

ROTAÇÃO ADUBO VERDE - MILHO E ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO¹

MARX LEANDRO NAVES SILVA², NILTON CURI³, PHILIPPE BLANCANEUX⁴, JOSÉ MARIA DE LIMA³
e ARMINDA MOREIRA DE CARVALHO⁵

RESUMO - Este estudo teve como objetivos quantificar a capacidade máxima de adsorção de P em sistemas de cultivo com adubos verdes e avaliar a influência da taxa de decomposição do adubo verde e de algumas propriedades químicas do solo sobre esta adsorção. Avaliou-se a camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho-Escuro sob dois tratamentos: solo sob cerrado nativo e solo descoberto (cinco anos); e os seguintes adubos verdes cultivados na entressafra após o milho (cv. Pioneer 3072): crotalária (*Crotalaria juncea*), guandu (*Cajanus cajan*), mucuna preta (*Mucuna aterrima*) e braquiária (*Brachiaria ruziziensis*). Os valores de adsorção foram ajustados à isoterma de Langmuir para determinação da capacidade máxima de adsorção de P (CMAF). Os tratamentos em ordem decrescente de adsorção máxima foram: solo descoberto > guandu > crotalária > mucuna preta > braquiária > cerrado nativo. O teor de matéria orgânica e a taxa de decomposição dos adubos verdes apresentaram correlação negativa com a adsorção máxima de P, com coeficientes de correlação, respectivamente, de 0,705 ($P < 0,06$) e 0,983 ($P < 0,01$). A CMAF para a camada mais profunda foi 56% maior que da camada superficial, reafirmando a importância da matéria orgânica na redução da adsorção de fósforo.

Termos para indexação: sistemas de cultivo, cerrado, taxa de composição, matéria orgânica.

GREEN MANURE - CORN ROTATION AND PHOSPHORUS ADSORPTION IN AN OXISOL

ABSTRACT - The objectives of this study were to quantify the P adsorption maximum in different green manure cropping systems and to evaluate the influence of the decomposition rate of green manure and some soil chemical properties upon such adsorption. It was studied the 0 to 20 cm layer of an Oxisol (Dark Red Latosol) under the following treatments: soil under native cerrado, bare soil (five years) and the following green manure cultivated in the dry season, after corn (cv. Pioneer 3072): *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan*, *Mucuna aterrima* and *Brachiaria ruziziensis*. The adsorption values were adjusted to Langmuir isotherm for determination of P adsorption maximum capacity (PAMC). The general trend of the P maximum adsorption followed the order: discovered soil > *Cajanus cajan* > *Crotalaria juncea* > *Mucuna aterrima* > *Brachiaria ruziziensis* > native cerrado. Soil organic matter amount and green manure decomposition rate had negative correlation with the P maximum adsorption, with correlation coefficients of 0.705 ($P < 0.06$) and 0.983 ($P < 0.01$), respectively. The PAMC for the deepest layer was 56% higher than that of the superficial layer, suggesting the importance of organic matter on reducing P adsorption.

Index terms: cropping systems, cerrado, decomposition rate, organic matter.

¹ Aceito para publicação em 15 de janeiro de 1997.
Trabalho apresentado na XXII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Manaus, AM, 21 a 26 de julho de 1996.

² Eng. Agr., M.Sc., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPQ), Rua Jardim Botânico, 1024, CEP 22460-000 Rio de Janeiro, RJ. silva@lavras.uemg.br

³ Eng. Agr., Ph.D., Dep. de Ciência do Solo, UFLA, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras, MG. niltcuri@esal.ufla.br, jmlima@esal.ufla.br

⁴ Eng. Agr., Ph.D., ORSTOM/Embrapa-CNPS, philippe@embrapa.cnps.br

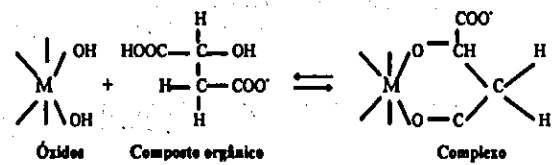
⁵ Eng. Agr., M.Sc., Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Caixa Postal 08223, CEP 73301-970 Planaltina, DF. arminda@embrapa.cpac.br

