemente entre as duas áreas estudadas, sendo maior na de eucalipto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROW, G.M. Adsorción y catálisis heterogénea. In: BARROW, G.M. (Ed.) *Química física*. Barcelona: Reverté, 1976. p.733-757.
- BITTENCOURT, V.C., ZAMBELLO Jr, E. Comportamento do fósforo em solos tropicais. I. Isotermas de adsorção. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Série Agronomia, v.10, n.1, p.59-64, 1975.
- CATANI, R.A., BATAGLIA, O.C. Formas de ocorrência de fósforo no solo Latossolo roxo. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, v.25, n.1, p.99-119, 1968.
- EZE, O.C., LOGANATHAN, P. Phosphate sorption of some Paleudults of southern Nigeria. *Soil Science*, v.150, n.3, p.613-621, 1990.
- FAQUIN, V., MALAVOLTA, E., MURAOKA, T. Cinética de absorção de fosfato em soja sob influência de micorriza vesículo-arbuscular. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.14, n.1, p.41-48, 1990.
- FASSBENDER, H.W., BORNEMISZA, E. *Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina*. San José: IICA, 1994. 420p.
- GOMES, F. P. *Introdução a estatística experimental*. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.
- GONÇALVES, J.L.M., FIRME, D.J., NOVAIS, R.F., RIBEIRO, A.C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, n.1, p.107-111, 1985.
- HOLANDA, J.S., MEDEIROS, A.A. Caracterização de solos norte rio-grandenses quanto à adsorção de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.19, n.10, p.1279-1284, 1984.
- KAFKAFI, U., BAR-YOSEF, B., ROSENBERG, R., SPOSITO, G. Phosphorus adsorption by kaolinite and montmorillonite I. Organic anion competition. *Soil Science Society of American Journal*, v.52, p.1585-1589, 1988.
- OLSEN, S.R., SOMMERS, L.E. Phosphorus. In: MILLER, R.H., KEENEY, D.R. (Eds.) *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 403-430.
- , WATANABE, F. A method to determine a phosphorus absorption maximum of isotherm. *Soil Science Society of America Proceeding*, v.21, p.144-149, 1957.
- PEÑA, F., TORRENT, J. Predicting phosphate sorption in soils of Mediterranean regions. *Fertilizer Research*, v.23, n.1, p.173-179, 1990.
- REIS, C., FABRIS, J.D., NOVAIS, R.F., BAHIA FILHO, A.F.C., SANTANA, D.P., CURI, N., COEY, J.M.D. Cinética de sorção de fósforo em alguns solos de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, n.2, p.337-344, 1995.
- SAMPLE, E.C., SOPER, R.J., RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizer in soils In: KHASAWNEH, F.E., SAMPLE, E.C., KAMPRATH, E.J., (Eds.) *The role of phosphorus in agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.263-509.

- SANCHEZ, P.A., UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F.E., SAMPLE, E.C., KAMPRATH, E.J., (Eds.) *The role of phosphorus in agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.471-509.
- SIBANDA, H.M., YOUNG, S.D. Competitive adsorption of humus acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. *Journal of Soil Science*, v.37, n.1, p.197-204, 1986.
- THOMAS, G.W., PEASLEE, D.E. Testing soils for phosphorus. In: WALSH, L.W., BEATON, J.D. (Eds.) *Soil testing and plant analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1973. p.115-129.
- VIOLANTE, A, COLOMBO, C., BUONDONO, A. Competitive adsorption of phosphate and oxalate by aluminum oxides. *Soil Science Society American Journal*, v.55, n.1, p.65-70, 1991.
- WILD, A. The retention of phosphate by soil. *Journal of Soil Science*, v.1, n.1, p.221-238, 1950.