INTRODUÇÃO

Solos oxidicos adsorvem quantidades expressivas de P. A capacidade máxima de adsorção de P, determinada pela isoterma de Langmuir, fornece resultados importantes com relação à exigência de adubação fosfatada em várias classes de solos. Determinados solos exigem maior quantidade de P para manter o mesmo nível desse elemento na solução que outros, ou seja, possuem maior capacidade de adsorção. Várias propriedades do solo afetam essas relações, sendo as mais importantes a mineralogia, a textura, o pH, o ponto de carga zero, a matéria orgânica, o tipo de ácidos orgânicos e a atividade microbiana. Segundo Lopes & Cox (1979), o processo de adsorção de P pelos óxidos (termo inclusivo para óxidos, hidróxidos e oxidróxidos) de ferro e de alumínio é um dos principais fatores envolvidos na fixação de P em solos tropicais. O termo adsorção é aqui empregado englobando os fenômenos de adsorção e precipitação, como tem sido mais usado na literatura.

Os diferentes sistemas de manejo a que o solo é submetido podem aumentar ou reduzir a fixação de P, dependendo do grau de transformação e interação dos componentes adicionados pelo manejo e pela matriz do solo propriamente dita. A adoção de sistemas de manejo que propiciem um incremento no teor de matéria orgânica, por exemplo, possivelmente contribui para a redução da adsorção de P, através da formação de complexos que bloqueiam os sítios de adsorção de P na superfície dos óxidos de ferro e de alumínio. Porém, não se tem conhecimento de resultados experimentais de campo abordando esses aspectos para a região dos cerrados (Goedert et al., 1987).

Fontes et al. (1992), trabalhando com Oxisols do Brasil, constatou a formação de complexos (ácidos húmicos e goethita). Segundo esses autores, grupos funcionais (COOH) bloqueiam a superfície da goethita, reduzindo drasticamente a adsorção de P. Segundo Hue (1991), o mecanismo de bloqueio dos sítios de adsorção ocorre conforme o esquema ilustrado a seguir:



As ligações se dão entre os grupos funcionais COOH e as hidroxilas da superfície dos óxidos de ferro ou de alumínio. Gerke & Hermann (1992) estudaram um modelo experimental de adsorção de ortofosfato em superfícies de complexos ácidos húmicos-ferro amorfo sintético, e constataram que o aumento do pH de 5,2 para 6,2 propiciou um aumento na adsorção de P da ordem de 30%. Uma série de trabalhos dá suporte a esta idéia de bloqueio dos sítios de adsorção de íons por compostos orgânicos. Sibanda & Young (1986) estudaram a adsorção competitiva entre os ácidos húmicos ou fúlvicos e fosfato em dois solos tropicais. Houve uma redução significativa na adsorção de P quando o conteúdo de ácido húmico foi elevado de 0,7 a 3,0%; estes níveis equivalem a um aumento de 1,72 a 5,2% de matéria orgânica. Segundo os mesmos autores, houve uma redução de 68 e 48% na adsorção de P para o nível mais alto de ácido húmico (3%), respectivamente, para os solos com pH 4,6 e 5,1, o que mostra que o efeito é mais pronunciado em solos mais ácidos. López-Hernández et al. (1986) demonstraram a adsorção competitiva do fosfato com malato e oxalato em solos tropicais. Hue (1991) também evidencia o mesmo tipo de relação com ácido málico, acético e protocatecóico. Afif et al. (1995) estudaram, em amostras de solos sob cerrado (Oxisols), o efeito do tempo na adsorção competitiva do fosfato entre ácido málico e oxálico. Os autores concluíram que o efeito dos compostos orgânicos no bloqueio dos sítios de adsorção é transitório. Pizauro Júnior & Melo (1995) estudaram o efeito da incorporação da parte aérea de plantas de sorgo ou lablabe sobre os teores de C orgânico total e das frações ácido fúlvico, ácido húmico e humina. Após 200 dias de incubação, houve uma despolimerização da matéria orgânica, e as frações C orgânico total, ácido húmico e humina apresentaram uma redução, e a fração ácido fúlvico tendeu a apresentar teores mais elevados.

Mesquita Filho & Torrent (1993) encontraram correlações negativas entre adsorção máxima de P e teores de matéria orgânica em solos sob cerrado. A adsorção de P aumentou significativamente quando o solo foi tratado com H_2O_2 . Segundo os mesmos autores, a rápida oxidação da matéria orgânica no horizonte A, ou exposição das camadas subsuperficiais (pobres em matéria orgânica), pode resultar em sérios problemas para a agricultura na região dos cerrados.

Os objetivos deste trabalho foram quantificar a adsorção de P em solo sob sistemas de rotação adubo verde - milho, solo descoberto e sob cerrado nativo, e avaliar a influência de algumas propriedades químicas do solo e da taxa de decomposição do adubo verde sobre esta adsorção.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Estação Experimental Filostro M. Carneiro da EMGOPA, conduzido pela Embrapa-CNPS/FRCO, em Senador Canedo, município de Goiânia (GO). A unidade de pesquisa está situada a $16^{\circ} 41'$ latitude sul e $49^{\circ} 23'$ longitude oeste. A altitude média é de 750 m em relação ao nível do mar, com temperatura média máxima anual de $23^{\circ}C$ e mínima anual de $16^{\circ}C$; a precipitação média anual é de 1.522 mm e a umidade relativa média anual é de 55%. Segundo Köppen, o clima da região é do tipo Aw, tropical estacional de savana. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Escuro distrófico A moderado, textura argilosa, fase cerrado tropical subcaducifólio, relevo suave ondulado.

Para a caracterização do solo, os teores de gibbsita (Gb) e caulinita (Ct) foram obtidos na fração argila desferificada mediante análise térmica diferencial. Realizaram-se análises de óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3) do ataque sulfúrico, segundo Vettori (1969) e Embrapa (1979). A análise granulométrica do solo foi realizada pelo método da pipeta, segundo Day (1965). Os resultados desta caracterização são apresentados na Tabela 1.

As amostras da terra fina seca ao ar (TFSA) da camada superficial (0 - 20 cm) dos tratamentos foram caracterizadas quimicamente em termos de pH, complexo sortivo e carbono orgânico, segundo Vettori (1969), com modificações da Embrapa (1979).

Determinou-se também a taxa de decomposição (TD), pelo método do "litter bag", das espécies de adubos verdes estudadas. Saquinhos (20 x 20 cm) foram preparados com telas de nylon (malha de 1,0 mm), contendo 10 g da

parte aérea seca dos adubos verdes. Em seguida, enterrou-se cinco saquinhos ("litter bags") em cada parcela, a 10 cm de profundidade. Após 60 dias, foram retirados do solo e levados ao laboratório para determinação da taxa de decomposição conforme Santos & Whilford (1981).

Os tratamentos (sistemas de manejo) constituíram-se das seguintes espécies de adubos verdes: crotalária (*Crotalaria juncea*), guandu (*Cajanus cajan*), mucuna preta (*Mucuna aterrima*) e braquiária (*Brachiaria ruziziensis*); cultivadas na entressafra após o milho (cv. Pioneer 3072), durante dois anos. Além desses tratamentos, foram considerados os tratamentos solo sob cerrado nativo e solo descoberto (cinco anos). Os adubos verdes foram roçados na floração e incorporados durante o preparo do solo para a semeadura do milho.

Para se determinar a adsorção de P, 2 g da fração TFSA da camada superficial (0 - 20 cm) dos tratamentos foram misturados, mediante agitação por 16 horas, com soluções contendo 0, 25, 50, 100 e 200 mg L^{-1} de P, em soluções de $CaCl_2$ 0,01 M, sendo o P dosado posteriormente no sobrenadante. A diferença entre a quantidade inicial de P na solução e a quantidade no sobrenadante após agitação foi considerada como sendo P adsorvido. Os valores de adsorção encontrados (média de três repetições) foram ajustados à equação de Langmuir para determinação da capacidade máxima de adsorção de P (CMAF). Correlações de Pearson foram estabelecidas entre CMAF e alguns parâmetros químicos do solo sob os diversos sistemas de manejo e a taxa de decomposição (TD) dos adubos verdes, no intuito de se verificar a influência desses parâmetros sobre a adsorção de P nessas condições de solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 observa-se os valores da capacidade máxima de adsorção de P (CMAF), bem como os demais parâmetros químicos de solo e a taxa de decomposição (TD) dos adubos verdes. Adotando-se como referência a classificação proposta por Juo & Fox (1977) para adsorção de P em solos tropicais, os resultados da CMAF se enquadram nas classes alta (500 a 1.000 mg kg^{-1}), os tratamentos cerrado nativo e braquiária, e muito alta (> 1.000 mg kg^{-1}), os demais tratamentos. Esses resultados estão condizentes com as características mineralógicas do solo, que é altamente intemperizado. Os baixos valores Ki e Kr refletem uma mineralogia predominantemente gibbsítica, confirmada pela análise tér-

TABELA 1. Características mineralógicas, químicas e físicas do solo estudado¹.

Ct	Gb	Ataque sulfúrico			Ki	Kr	Textura			
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃			A	S	AF	AG
		g kg ⁻¹					g kg ⁻¹			
10	240	95	241	108	0,7	0,5	540	100	310	50

¹ Ct = caulinita; Gb = gibbsita; Ki = relação molecular entre SiO₂ e Al₂O₃; Kr = relação molecular entre SiO₂ e (Al₂O₃ + Fe₂O₃); A = argila; S = silte; AF = areia fina; AG = areia grossa.

TABELA 2. Propriedades químicas do solo e taxa de decomposição dos adubos verdes¹.

Trat.	CMAF	MO	pH	T	Ca	Al	H+Al	TD
	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹						
SD	1145	26	4,7	1,1	0,8	0,1	6,3	-
CJ	1127	38	5,9	7,8	2,4	0,1	5,0	61,3
G	1121	31	5,8	7,2	2,0	0,1	5,0	61,9
MP	1053	34	5,5	8,4	1,6	0,1	6,3	65,6
B	944	31	5,6	7,9	1,6	0,1	5,6	78,9
CN	794	46	6,0	9,0	3,4	0,1	4,0	-

¹ SD = solo descoberto; CJ = crotalária; G = guandu; MP = mucuna preta; B = braquiária; CN = cerrado nativo; CMAF = capacidade máxima de adsorção de fósforo; MO = matéria orgânica; T = capacidade de troca de cátions a pH 7,0; TD = taxa de decomposição das plantas utilizadas como adubo verde.

mica diferencial, com teores médios de óxidos de ferro do ataque sulfúrico (Tabela 1). Segundo Lopes & Cox (1979), a fixação de P em solos com essas características é elevada.

As curvas de adsorção máxima de P dos vários tratamentos estão apresentadas na Fig. 1, onde observa-se uma tendência de a adsorção se estabilizar com adição de P a partir de 50 mg L⁻¹ de solução. A CMAF foi maior no solo descoberto, sendo 44,2 % mais elevada que no tratamento cerrado nativo. Tal diferença na quantidade de fósforo adsorvido deve-se ao fato de, no tratamento solo descoberto, grande parte da matéria orgânica sofrer oxidação, em decorrência de sua exposição, liberando os sítios de adsorção dos óxidos. Esses resultados condizem com as afirmações de Mesquita Filho & Torrent (1993), que mostram a oxidação da matéria orgânica do solo, pelo uso e manejo incorretos, como causa de sérios problemas na disponibilidade de P para as plantas na região dos cerrados. Por outro lado, o tratamento

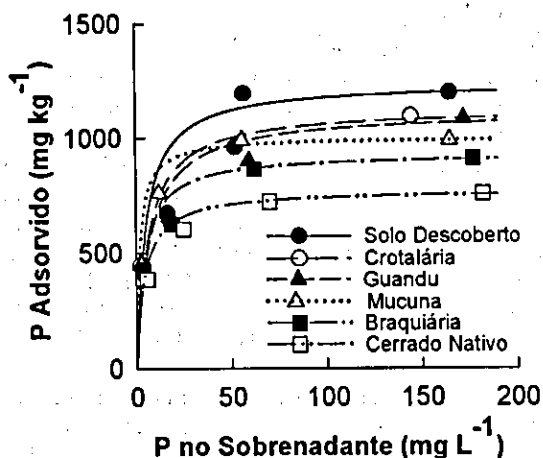


FIG. 1. Isotermas de adsorção de P dos tratamentos que incluem adubos verdes, solo descoberto e cerrado nativo em Latossolo Vermelho-Escuro da região dos cerrados (dados ajustados à equação de Langmuir).

cerrado nativo propiciou uma menor adsorção por apresentar maiores teores de matéria orgânica. A correlação negativa ($r = 0,705$, $P < 0,06$) encontrada entre CMAF e matéria orgânica comprova o efeito da matéria orgânica na redução da adsorção de P. Sibanda & Young (1986) constataram uma redução na adsorção de P em torno de 48% quando o nível de matéria orgânica foi elevado de 7 para 52 g kg⁻¹. Outro aspecto a ser destacado é que nestas condições de equilíbrio a atividade microbiana é mais intensa pelo maior aporte de carbono orgânico e melhores condições ecológicas do meio, propiciando aos microrganismos o uso do P adsorvido nos óxidos de Fe e de Al e, conseqüentemente, a reciclagem deste nutriente.

Os sistemas de rotação adubo verde - milho apresentaram um comportamento intermediário em relação aos tratamentos solo descoberto e cerrado nativo. Os tratamentos braquiária e crotalária resultaram, respectivamente, em valores de CMAF 18,8 a 41,9% maiores que o tratamento cerrado nativo. Houve uma tendência de as leguminosas arbustivas (crotalária e guandu) apresentarem maior CMAF em relação à leguminosa decumbente (mucuna preta). Por sua vez, o tratamento com gramínea (braquiária) apresentou uma menor CMAF em relação às leguminosas. Uma explicação para este comportamento é que a taxa de decomposição das leguminosas arbustivas foi menor que a de hábito decumbente, enquanto a gramínea apresentou a maior taxa de decomposição (Tabela 2). Além disso, comparativamente às leguminosas, as gramíneas contribuem com maior quantidade de ácidos fenólicos para a matéria orgânica do solo (Siqueira et al., 1991) e a presença de grupamentos metoxi e cadeias acíclicas nos anéis aromáticos desses ácidos aumenta a adsorção desses compostos no solo (Dalton et al., 1989), bloqueando parte dos sítios de adsorção de P. As leguminosas arbustivas apresentam partes mais resistentes (lignificadas) à decomposição em relação à decumbente, e esta última é mais resistente à decomposição que a gramínea. Observa-se uma correlação negativa ($r = 0,983$, $P < 0,01$) entre CMAF e taxa de decomposição. Provavelmente, quanto maior a taxa de decomposição maior será a incorporação deste material ao processo de humificação.

Correlação negativa ($r = 0,832$, $P < 0,05$) foi observada entre CMAF e CTC a pH 7,0 (T), provavelmente pela menor quantidade dos sítios positivos indispensáveis à adsorção de P quando a CTC é maior. Alia-se a isto o fato de grande parte da CTC deste solo ser devida aos maiores teores de matéria orgânica, que por sua vez está relacionada também de forma negativa com a CMAF. As correlações entre a CMAF e os teores de Al e H + Al apresentaram tendência inversa à da CTC. Os teores de cálcio seguem a mesma tendência de correlação com a CMAF que a CTC e o pH em água. Nos tratamentos com maiores teores de cálcio (pH mais elevado), a dosagem do P remanescente no sobrenadante foi superestimada, computando também o P possivelmente precipitado com o cálcio. Resultados semelhantes foram constatados por Gerke & Hermann (1992) quando o pH do meio estava em torno de 6,2.

Na Fig. 2 são apresentadas as curvas de adsorção de P em cada profundidade do solo estudada. A CMAF da camada mais profunda (1.762 mg kg⁻¹) foi 56% maior que a da camada superficial (1.128 mg kg⁻¹). Tais resultados reforçam a influência da matéria orgânica no bloqueio dos sítios de adsorção. Resultados semelhantes foram encontrados por Mesquita Filho & Torrent (1993).

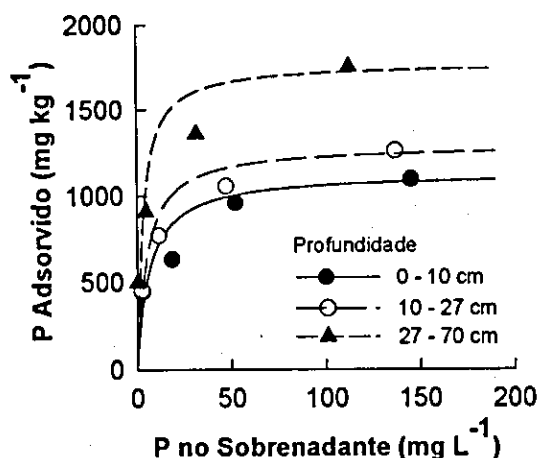


FIG. 2. Isoterma de adsorção de P das camadas superficiais (0 - 10 e 10 - 27 cm) e da subsuperficial (27 - 70 cm) do Latossolo Vermelho-Escuro (dados ajustados à equação de Langmuir).

A idéia de se introduzir sistemas de cultivo que propiciem um maior aporte de carbono orgânico ao solo e mantenham os níveis deste componente em condições adequadas para que ocorra interação com a fração mineral é indispensável para a manutenção de teores adequados de P na solução do solo.

CONCLUSÕES

1. A ordem de adsorção máxima de P pelos tratamentos é a seguinte: solo descoberto > guandu > crotalária > mucuna preta > braquiária > cerrado nativo; as diferenças são mais evidentes entre os tratamentos cerrado nativo e solo descoberto.
2. A matéria orgânica e a CTC do solo apresentam correlação inversa com adsorção de fósforo, já o Al e H + Al apresentam correlação direta.
3. Verifica-se correlação inversa entre a taxa de decomposição dos adubos verdes e adsorção de fósforo.

AGRADECIMENTOS

Ao pesquisador João Roberto Correia (Embrapa-CPAC), que participou na condução do experimento, e à EMGOPA, pela cessão da área experimental.

REFERÊNCIAS

- AFIF, E.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by cerrado soils from Brazil. *Soil Science, Madison*, v.159, n.3, p.207-211, 1995.
- DALTON, B.R.; BLUM, U.; WEED, S.B. Differential sorption of exogenously applied ferulic, p-coumaric, p-hydroxybenzoic and vanillic acids in soil. *Soil Science Society of America. Journal*, v.53, p.757-762, 1989.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-566.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, 1979.
- FONTES, M.R.; WEED, S.B.; BOWEN, L.H. Association of microcrystalline goethite and humic acid in some oxisols from Brazil. *Soil Science Society of America. Journal*, v.56, p.982-990, 1992.
- GERKE, J.; HERMANN, R. Adsorption of orthophosphate to humic-Fe-complexes and to amorphous Fe-oxide. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, Weinheim, v.155, p.233-236, 1992.
- GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W.J. *Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo*. São Paulo: Nobel/Embrapa-CPAC, 1987. p.129-166.
- HUE, N.V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. *Soil Science, Madison*, v.152, n.6, p.463-471, 1991.
- JUO, A.S.R.; FOX, R.L. Phosphate sorption capacity of some benchmark soils in West Africa. *Soil Science, Madison*, v.124, p.370-376, 1977.
- LOPES, A.S.; COX, F.R. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.3, p.82-88, 1979.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D.; SIEGERT, G.; RODRÍGUEZ, J.V. Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soils. *Soil Science Society of America. Journal*, v.50, p.1460-1462, 1986.
- MESQUITA FILHO, M.V. de; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from the Cerrado region (Brazil). *Geoderma*, Amsterdam, v.58, p.107-123, 1993.
- PIZAURO JÚNIOR, J.M.; MELO, W.J. Influência da incorporação da parte aérea de sorgo ou lablabe nas frações da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Escuro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.95-103, 1995.
- SANTOS, P.F.; WHILFORD, W.G. The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuazhuan ecosystem. *Ecology*, v.62, p.654-669, 1981.
- SIBANDA, H.M.; YOUNG, S.D. Competitive adsorption of humic acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. *Journal of Soil Science*, v.37, p.197-204, 1986.
- SIQUEIRA, J.O.; NAIR, M.G.; HAMMERSCHMIDT, R.; SAFIR, G.R. Significance of phenolic compounds in plant-soil-microbial systems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v.10, n.1, p.63-121, 1991.
- VETTORI, L. *Métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).